

Alternativní složení detergentů pro mytí nádobí

Anna Voborná

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Anna Voborná
Osobní číslo:	T22118
Studijní program:	B0711A130009 Materiály a technologie
Specializace:	Biomateriály a kosmetika
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Alternativní složení detergentů pro mytí nádobí

Zásady pro vypracování

Student rozepíše kapitoly mající vztah k "zeleným" tenzidům potažmo k mýdlovým ořechům a čajovému saponinu – zdrojové rostliny, chemické struktury saponinů, vlastnosti v roztocích.

V souvislosti s praktickou částí prostuduje detergenční systémy používané k mytí nádobí.

Převážně část obsahující povrchově aktivní látky.

V praktické části se student bude věnovat formulacím mycího prostředku s obsahem extraktu z mýdlových ořechů a čajového saponinu, které následně otestuje při mytí zkušebně znečištěného nádobí. Dosažené výsledky zhodnotí a porovná s komerčními výrobky.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] ŠMIDRKAL Jan. Tenzidy. 1. vydání. **2020**. ISBN 978-80-7592-056-0.
[2] LAI Kuo-Yann editor. Liquid Detergents. 2. vydání. **2006**. ISBN 978-0-8247-5835-6.
[3] ZOLLER Uri editor. Handbook of Detergents, Part E: Applications. 1. vydání, **2009**. ISBN 978-1-57444-757-6.
[4] SHOWELL Michael S. editor. Handbook of Detergents, Part D: Formulation, 1. vydání. **2006**, ISBN 978-0-8247-0350-9.
[5] WOJTOŃ Patrycja, SZANIAWSKA Magdalena, HOŁYSZ Lucyna, MILLER Reinhard a SZCZEŚ Aleksandra. Surface Activity of Natural Surfactants Extracted from *Sapindus mukorossi* and *Sapindus trifoliatus* Soapnuts. *Colloids and Interfaces*. **2021**, 5, 1. DOI: 10.3390/colloids5010007.
[6] VINCKEN Jean-Paul, HENG Lynn, DE GROOT Aede a GRUPPEN Harry. Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. *Phytochemistry*. **2007**, 68, 3, 275–297. DOI: 10.1016/j.phytochem.2006.10.008.

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

Datum zadání bakalářské práce: **17. února 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Lucie Urbánková, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 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 pracovala samostatně a použitou literaturu jsem řádně citovala; v případě publikace výsledků budu uvedena jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....

podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá přípravou a hodnocením alternativních tekutých detergentů určených pro ruční mytí nádobí. Cílem je ověřit mycí účinnost přírodních povrchově aktivních látek, konkrétně saponinu získaného z mýdlových ořechů a čajového saponinu. Teoretická část se věnuje popisu základních složek tekutých čisticích prostředků pro lehké použití, vlastnostem saponinů a jejich detergentním účinkům. V praktické části byly připraveny detergentní roztoky obsahující saponiny, u nichž byla experimentálně sledována pěnivost, povrchové napětí a mycí schopnost. Získané výsledky byly porovnány s běžně dostupnými komerčními prostředky. Práce přináší poznatky o využitelnosti přírodních tenzidů v ekologicky šetrných čisticích produktech.

Klíčová slova: saponiny, mýdlové ořechy, čajový saponin, pěnivost, povrchové napětí, mycí schopnost, tenzidy, tekuté detergenty, ruční mytí nádobí, ekologické čisticí prostředky

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on the preparation and evaluation of alternative liquid detergents intended for manual dishwashing. The objective of the thesis is to verify the detergent effectiveness of natural surfactants, specifically saponin extracted from soap nuts and tea saponin. The theoretical part focuses on the description of the basic components of light-duty liquid detergents, the properties of saponins, and their detergent effects. In the practical part, detergent solutions containing saponins were prepared and experimentally evaluated for foaming capacity, surface tension, and cleaning efficiency. The obtained results were compared with commonly available commercial products. The thesis provides insights into the applicability of natural surfactants in environmentally friendly cleaning products.

Keywords: saponins, soap nuts, tea saponin, foaming ability, surface tension, cleaning performance, surfactants, liquid detergents, hand dishwashing, eco-friendly cleaning products

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Rudolfovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a podporu během zpracování této práce. Dále děkuji Ing. Markétě Kudláčkové, Ph.D. za poskytnutí potřebné pomoci a vybavení k realizaci praktické části.

Mé díky patří také mé rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali a motivovali.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TEKUTÉ DETERGENTY	13
1.1 TEKUTÉ ČISTICÍ PROSTŘEDKY PRO MÉNĚ NÁROČNÉ POUŽITÍ.....	13
1.1.1 Složení LDLD	13
1.1.2 Surfactanty	14
1.1.3 Hydrotrophy	15
1.1.4 Konzervanty	15
1.1.5 Parfémy a barviva	16
1.1.6 Ostatní přísady	16
1.1.7 Konkrétní příklady předpisů pro přípravu LDLD	16
1.2 LDLD NA RUČNÍ MYTÍ NÁDOBÍ	18
1.2.1 Čisticí schopnost	19
1.2.2 Pěnicí schopnost.....	19
1.2.3 Šetrnost.....	20
2 PŘÍRODNÍ PAL.....	21
2.1 SAPONINY	21
2.1.1 Molekulární struktura.....	21
2.1.2 Zdroje saponinů.....	23
2.1.3 Povrchově aktivní vlastnosti	24
2.1.4 Využití saponinů	25
3 MÝDLOVÉ OŘECHY.....	27
3.1 MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA	28
3.2 POVRCHOVĚ AKTIVNÍ VLASTNOSTI.....	29
3.3 BIOLOGICKÉ A FARMAKOLOGICKÉ ÚČINKY	30
4 ČAJOVÝ SAPONIN	32
4.1 MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA	32
4.2 POVRCHOVĚ AKTIVNÍ VLASTNOSTI.....	33
4.3 VYUŽITÍ ČAJOVÉHO SAPONINU	34
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	35
5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	36
6 SEZNAM POUŽITÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK A PŘÍSTROJŮ	37
7 METODIKA	39
7.1 PŘÍPRAVA ROZTOKŮ	39
7.2 MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ	39
7.3 MĚŘENÍ PĚNIVOSTI.....	40
7.4 STANOVENÍ MYCÍ SCHOPNOSTI ČISTÝCH LÁTEK A KOMERČNÍCH PŘÍPRAVKŮ	40

7.5	PŘÍPRAVA DETERGENTŮ NA MYTÍ NÁDOBÍ	40
7.6	MĚŘENÍ PĚNIVOSTI POMOCÍ PŘÍSTROJE „DYNAMIC FOAM ANALYZER“	41
8	VÝSLEDKY A DISKUZE	43
8.1	MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ ROZTOKŮ KOMERČNÍCH PŘÍPRAVKŮ	43
8.2	MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ ROZTOKŮ ČISTÝCH LÁTEK	44
8.3	MĚŘENÍ PĚNIVOSTI ROZTOKŮ KOMERČNÍCH PROSTŘEDKŮ	47
8.4	MĚŘENÍ PĚNIVOSTI ROZTOKŮ ČISTÝCH LÁTEK	48
8.5	STANOVENÍ MYCÍ SCHOPNOSTI ČISTÝCH LÁTEK A KOMERČNÍCH PŘÍPRAVKŮ	50
8.6	MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ DETERGENTŮ NA MYTÍ Z MÝDLOVÝCH OŘECHŮ	50
8.7	MĚŘENÍ PĚNIVOSTI DETERGENTŮ NA MYTÍ Z MÝDLOVÝCH OŘECHŮ	53
8.8	MĚŘENÍ MYCÍ SCHOPNOSTI DETERGENTŮ NA MYTÍ Z MÝDLOVÝCH OŘECHŮ	57
8.9	MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ DETERGENTŮ NA MYTÍ Z ČAJOVÉHO SAPONINU	58
8.10	MĚŘENÍ PĚNIVOSTI DETERGENTŮ NA MYTÍ Z ČAJOVÉHO SAPONINU	60
8.11	MĚŘENÍ MYCÍ SCHOPNOSTI DETERGENTŮ NA MYTÍ Z ČAJOVÉHO SAPONINU	62
8.12	MĚŘENÍ PĚNIVOSTI POMOCÍ PŘÍSTROJE „DYNAMIC FOAM ANALYZER DFA 100“	63
	ZÁVĚR.....	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	71
	SEZNAM TABULEK.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	74

ÚVOD

Tekuté čisticí prostředky určené pro ruční mytí nádobí patří mezi nejčastěji používané čisticí přípravky. Jejich účinnost je založena především na přítomnosti syntetických povrchově aktivních látek, které zajišťují odstranění mastnoty, zbytků potravin a dalších nečistot. S rostoucím důrazem na ochranu životního prostředí, udržitelnost zdrojů a zdraví spotřebitelů však roste zájem o alternativní, přírodní složky, které by mohly tyto látky nahradit.

Cílem této bakalářské práce je příprava a hodnocení alternativních tekutých detergentů založených na přírodních surovinách, konkrétně na saponinu získaném z mýdlových ořechů a čajovém saponinu. Tyto látky vykazují povrchově aktivní vlastnosti a mají potenciál sloužit jako šetrnější náhrada syntetických tenzidů v prostředcích pro ruční mytí nádobí. Saponiny jsou přírodní glykosidické sloučeniny, které mají schopnost snižovat povrchové napětí, vytvářet pěnu a napomáhat emulgaci tuků. Strukturně se skládají z hydrofobní aglykonové části a jedné nebo více hydrofilních cukerných jednotek, což z nich činí amfifilní molekuly podobné klasickým surfaktantům. Přirozeně se vyskytují v mnoha rostlinách, zejména v plodech, listech a kořenech, a kromě detergentních vlastností často vykazují také antimikrobiální nebo protizánětlivé účinky.

Výsledky této práce mohou přispět k hlubšímu porozumění účinnosti přírodních povrchově aktivních látek a jejich potenciálu jako šetrných a ekologických alternativ v oblasti čisticích prostředků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEKUTÉ DETERGENTY

Tekuté detergenty usnadňují každodenní život v mnoha oblastech, od osobní hygieny, přes úklid domácnosti, včetně mytí nádobí a čištění různých povrchů, až po péči o textil. Ve srovnání s práškovými prostředky se tekuté detergenty rychleji rozpouštějí, a to zejména ve studené vodě, méně práší a jejich dávkování je jednodušší. [1]

Tekutá forma téměř ze své podstaty znamená zředění účinných látek. Dosáhnout stejné účinnosti jako prášky tedy není jednoduchým úkolem. Ten je ještě náročnější kvůli tomu, že soli často způsobují problémy s rozpustností a kompatibilitou s organickými povrchově aktivními látkami ve složení. U přípravků pro lehkou službu, jako je ruční mytí nádobí či aviváže, však tekuté varianty často fungují lépe než práškové. [1]

1.1 Tekuté čisticí prostředky pro méně náročné použití

Tekuté detergenty pro lehkou službu (LDLD – light-duty liquid detergents) jsou směsi povrchově aktivních látek rozpuštěných ve vodě. Na rozdíl od tekutých detergentů pro silné znečištění neobsahují složky zvyšující účinnost (builders) ani zásadité anorganické látky. Používají se především pro ruční mytí. [1]

Tekuté detergenty pro lehké použití byly poprvé uvedeny na trh koncem 40. let 20. století. První tekutý prostředek na ruční mytí nádobí obsahoval převážně neiontovou povrchově aktivní látku (alkylfenoethoxylát) a při použití vytvářel jen malé množství pěny. To se ukázalo jako zásadní problém. Tento problém vyřešily nové produkty uvedené na trh počátkem 50. let, založené na silně pěnivých anionických tenzidech. Obliba tekutých prostředků rychle rostla, a tak postupně začaly vytlačovat prášky. [1; 2]

1.1.1 Složení LDLD

LDLD se skládají ze směsi složek, které jsou navrženy tak, aby zajišťovaly čisticí účinek, pěnivost, rozpustnost, konzervaci, vůni, barvu a v některých případech také antibakteriální účinek. Navíc se dbá o nízkou iritaci, funkčnost za nízké teploty a zlepšení schnutí nádobí po mytí. Typické složení LDLD je uvedeno v tabulce (viz Tabulka 1). [1]

Tabulka 1: Typické rámcové složení LDLD [1]

Látka	Obsah (%)
Surfaktant	1–50
Hydrotrop	0–10
Soli	<3
Konzervant	<0,1
Parfém	0,1–1
Barvivo	<0,1
Ostatní přísady	0–3
Voda	do 100

Obecně se jedná o Newtonovské kapaliny s viskozitou v rozmezí 100 až 500 mPa·s. Hodnota pH je tradičně blízká neutrální oblasti (5 až 7), aby odpovídala přirozenému pH pokožky. Bod zákalu je menší než 5 °C. LDLD obvykle obsahují 10 až 50 % pevných látek rozpuštěných ve vodě. [1]

1.1.2 Surfaktanty

Hlavní účinnou složkou prostředků na ruční mytí nádobí jsou tenzidy. Tyto organické sloučeniny mají schopnost se i při velmi nízkých koncentracích hromadit na rozhraní dvou fází, čímž snižují mezifázové napětí. Tato vlastnost vychází ze specifické stavby jejich molekul, která se označuje jako amfifilní. Molekula tenzidu se skládá z hydrofilní části, která má silnou vazbu k vodnímu prostředí, a z hydrofobní části, která se naopak váže k nepolárním látkám, jako jsou oleje či tuky. Díky této struktuře dokáží tenzidy účinně odstraňovat nečistoty z povrchů. [3]

Anionické tenzidy jsou povrchově aktivní látky, které se ve vodě disociují na aktivní záporně nabitý anion a neaktivní kation. Patří mezi nejúčinnější detergenty díky své dobré pěnivosti, dostupnosti a nízké ceně. Mezi hlavní skupiny patří karboxyláty, sulfáty, sulfonáty a fosfáty. Karboxyláty (např. mýdla) ztrácejí účinnost v kyselém prostředí a mohou s tvrdou vodou tvořit nerozpustné usazeniny. Sulfáty (např. laurylsulfát sodný) jsou účinné i v kyslejší prostředí, ale snadno podléhají hydrolýze. Sulfonáty (např. lineární alkylbenzensulfonát) jsou chemicky stabilní a často používané v pracích prostředcích. [1; 3]

Neionické tenzidy jsou povrchově aktivní látky, které se ve vodě nedisociují a neobsahují žádný náboj. Díky funkčním skupinám, jako jsou hydroxylové, etherické nebo aminoskupiny, mají vysokou rozpustnost ve vodě. Mezi hlavní zástupce patří

ethoxyláty vyšších mastných alkoholů, alkylfenolů, esterů mastných kyselin, alkylpolyglykosidy a glukamidy. Neiontové tenzidy méně pění a jsou dražší, proto se samostatně používají méně často. V kombinaci s anionickými tenzidy však zvyšují šetrnost k pokožce, zlepšují smáčivost, posilují a stabilizují pěnu. [1; 3]

Amfoterní tenzidy jsou povrchově aktivní látky, které obsahují kyselou i bazickou skupinu a mění své chování podle pH prostředí. V kyselém prostředí se chovají jako kationty a v zásaditém jako anionty, což zajišťuje jejich široké využití. Nejznámějšími zástupci jsou betainy, aminoxidy a sulfobetainy. Ve spojení s anionickými tenzidy zlepšují pěnivost a snižují dráždivost. Amfoterní tenzidy jsou oblíbené díky své šetrnosti k pokožce a dobré kompatibilitě s dalšími složkami. [1; 3]

Kationické tenzidy jsou sloučeniny, které ve vodném prostředí vytvářejí kladně nabitě ionty. Nejčastěji se používají v dezinfekčních přípravcích, v textilním průmyslu jako změkčovadla a v kondicionérech. Mezi nejčastější patří soli kvartérních amoniovýchází a pyridiniové soli, které mají vysokou povrchovou aktivitu. [3]

V LDLD se nejčastěji používají anionické tenzidy, v menší míře neionické a amfoterní. Kationické tenzidy se nepoužívají kvůli nižší čisticí schopnosti a neslučitelnosti s anionickými tenzidy. [1]

1.1.3 Hydrotropy

Hydrotropy se často přidávají do LDLD, aby pomohly rozpustit určité tenzidy nebo jiné složky, které se ve vodě běžně špatně rozpouštějí. Tím se zajišťuje stabilita celé formulace. Přidání hydrotropu ovlivňuje viskozitu produktu a také jeho bod zákalu nebo čirosti, tedy teplotu, při které dochází ke změně vzhledu roztoku. Nejčastěji používanými hydrotropy konkrétně v prostředcích na ruční mytí nádobí jsou sodná sůl xylen-sulfonové kyseliny, sodná sůl kumen-sulfonové kyseliny, sodná sůl toluen-sulfonové kyseliny, močovina a ethanol. Zejména sodná sůl xylen-sulfonové kyseliny, sodná sůl kumen-sulfonové kyseliny a ethanol se využívají nejčastěji, protože jsou téměř bez zápachu a bezbarvé, což je výhodné pro konečný vzhled a vůni produktu. [1]

1.1.4 Konzervanty

Mikrobiologická kontaminace produktu s nekontrolovaným růstem mikroorganismů může způsobit řadu problémů, jako je změna čirosti nebo barvy, destabilizaci disperze, zneprůhlednění látky, vznik nepříjemného zápachu nebo tvorba nevzhledného a slizkého

shluku. Mezi běžně používané konzervanty patří formaldehyd, glutaraldehyd, kyselina benzoová, Kathon, Dowicil, Bronopol, estery kyseliny hydroxybenzoové a další. [1; 2]

1.1.5 Parfémy a barviva

Obecně jsou parfemace vybírány tak, aby poskytovaly příjemnou vůni při používání produktu. Jejich složitá kompozice a rozmanité vlastnosti jednotlivých složek vyžadují provedení vhodných testů, které ověří kompatibilitu zvolené vůně s konkrétním produktem a obalem, ve kterém má být výrobek prodáván. Široká škála barevných variant produktu může být dosažena pečlivým výběrem jednoho nebo více ve vodě rozpustných barviv. [2]

1.1.6 Ostatní přísady

Chelatační činidla se používají k zajištění toho, aby během skladování nedocházelo k vysrážení. Nejčastějším problémem je železo, které se do produktu dostává jako nečistota z tenzidů a solí. Nejčastěji používanými chelatačními činidly jsou chelatony a jejich odvozené deriváty, EDTA, HEDTA nebo i citrátové soli. Modifikátory viskozity se používají k dosažení požadované viskozity produktu. Patří sem alkoholy, soli, polymery a hydrotropy. K úpravě pH produktu na požadovanou hodnotu se přidávají kyseliny nebo zásady. Do některých produktů se přidávají také speciální složky pro dodatečné účinky, specifické estetické vlastnosti nebo pro marketingové účely. Mezi tyto složky patří například antibakteriální látky, enzymy, bílkoviny, citronová šťáva, zmatňovače, abraziva, polymery, bělidla a Aloe. [1]

1.1.7 Konkrétní příklady předpisů pro přípravu LDLD

V této části jsou uvedeny konkrétní receptury pro přípravu tekutých detergentů na ruční mytí nádobí. Tyto předpisy slouží jako modelové příklady složení produktů, které kombinují účinnost při odstraňování nečistot s šetrností k pokožce. Každý recept obsahuje různé druhy povrchově aktivních látek a pomocných složek, jejichž cílem je zajistit vyvážené vlastnosti produktu. Předpisy byly aktuální hlavně v době vydání. [4]

První receptura je pro vytvoření detergentu s vysokou kvalitou.

Tabulka 2: Detergent na ruční mytí nádobí – vysoká kvalita [4]

Přísada	Obsah [%]
C12 LAS (60%)	26,0
NEODOL 91-8 (C9-11 Alcohol Ethoxylate, 8 EO)	4,8
NEODOL 25-3S (C12–C15 Alcohol Ethoxylate, 3 EO)	8,0
FADEA	3,2
Ethanol	3,0
Voda, barviva, parfémů a konzervanty	Do 100

Druhá receptura využívá jiné povrchově aktivních látky pro vytvoření detergentu s vysokou aktivitou.

Tabulka 3: Detergent na ruční mytí nádobí – vysoká aktivita [4]

Přísada	Obsah [%]
Voda	62,4
BIO SOFT D-62 (Sodium Dodecylbenzene Sulfonate)	25,0
STEOL CS-460 (Sodium Laureth Sulfate)	6,5
NINOL 125-EXTRA (Cocamide DEA, modifikovaný)	6,0
Konzervanty	0,1

Třetí receptura využívá opět jiné kombinace povrchově aktivních látek s důrazem na šetrnost k pokožce.

Tabulka 4: Tekutý prostředek na ruční mytí nádobí šetrný k pokožce [5]

Příspěvek	Obsah [%]
Voda	Do 100
Hydroxid sodný (50%)	3
Dodecylbenzensulfonová kyselina	12
Miranol CS konc. (Disodium Cocoamphodiacetate)	15
Alkamide DC-212/S (Cocamide DEA)	3
Rhodasurf 25-9 (Alkoholy, C12–15, ethoxylatované)	3
Cheelox BF-13 (Sodium Edetate)	0,2
Kyselina citronová (50%), do pH 8	-
Parfém	-
Barvivo	-

1.2 LDLD na ruční mytí nádobí

Hlavní funkcí prostředků na mytí nádobí je vyčistit širokou škálu kuchyňského náčiní. Ruční mytí je běžné v domácnostech bez myček nádobí, u těžko čistitelných předmětů a velkých kusů nádobí. [6]

Složení ručních a automatických prostředků na mytí nádobí se značně liší, hlavně kvůli rozdílnému mechanismu čištění. U ručního mytí hrají hlavní roli tenzidy. Tekuté prostředky na mytí nádobí obvykle obsahují celkově více než 30 % tenzidů. Jsou vybírány tak, aby účinně odstraňovaly tuky, zaschlé zbytky jídel, vytvářely dlouhotrvající pěnu a byly šetrné k pokožce. Naopak u automatického, strojního mytí se o čištění stará hlavně horká voda stříkající z otočných ramen a detergenční látky v prostředku jako jsou buildery, změkčovače vody, bělidla a enzymy. Neiontové tenzidy se používají ke snížení povrchového napětí vody, ale musí mít velmi nízkou pěnivost, aby nebránily otáčení ramen. [6]

Běžná teplota vody při ručním mytí se pohybuje mezi 32 až 43 °C. Nad teplotou 50 °C už voda může být nebezpečně horká. Vyšší teploty se používají u silně znečištěného nádobí, ale nádoby se obvykle nechávají před mytím odmočit. Zvýšení teploty mytí výrazně zvyšuje účinnost čištění. [1]

Způsoby mytí nádobí se liší podle zvyklostí, kultury či velikosti domácnosti a obvykle se dělí na dvě metody. Při koncentrovaném mytí se prostředek nanáší přímo na nádobí nebo mycí pomůcku. Ředěné mytí spočívá v napuštění vody do nádoby a přidání prostředku k vytvoření roztoku, ve kterém se nádobí myje ponořením. [6]

1.2.1 Čistící schopnost

Tři hlavní mechanismy odstraňování nečistot z pevných povrchů jsou chemický, mechanický a detergenční účinek. Ruční mytí nádobí se provádí především mechanickým působením, teplou vodou a použitím mycího prostředku. [1]

Proces odstraňování nečistot může probíhat několika mechanismy, mezi které patří odvalení (roll-up), emulgace, přímá solubilizace a tvorba mikroemulzí nebo kapalně krystalických fází. Předpokládá se, že pevné anorganické nečistoty se odstraňují pomocí mechanismu smáčení a suspenze, zatímco pevné organické nečistoty, jako je mastnota, se rozrušují a suspendují ve vodní lázni působením mycího prostředku. Proniknutí tenzidů do pevné mastnoty může způsobit její bobtnání a zkapalnění. [1; 6]

Mechanismus roll-up při odstraňování mastnoty začíná smáčením, kdy se mycí roztok adsorbuje na povrch a tuk, čímž snižuje mezifázové napětí. Pokud se mezifázové napětí mezi tukem a povrchem vyrovná s napětím mezi vodou a povrchem, může být tuk uvolněn i při mírném mechanickém působení. Část mastnoty může být dále odstraněna emulgací nebo solubilizací. Nad kritickou micelární koncentrací (CMC) vytvářejí tenzidy micely, do jejichž hydrofobního jádra se tuk rozpouští. Účinnost solubilizace závisí na koncentraci, typu tenzidu a na teplotě. Vyšší koncentrace tenzidů umožňují pojmout větší množství oleje. Pokud není v roztoku dostatek tenzidů k solubilizaci veškeré mastnoty, zbytek může být suspendován v lázni pomocí emulgace. Emulze je termodynamicky nestabilní suspenze kapek jedné kapaliny v jiné kapalně fázi. [1]

1.2.2 Pěnicí schopnost

Pěna sama o sobě není nezbytná pro účinnost ručního mytí nádobí. Jedná se však o vlastnost, kterou spotřebitelé očekávají a často si ji spojují s účinností čištění. Prostředky na mytí nádobí proto musí vytvářet velké množství pěny, která je stabilní a dlouhotrvající i v přítomnosti znečištění od jídla. [6]

Množství pěny, které vzniká při prvním kontaktu vody s mycím prostředkem, se označuje jako počáteční pěna neboli „flash foam“. Důležitým parametrem je také schopnost pěny

přetrvávat i při přítomnosti potravinových zbytků, což se nazývá stabilita pěny. Pěnivost tenzidů je ovlivněna jejich schopností snižovat povrchové napětí, rychle se přesouvat na rozhraní, vytvářet struktury na povrchu, zvyšovat elasticitu mezifází a stabilizovat tenké kapalně vrstvy. V rámci homologní řady tenzidů bývá nejvyšší pěnivost často dosažena u řetězců s 12 uhlíky, což je výsledek rovnováhy mezi snižováním CMC a povrchového napětí na jedné straně a klesající rozpustností a rychlostí difuze k rozhraní na straně druhé. Obecně platí, že tenzidy s nižší kritickou micelární koncentrací jsou účinnější při tvorbě pěny, přičemž výška pěny roste s koncentrací až do dosažení CMC, kde se ustálí. [1]

1.2.3 Šetrnost

Šetrnost LDLD na ruční mytí je důležitá, protože spotřebitelé mají při používání často přímý kontakt rukou s produktem. Za hlavní příčinu nedostatečné šetrnosti se považují tenzidy, ačkoliv dráždění může způsobit i samotné namáčení v horké vodě. [1]

Tenzidy interagují s pokožkou mnoha způsoby. Je známo, že se vážou na proteiny v membráně *stratum corneum*, čímž při tomto procesu způsobují její nabobtnání. Získaná data podporují hypotézu, že to jsou monomery povrchově aktivní látky, nikoli micely, které se vážou na pokožku. Proto je pravděpodobné, že povrchově aktivní látky s nižší CMC vedou k menšímu množství navázaného surfaktantu a bývají tedy méně dráždivé. Studie uvádějí, že největší bobtnání vyvolávají alkylové řetězce C12 a C14, což je pravděpodobně dáno rovnováhou mezi rostoucí hydrofobností a klesající schopností pronikat do pokožky. Ethoxylace alkylsulfátů bobtnání výrazně snižuje, stejně jako přítomnost dvojmocných kationtů. [6]

Šetrné prostředky na mytí nádobí lze vytvořit několika způsoby, jako je výběr jemných tenzidů, kombinace jemných a silnějších tenzidů pro snížení dráždivosti a přidání hydratačních složek, které zlepšují pocit na pokožce a omezují její podráždění. [6]

2 PŘÍRODNÍ PAL

Znečištění životního prostředí představuje jeden z nejvýznamnějších globálních problémů, který narušuje ekosystémy Země a ohrožuje život na planetě. V reakci na rostoucí ekologické obavy se celosvětově zvyšuje snaha nahrazovat syntetické produkty jejich přírodními alternativami. Tento proces však přináší značné výzvy, nejen kvůli omezené dostupnosti přírodních zdrojů, ale také kvůli vyšším nákladům na jejich těžbu a zpracování ve srovnání se syntetickými variantami. [7]

Jednou ze skupin syntetických chemických látek s širokým průmyslovým využitím jsou povrchově aktivní látky, které tvoří základní složku detergentů a čisticích prostředků. Většina těchto látek pochází z petrochemických surovin, což často znamená jejich toxicitu a nízkou biologickou rozložitelnost, a to negativně ovlivňuje životní prostředí. [7]

Jako ekologicky šetrná a udržitelná alternativa k těmto syntetickým tensidům se nabízejí přírodní povrchově aktivní látky. Podle jejich původu se dělí na dvě hlavní skupiny:

- 1) přírodní surfaktanty rostlinného původu
- 2) přírodní surfaktanty vznikající fermentací přírodních substrátů, jako jsou alkany, oleje, cukry a organické odpady, za přítomnosti mikroorganismů, například bakterií nebo kvasinek, které se obvykle označují jako biosurfaktanty. [7]

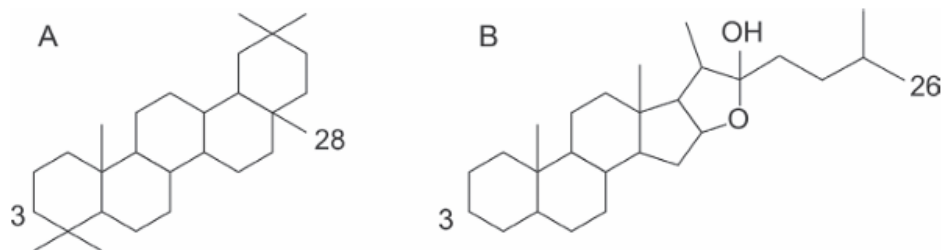
2.1 Saponiny

Rostliny jsou schopné produkovat širokou škálu různorodých látek, které často slouží jako ochrana před mikroorganismy, hmyzem a býložravci. Tyto biologicky aktivní sloučeniny mohou být přítomny v jakékoli části rostliny. Mezi tyto látky patří i saponiny, které se již tradičně využívají jako přírodní čisticí prostředky. Pojmenování „saponin“ pochází z latinského slova *sapo*, což znamená mýdlo, jelikož tyto látky mají výrazné pěnové vlastnosti. Díky svému přírodnímu původu jsou šetrné k životnímu prostředí, snadno biologicky rozložitelné. Kromě toho disponují některými lepšími fyzikálně-chemickými vlastnostmi ve srovnání se syntetickými látkami. [7; 8]

2.1.1 Molekulární struktura

Saponiny představují skupinu látek s pevnou strukturou tvořenou minimálně čtyřmi uhlovodíkovými kruhy, na které jsou navázány cukerné jednotky, obvykle po jedné nebo dvou, přičemž jejich celkový počet zřídka přesahuje deset. Tradičně se rozdělují

na triterpenoidní a steroidní glykosidy. Steroidní saponiny jsou hlavně sloučeniny s 27 uhlíky v základní struktuře. [8]

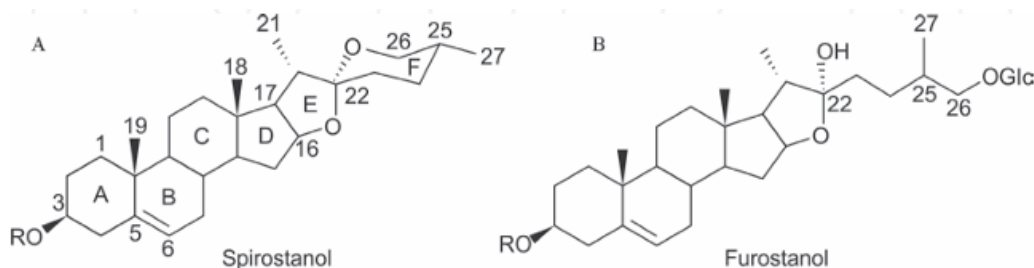


Obrázek 1: Triterpenoidní truktura (A) a steroidní struktura (B) [8]

Celkem existuje 11 hlavních tříd saponinů, přičemž nejběžnější je oleananová kostra, která se vyskytuje v mnoha řádech rostlinné říše. Saponiny, které mají sacharidovou nebo oligosacharidovou skupinu připojenou na uhlíku C-3, se označují jako monodesmosidické. Pokud však obsahují další cukerný řetězec navázaný na pozicích C-3 a C-26 nebo C-28, nazývají se jako bidesmosidické. Tridesmosidické saponiny pak mohou mít třetí cukerný řetězec připojený etherovou nebo esterovou vazbou k některé z hydroxylových (OH) nebo karboxylových (COOH) funkčních skupin přítomných na aglykonu. [8; 9]

Cukerné řetězce saponinů jsou nejčastěji složeny z monosacharidů, jako jsou D-glukóza, D-galaktóza, L-rhamnóza, L-arabinóza, D-xylóza, D-apióza, D-fukóza a D-glukuronová kyselina. Steroidní saponiny se obvykle vyskytují ve dvou základních formách, a to ve formě furostanolové a spirostanolové. [8].

Furostanolové glykosidy bývají bidesmosidické, zatímco spirostanolové jsou zpravidla monodesmosidické. Kromě těchto strukturálních variant mohou jak steroidní, tak triterpenové saponiny obsahovat různé funkční skupiny, například hydroxylovou ($-\text{OH}$), karboxylovou ($-\text{COOH}$) nebo methylovou ($-\text{CH}_3$), což přispívá k jejich chemické variabilitě. [8; 9]



Obrázek 2: Struktura spirostanolového (A) a furostanolového (B) saponinu [8]

Během skladování nebo zpracování může chemická struktura saponinů podléhat změnám. Vazby spojující cukerné řetězce s aglykony, stejně jako vazby mezi jednotlivými cukry, mohou být narušeny hydrolýzou v kyselém či zásaditém prostředí, hydrotermolýzou nebo působením enzymů a mikroorganismů. [8]

2.1.2 Zdroje saponinů

Přítomnost saponinů byla zaznamenána ve více než 100 čeledích cévnatých rostlin a v několika mořských zdrojích, jako jsou hvězdice a mořské okurky. Triterpenové saponiny se nacházejí převážně ve dvouděložných rostlinách, zejména v čeledích bobovitých (*Leguminosae*), aralkovitých (*Araliaceae*) a hvozdíkovitých (*Caryophyllaceae*). Zatímco steroidní saponiny se vyskytují hlavně v jednoděložných rostlinách, především v čeledích liliovitých (*Liliaceae*), smldincovitých (*Dioscoreaceae*) a agávovitých (*Agavaceae*). [7; 9]

Hlavními zdroji saponinů ve stravě člověka jsou luštěniny, zejména široké fazole, ledvinovité fazole a čočka. Saponiny se však nacházejí také v druzích rodu *Allium* (cibule, česnek), chřestu, ovsu, špenátu, cukrové řepě, čaji a yamu. Obsah těchto látek v uvedených potravinách se obvykle pohybuje v rozmezí 0,1 až 2 % sušiny. [8; 9]

Naopak hlavní rostlinné zdroje saponinů používané v medicíně a průmyslu zahrnují mýdlokor (*Quillaja saponaria*), juku mojavskou (*Yucca schidigera*), lékořici (druhy rodu *Glycyrrhiza*), ženšen (druhy rodu *Panax*), pískavici řecké seno (*Trigonella foenum-graecum*), vojtěšku (*Medicago sativa*), jírovec maďal (*Aesculus hippocastanum*), mydlici lékařskou (*Saponaria officinalis*), rostliny rodu *Gypsophila* (*Gypsophila paniculata*) a sarsaparilu (druhy rodu *Smilax*). Některé z těchto rostlin mají velmi vysoký obsah saponinů, přičemž nejbohatšími zdroji jsou *Yucca schidigera* a *Quillaja saponaria*, jejichž sušina může obsahovat až 10 % těchto sloučenin. [8; 9]

Saponiny se běžně vyskytují v kořenech, listech, plodech, oplodí, květech a semenech rostlin. Při extrakci z rostlinného materiálu se obvykle získává směs různých typů saponinů.

Složení a koncentrace saponinových extraktů se mohou lišit nejen mezi jednotlivými rostlinnými druhy, ale i mezi různými částmi téže rostliny. Obsah saponinů je navíc výrazně ovlivněn okolními podmínkami během růstu rostliny a způsobem extrakce. [7]

2.1.3 Povrchově aktivní vlastnosti

Povrchově aktivní vlastnosti saponinů ve vodném prostředí jsou důsledkem jejich amfifilní povahy, která spočívá v kombinaci lipofilního nepolárního aglykonu a hydrofilní polární glykosidové části. V molekule saponinu tvoří hydrofilní část cukerné řetězce rozpustné ve vodě, zatímco hydrofobní část může být steroid nebo triterpenoid, který je ve vodě nerozpustný. Díky této specifické struktuře patří saponiny mezi neionické tenzidy a vykazují široké spektrum povrchově aktivních vlastností, včetně snižování povrchového napětí, tvorby micel, pění, smáčení, emulgace a detergentce. [8]

Hodnota kritické micelární koncentrace saponinů se liší v závislosti na jejich zdroji. Původ saponinu ovlivňuje hydrofobicitu molekul a složení cukerných řetězců, což vede k variabilním hodnotám CMC. Obecně platí, že CMC saponinů je o jeden až dva řády nižší než u syntetických tenzidů. Saponiny dokážou snížit povrchové napětí již při nízkých koncentracích, čímž zlepšují pěnivost vodných roztoků. [7]

Karboxylová skupina v molekule saponinu může výrazně ovlivnit povrchovou aktivitu, stabilitu emulzí a zeta-potenciál emulzních kapek. Klíčovou roli nehraje pouze její přítomnost, ale také její umístění v molekulární struktuře. [9]

Pěnivost je jednou z klíčových vlastností povrchově aktivních látek, které se uplatňují v široké škále průmyslových a spotřebitelských produktů. Saponiny jsou ve vodě dobře rozpustné a mají výrazné pěnotvorné vlastnosti, aniž by vyžadovaly další stabilizátory pěny. Pěnotvorné schopnosti saponinů se odvíjejí od jejich chemické struktury. Výzkumy ukázaly, že monodesmosidické saponiny mají lepší pěnotvornost než bidesmosidické nebo tridesmosidické saponiny. Kromě pěnotvorných vlastností mají saponiny také významnou emulgační schopnost, která jim umožňuje stabilizovat emulze. Na základě těchto poznatků se saponiny stále častěji využívají pro tvorbu emulzí typu olej-ve-vodě, což rozšiřuje jejich potenciální využití v potravinářství, farmacii a kosmetice. [7]

Výzkumy zaměřené na saponiny z *Quillaja saponaria* v oblasti povrchové reologie ukázaly, že triterpenoidní saponiny vykazují mimořádně vysoké hodnoty viskoelasticity, jejich střižná a dilatační reologie je lepší než u mnoha proteinů a je srovnatelná s jinými biosurfaktanty, jako je hydrophobin II. [10]

2.1.4 Využití saponinů

Tenzidy mají schopnost odstraňovat nečistoty, mastnotu a špínu z povrchů, a proto se běžně používají jako čisticí složky v domácích detergentech a produktech osobní péče. Díky svým vlastnostem nacházejí tenzidy široké uplatnění nejen v čištění, ale také v průmyslových procesech, jako je barvení textilií, mazání a tisk. Mohou také solubilizovat organické nepolární látky (petrolej, barviva) tím, že je uzavírají do hydrofobního jádra micel. [7]

Saponiny nacházejí uplatnění v sprchových gelech, šamponech, pěnách do koupele, vlasových kondicionérech, tělových mlékách, koupelových a sprchových čisticích prostředcích, tekutých mýdlech, dětské kosmetice, ústních vodách a zubních pastách. [11]

V roce 2001 proběhl pokus o vytvoření zcela přírodního šamponu, jehož klíčové složky tvořily saponiny extrahované z oplodí *Sapindus mukorossi* v kombinaci s alkylpolyglykosidy. Tato formulace vykazovala detergenční účinnost, hodnoty povrchového napětí, pH a další vlastnosti srovnatelné s komerčními šampony, což naznačilo možnost vývoje plně přírodního šamponu. V roce 2021 byl vyvinut šampon bez syntetických tenzidů, jehož hlavní účinnou složkou byly saponiny extrahované z kořenů *Acanthophyllum squarrosum*. Tento produkt prokázal dobré čisticí schopnosti, měl pH v optimálním rozmezí a byl hodnocen jako vhodný pro běžné použití. Byla také vyvinuta unikátní organická zubní pasta, jejíž hlavní čisticí a pěnotvorné složky tvoří saponiny z *Quillaja saponaria* a *Yucca schidigera*. [7; 9]

Kromě svých čisticích vlastností jsou saponiny a jejich aglykony využívány jako bioaktivní složky v kosmetických produktech. Výzkumy naznačují, že saponiny mohou pomáhat chránit pokožku před oxidačním stresem a zánětlivými procesy, což z nich činí atraktivní složky přípravků proti stárnutí a pro péči o problematickou pleť. [11]

Ve farmacii jsou ceněny zejména pro své antimikrobiální, antioxidační, protizánětlivé, antidiabetické a protirakovinné účinky. Kromě toho mohou snižovat hladinu cholesterolu a posilovat imunitní odpověď organismu. Ze saponogenu diosgeninu, izolovaného z mexického yam (*Dioscorea spp.*), lze syntetizovat progesteron. Diosgenin se dodnes využívá jako klíčová surovina pro steroidní průmysl. [7; 11]

Mezi nejperspektivnější směry výzkumu využití ve farmacii patří chemopreventivní a chemoterapeutické účinky damaranových saponinů z ženšenu, které se testují jako potenciální protirakovinná léčiva. Další významnou oblastí výzkumu jsou inhibitory zrání HIV, mezi něž patří například PA-457. Tento lék je založen na derivátech betulinové

kyseliny a představuje nový přístup k léčbě HIV. Saponiny jsou též velmi využívány v tradiční čínské medicíně. Více než 85 % bylin zde běžně používaných obsahuje saponiny v detekovatelném množství. [11]

Saponiny nacházejí uplatnění i v potravinářství, a to zejména díky své sladké nebo hořké chuti jako dochucovadla. Například sladkost saponinů získaných z kořenů lékořice (*Glycyrrhiza inflata*, *G. uralensis*, *G. glabra*, *G. aspera*). V potravinářství se saponiny uplatňují také jako přírodní tenzidy a pomáhají zabránovat mikrobiálnímu kažení potravin. [7; 12]

Saponiny obsažené v rostlinách *Yucca schidigera* a *Quillaja saponaria* jsou ve Spojených státech klasifikovány jako potravinářská aditiva podle části 172.50 nařízení U.S. Food and Drug Administration. V Japonsku se mezi přírodní aditiva obsahující saponiny řadí enzymaticky modifikované sójové saponiny. Evropská unie klasifikuje extrakt z *Quillaja saponaria* jako pěnotvorné činidlo pro použití ve vodných nealkoholických nápojích (E 999) s maximální koncentrací $200 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [11]

Další studie ukázala, že celulóзовá mikro- a nanovlákná z banánů, získaná parním explozním procesem a ošetřená saponiny z mýdelníku, vykazovala změny v modifikaci a morfologii vláken. Bylo prokázáno, že saponiny vytvářejí souvislou síť vodíkových vazeb mezi vlákny, což zlepšuje jejich hydrofobní a kyselo-zásadité vlastnosti. Tento efekt přispívá k lepší interakci polymeru a vláken při výrobě kompozitních materiálů. [12]

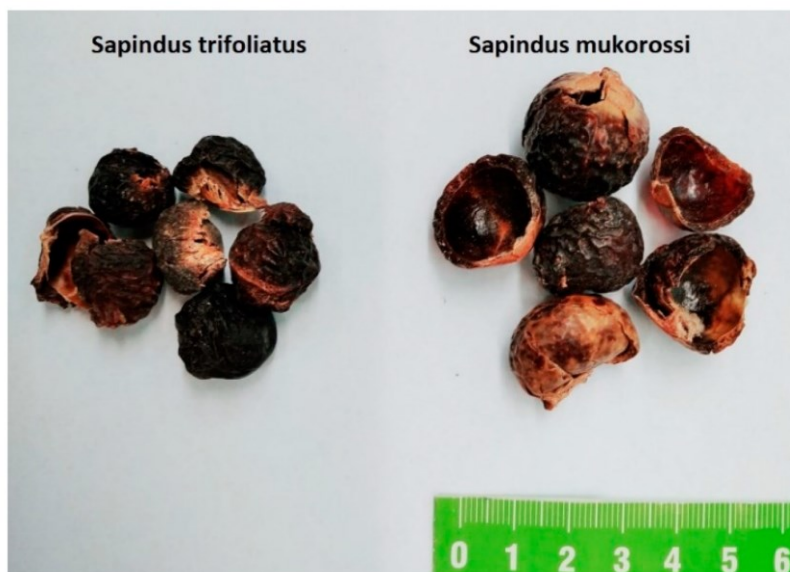
3 MÝDLOVÉ OŘECHY

Mýdlový ořech, známý také jako Reetha, je organická bylina proslulá svými významnými zdravotními přínosy. Přirozeně se vyskytuje zejména v jižní Indii a hojně roste ve vlhkých nížinných oblastech Srí Lanky. Kromě toho se s ním lze setkat i ve východní Asii, Pákistánu a oblasti Purabu. V Indii existují dva hlavní druhy mýdlových ořechů – na severu se vyskytuje *Sapindus mukurossi*, zatímco v jižních oblastech roste *Sapindus trifoliatus*, kterým se budeme v této práci především zabývat. Reetha je mohutný strom, jehož plody, slupky, semena i listy mají léčivé účinky a jsou využívány jak pro vnitřní, tak pro vnější použití. [13]



Obrázek 3: Strom *Sapindus trifoliatus*. Dostupné z: *Sapindus trifoliatus - Useful Tropical Plants* [cit. 2025-04-01]

Sapindus trifoliatus patří do čeledi *Sapindaceae*. Sušené plody tohoto stromu, označované jako mýdlové ořechy, se tradičně používají jako přírodní mýdlo. Název rodu vychází z latinských slov *sapo* (mýdlo) a *indicus* (Indie). Plody obsahují širokou škálu fytochemických látek a semena jsou bohatá na saponiny (11,5 %), mastné oleje (45 %) a glukózu (10 %). Z vodného extraktu plodů *Sapindus trifoliatus* byl izolován saponinový glykosid emarginotosid. [13]

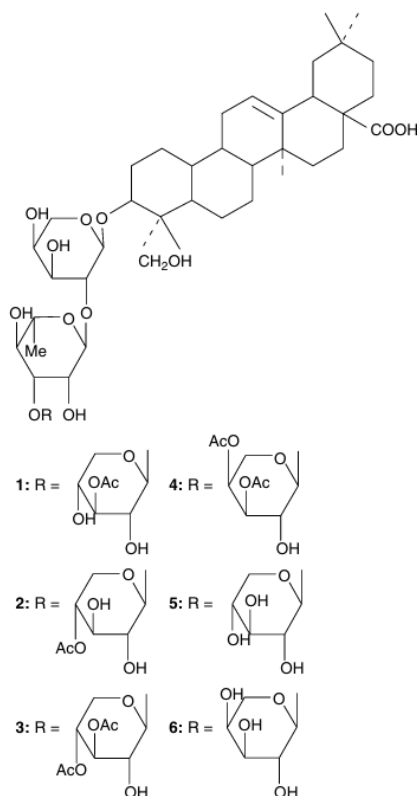


Obrázek 4: Mýdlové ořechy *Sapindus trifoliatus* a *mukorossi* [14]

3.1 Molekulární struktura

Saponiny získané z mýdlových ořechů jsou většinou triterpenoidního typu. Všechny *Sapindus trifoliatus* obsahují fenolové kyseliny, jako je kyselina protokatechuová, kyselina *cis-p*-kumarová, kyselina *p*-hydroxybenzoová a kyselina skořicová. [13; 14]

Ze šesti saponinů izolovaných ze *Sapindus trifoliatus* a charakterizovaných primárně pomocí 2D NMR byly všechny dříve izolovány ze *Sapindus mukorossi* (sloučeniny 4, 5 a 6) a *Sapindus delayi* (sloučeniny 1, 2 a 3). Všech šest saponinů z perikarpu *S. trifoliatus* bylo izolováno ve formě bílých krystalických pevných látek. Spektra sloučenin 1–6 jasně naznačovala, že všechny měly společnou triterpenovou aglykonovou jednotku spolu se třemi přidruženými monosacharidy. Z nichž 1 a 2 jsou monoacetylované a 3 a 4 jsou diacetylované. Všechny také mají dvě 6-deoxyhexapyranózové jednotky. [15]



Obrázek 5: Struktura saponinů získaných z oplodí rostliny *Sapindus trifoliatus* [15]

Při analýze FT-IR saponinu ze *Sapindu mukorossi* byly odhaleny signály odpovídající hydroxylovým skupinám (3407 cm^{-1}), $-\text{CH}_2$ skupinám (2918 cm^{-1}), $\text{C}=\text{O}$ natahování (1618 cm^{-1}), pětičlennému kruhovému ketonu (1742 cm^{-1}) a $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$ skupinám ($1044,91\text{ cm}^{-1}$). MALDI MS spektroskopie stanovila molekulovou hmotnost saponinu ze *Sapindus mukorossi* na 1001,9. U saponinů se běžně molekulová hmotnost pohybuje v rozmezí 719–1043. [16]

3.2 Povrchově aktivní vlastnosti

Saponiny jsou považovány za slabě kyselé, což je důsledkem hydrolýzy glykosidů. Při koncentraci $8\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ byly hodnoty pH roztoků ze *Sapindus mukorossi* a *Sapindus trifoliatus* v destilované vodě 4,6 a 4,8, zatímco v kohoutkové vodě dosáhly hodnoty 7,1. [14]

Bylo zjištěno, že extrakty ze *Sapindus trifoliatus* vykazují lepší schopnost snižovat povrchové napětí než extrakty *Sapindus mukorossi*. Kritická micelární koncentrace v deionizované vodě byla $0,32\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ pro *Sapindus mukorossi* a $0,24\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ pro *Sapindus trifoliatus*. [14]

Bylo také prokázáno, že extrakty z mýdlových ořechů lze použít opakovaně. U obou druhů ořechů došlo k největšímu a nejrychlejšímu snížení povrchového napětí po první extrakci. Každá další extrakce téže dávky ořechů vedla k méně výraznému a pomalejšímu poklesu hodnot povrchového napětí. Nicméně získané hodnoty povrchového napětí naznačují, že je stále rozumné používat stejné ořechy několikrát. [14]

Při testování smáčivosti na PTFE povrchu se ukázalo, že extrakty ze *Sapindus trifolius* mají lepší schopnost smáčet hydrofobní povrch než extrakty ze *Sapindus mukorossi*. Kontaktní úhel klesá se zvyšující se koncentrací surfaktantu. Pěnovost 0,5% roztoku surového saponinového extraktu ze *Sapindus mukorossi* dosahuje 65 % pěnovosti 0,5% roztoku SLS a je srovnatelná s pěnovostí 0,5% roztoku Tweenu 80. [14; 17]

3.3 Biologické a farmakologické účinky

Saponiny obsažené v *Sapindus trifolius* hrají významnou roli v ochraně kardiovaskulárního systému díky své strukturní podobnosti s kardioaktivními rostlinnými steroly. Je také známo, že snižují absorpci cholesterolu ve střevě pravděpodobně tím, že s ním tvoří nevstřebatelné komplexy, které nemohou proniknout střevní membránou. Methanolový extrakt z plodů *Sapindus trifolius* byl také identifikován jako látka s tlumivým účinkem na centrální nervový systém. Extrakt z oplodí snižoval spontánní pohybovou aktivitu a prokazoval při dávkách 100 a 200 mg·kg⁻¹ svalově relaxační účinky. Kromě toho významně posiloval hypnotické účinky fenobarbitalu, čímž vykazoval sedativní působení. [13]

Vzhledem k vysokému stupni strukturní heterogenity saponinů z mýdlových ořechů bylo zjištěno, že vykazují protinádorové účinky. Byly také zkoumány antihyperglykemické účinky alkoholového extraktu z listů *Sapindus trifolius* u hyperglykemických potkanů přetížených glukózou. Extrakt vykazoval silný hypoglykemický účinek závislý na dávce při různých koncentracích. Kromě toho saponiny mýdlových ořechů inhibují mechanismy využívané *Trichomonas* k oslabování imunitní odpovědi hostitele. [13; 18]

Ethanolové a chloroformové extrakty ze *Sapindus mukorossi* prokázaly výrazné antibakteriální účinky. Saponiny této rostliny jsou rovněž známé pro své spermicidní vlastnosti, což bylo potvrzeno morfologickými změnami lidských spermií po expozici těmito látkám, pozorovanými pod skenovacím elektronovým mikroskopem. Na základě těchto vlastností byly saponiny využity v antikoncepčních krémech. [18]

Saponiny z mýdlových ořechů také vykazují insekticidní aktivitu. Experimenty také prokázaly, že ethanolový extrakt vykazuje významný protizánětlivý účinek. V neposlední řadě se saponiny ze *Sapindus trifoliatus* osvědčily i v péči o vlasy, zejména při léčbě lupů. [13; 18]

Saponinový extrakt ze *Sapindus mukorossi* byl schválen Ministerstvem zdravotnictví a sociální péče Japonska jako povolená složka v kosmetických přípravcích. Díky své silné antidermatofytické aktivitě představují saponiny z této rostliny velmi slibnou surovinu pro kosmetický průmysl. Dermální testy neprokázaly žádné známky podráždění kůže, senzibilizace, fytotoxicity ani fotosenzitizace. [9]

4 ČAJOVÝ SAPONIN

Čajové saponiny, které se nacházejí v rostlinách rodu *Camellia*, jsou přírodní neionické surfaktanty. Nejčastěji se extrahují z pokrutin semen *Camellia oleifera*, přičemž jako potenciální zdroje se zkoumají také listy a květy *Camellia sinensis*. Obsah saponinu v semenech dosahuje 5–8 %. [19; 20]

Rostlina *Camellia oleifera* je rozšířena po celé Číně. Pokrutiny ze semen *Camellia* jsou vedlejším produktem průmyslu výroby kaméliového oleje a tvoří přibližně 50 % semen. V Číně má kameliový olej dlouhou tradici jako kuchyňský olej, přičemž hlavními oblastmi jeho produkce jsou provincie Hunan a Jiangxi. Každoročně se v Číně vyprodukuje přibližně dva miliony tun těchto pokrutin, ale většina z nich není efektivně využita a často se likviduje jako průmyslový odpad, což vede ke zbytečnému plýtvání surovinami. [20; 21]

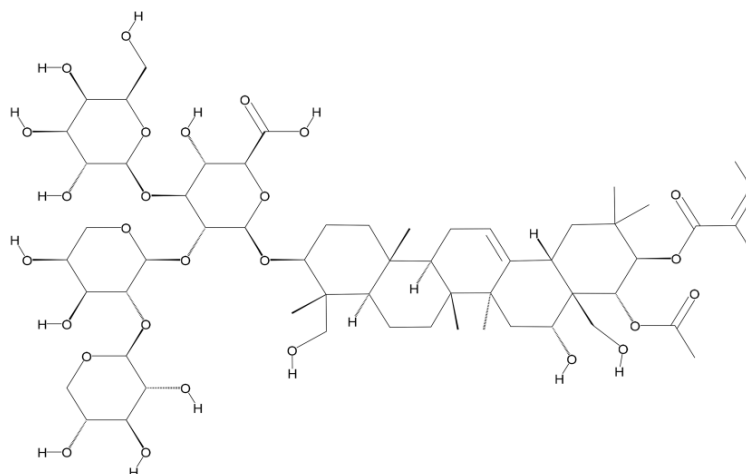
Pro průmyslovou extrakci a purifikaci čajových saponinů se doporučuje vodná extrakce nebo ultrazvukem asistovaná vodná extrakce s následnou acetonovou precipitací. [19]



Obrázek 6: Čajový saponinový [cit. 2025-03-20].
Dostupné z: Čajový saponinový pesticid Výhody
pro rostliny

4.1 Molekulární struktura

Čajový saponin je směs pentacyklických triterpenoidních saponinů s oleananovou strukturou. Tyto saponiny mají podobné složení a skládají se z organických kyselin, aglykonů a cukerných složek. Molekula čajového saponinu má typickou strukturu surfaktantu, tedy polární hydrofilní skupinu a nepolární hydrofobní skupinu. [21]



Obrázek 7: Typická struktura čajového saponinu [20]

4.2 Povrchově aktivní vlastnosti

Povrchová aktivita čajového saponinu vyplývá z jeho amfifilní struktury, která obsahuje hydrofilní a oleofilní skupiny. Hydrofilní skupina zahrnuje polární kyslíkové funkční skupiny jako -O-, -OH, -COO⁻ a -COOH, zatímco oleofilní část je tvořena nepolárními uhlovodíkovými kruhy. Díky vodíkovým vazbám mezi cukernými řetězci vytvářejí molekuly čajového saponinu na rozhraní vzduch/voda a olej/voda silné viskoelastické vrstvy, což podporuje stabilní akumulaci molekul a vytváří silnější vazby mezi oligosacharidovými řetězci. Aglykony v čajovém saponinu rovněž ovlivňují jeho rozhraní a povrchové vlastnosti. [20]

Čajový saponin má schopnost emulgace, pění a stabilizace pěny, disperze, smáčení povrchů a snižování povrchového napětí ve vodném roztoku, čímž zvyšuje rozpustnost hydrofobních látek. Pěnivost čajových saponinů se zvyšuje s rostoucí koncentrací jejich roztoku, ale při koncentraci 0,6 % dochází k oslabení tendence pěny k dalšímu růstu, přičemž stabilita pěny se ustaluje při koncentraci 0,5 %. [19; 21]

Povrchové napětí čajového saponinu bylo naměřeno jako 34,99 mN·m⁻¹ a jeho CMC činila 0,63 g·l⁻¹, přičemž po esterifikaci se jeho povrchová aktivita významně zvýšila. Při zvýšení teploty ze 24,85 °C na 39,85 °C se CMC snížila z 5,02·10⁻⁵ mol·l⁻¹ na 2,65·10⁻⁵ mol·l⁻¹, což ukazuje, že vyšší teplota podporuje tvorbu micel čajového saponinu. [20]

Výsledky výzkumu ukázaly, že se zvyšujícím se pH roztoku se CMC mírně zvyšuje, zatímco povrchový dilatační modul klesá. Přídavek NaCl měl jen malý vliv na CMC, ale snížil povrchový dilatační modul tím, že narušil vodíkové vazby mezi molekulami saponinů na povrchu. To naznačuje, že čajové saponiny mají vyšší povrchovou aktivitu v neutrálním

nebo mírně kyselém prostředí. Bylo také potvrzeno, že sulfátovaný derivát čajového saponinu má vyšší povrchovou aktivitu než samotný čajový saponin. [19]

4.3 Využití čajového saponinu

V posledních letech se výzkum aplikace čajového saponinu jako surfaktantu zaměřuje na oblast zemědělství, životního prostředí a potravinářství. Čajový saponin v kombinaci se syntetickými surfaktanty vykazuje synergické účinky a vynikající stabilitu pěny. Čajový saponin byl využit k enkapsulaci kurkuminu do kompozitních nanočástic na bázi zeinu a čajového saponinu, přičemž bylo dosaženo vysoké účinnosti enkapsulace, vysoké kapacity zatížení a chemické stability. Výzkum naznačuje, že čajový saponin bude v budoucnu hrát významnou roli v proteinových doručovacích systémech. Kromě toho se čajový saponin využívá jako surfaktant pro usnadnění extrakce aktivních složek, jako jsou flavonoidy, a pro podporu sacharifikace a fermentace. [21]

Studie prokázaly, že čajové saponiny mohou sloužit jako přírodní emulgátory pro přípravu nanoemulzí silymarinu a zároveň fungují jako účinné kryoprotektanty, které snižují poškození nanoemulze během lyofilizace. [22]

Čajové saponiny se využívají při louhovací sanaci, fytořemediaci a mikrobiální sanaci, přičemž přispívají k desorpci těžkých kovů z kontaminované půdy a zvyšují jejich biologickou dostupnost. Podporují akumulaci polutantů hyperakumulátory a zároveň urychlují degradaci organických polutantů prostřednictvím mikroorganismů. [19]

Saponiny získané z čajových semen se rovněž využívají v posklizňových ošetřeních citrusových plodů. Studie ukázaly, že kombinace čajových saponinů s *Bacillus amyloliquefaciens* nebo s fungicidy imazalil a prochloraz pomáhá omezit výskyt zelené a modré plísně i hniloby mandarinek po sklizni. [12]

Čajové saponiny ze semen zeleného čaje *Camellia sinensis* prokazují hemolytickou, antimikrobiální a angiogenní účinky. Dřívější studie prokázaly, že tři ze sedmi saponinů izolovaných ze semen zeleného čaje vykazovaly silnou aktivitu proti nádorovým buněčným liniím. Zjištění v jedné studii, která ukazuje antiangiogenní účinky šesti saponinových frakcí, naznačují, že saponiny mohou mít protinádorové účinky právě díky inhibici angiogeneze. Antiangiogenní mechanismus je považován za slibný přístup v boji proti rakovině. [23]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V praktické části bakalářské práce byly testovány schopnosti detergentů s obsahem mýdlových ořechů a čajového saponinu odstranit modelovou nečistotu z glazované keramiky. Současně u roztoků mýdlových ořechů a čajového saponinu byly stanoveny různé fyzikálně-chemické vlastnosti, a to jak čistých vodných systémů, tak i směsných detergentů. Výsledky takto získané byly porovnány s komerčními mycími prostředky.

6 SEZNAM POUŽITÝCH CHEMICKÝCH LÁTEK A PŘÍSTROJŮ

Chemické látky a jejich výrobce

Mýdlové ořechy – Výrobce, dodavatel: Ichimaru pharcos Co., Ltd.

Čajový saponin – Výrobce, dodavatel: Xian Youth Biotech Co., Ltd. Byl poskytnut společností BEWIT Natural Medicine, s.r.o., Ostrava.

Kokosové mýdlo – Výrobce, dodavatel: Tipheret cosmetics s.r.o. Složení: Obsahuje 30 % a více mýdla, Sodium Cocoate (sodné soli mastných kyselin kokosového oleje), voda a kokosový olej.

Jar Prostředek na nádobí Lemon – Výrobce: Procter a Gamble. Složení: 5–15 % aniontové povrchově aktivní látky (Sodium Laureth Sulfate a Lauramine Oxide), neiontové povrchově aktivní látky, Benzisothiazolinone, Phenoxyethanol, parfémy, limonene. [24]

FeelEco Prostředek na nádobí, ovoce a zeleninu – Výrobce: Fosfa a.s. Složení: 5 % nebo více, avšak méně než 15 %: aniontové povrchově aktivní látky na bázi rostlinných olejů (zejména řepkový, kokosový a palmový olej), méně než 5 %: amfoterní povrchově aktivní látky na bázi rostlinných olejů (řepkový, kokosový a částečně palmový olej), neiontové povrchově aktivní látky na bázi rostlinných olejů a cukrů (řepkový, kokosový, částečně palmový olej a glukóza), parfému (směs esenciálních olejů, extraktů a vzácné syntetické složky), Phenoxyethanol, Sodium Benzoate. [25]

Rostlinný tuk Iva – Výrobce: Orkla food ingredients Česko. Složení: Rostlinné tuky (palmové).

Propylenglykol – Výrobce: IPL Uherský Brod. Účel: Využívá se jako zvlhčující látka, která zabraňuje vysychání pokožky a zlepšuje stabilitu produktu.

Glycerol – Výrobce: Penta Chemicals s.r.o. Účel: Slouží ke snížení agresivity čisticích složek a hydratuje pokožku.

Decyl glucosid – Výrobce: McBride S.A. Účel: Je to neionická povrchově aktivní látka na přírodní bázi (získává se z kokosového oleje), která má výborné pěnicí vlastnosti.

Tabulka 5: Použité tenzidy

Látka:	Čistota:	Aktivní složka	Výrobce:	Typ tenzidu:
Flavol KDA	40±2 %	Cocamidopropyl betaine	Enaspol a. s.	Amfoterní
Spolapon AOS 146	37±1 %	Sodium C14–16 Olefin Sulfonate	Enaspol a. s.	Anionický
Dehypound LLD 60	-	Směs tenzidů ¹	BASF	Neionický
Spolapon AES 242	27±1 %	Sodium Laureth Sulfate	Enaspol a. s.	Anionický
Abeson NA 50	50±2 %	Sodium Dodecylbenzenesulfonate	Enaspol a. s.	Anionický

Seznam použitých přístrojů

Tenziometr K20 a Wilhelmyho destička PL21, Dynamic Foam Analyzer Krüss (DFA 100), filtrační papír FL4551 s velikostí pórů 12–15 µm.

¹ Ethoxylát mastného alkoholu; kyselina benzensulfonová, mono-C10–C13 alkyl deriv., draselné soli.

7 METODIKA

7.1 Příprava roztoků

Byly připraveny roztoky mýdlových ořechů, čajového saponinu, kokosového mýdla a komerčních přípravků na mytí nádobí Jaru a FeelEco.

Roztoky mýdlových ořechů a čajového saponinu měly koncentrace: 0,001; 0,01; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 5 a 10 % v destilované vodě.

Roztoky kokosového mýdla, Jaru a FeelEco měly koncentrace: 0,01; 0,1 a 1 % v destilované vodě.

Při přípravě 10% roztoku bylo rozpuštěno 10 g látky v malém množství vody, to bylo přelito do 100ml odměrné baňky a doplněno po rysku. Obdobně byl připraven i 1% roztok, pouze zde byl navážen 1 g látky do 100ml odměrné baňky. Poté roztoky o nižších koncentracích byly připraveny odpipetováním z daných roztoků.

Příklad výpočtu objemu 1% roztoku odpipetovaného na přípravu 0,1% roztoku dané látky:

$$1 \cdot V_1 = 0,1 \cdot 100$$

$$V_1 = 10 \text{ ml}$$

Potřebný odpipetovaný objem 1% roztoku byl 10 ml do 100ml odměrné baňky.

7.2 Měření povrchového napětí

K měření povrchového napětí byl použit tenziometr a platinová Wilhelmyho destička. Tenziometr K20 je přístroj určený k měření různých parametrů roztoků pomocí metody odtržení. Hlavní měření se provádí na základě stanovení povrchového napětí v našem případě pomocí Wilhelmyho destičky PL21 nebo se dá také využít Du Noüyho kroužku. Kromě toho lze pomocí tenziometru určit také mezifázové napětí, kritickou micelární koncentraci, hustotu a další fyzikálně-chemické vlastnosti. [26]



Obrázek 8: Tenziometr K20 (vlastní fotografie)

7.3 Měření pěnivosti

K měření byla použita metoda převrácení odměrných válců. Postup spočíval v tom, že do 50ml odměrného válce se zábrusem bylo nalito 25 ml měřeného roztoku, válec byl zazátkován a 20krát obracen dnem vzhůru. Následně byla pomocí měřidla zaznamenána výška vzniklé pěny v časech 0, 1, 5, 10, 15 a 30 minut.

7.4 Stanovení mycí schopnosti čistých látek a komerčních přípravků

Měření probíhalo tak, že na talíře byl odvážen 1 g tuku Iva, který byl rovnoměrně rozprostřen po povrchu talíře. Následně byl připraven roztok mycího detergentu o koncentraci $5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$. Roztok byl připraven tak, že bylo do mycí nádoby odměřeno 5 l vody o teplotě 35°C . Poté bylo k vodě přidáno 25 g mycího detergentu, který byl ve vodě rozmíchán, a pomocí skleněné tyčinky byla vytvořena rovnoměrná pěna. Ve vodě byly postupně umývány talíře, dokud mycí lázeň nebyla dále použitelná pro umytí dalšího talíře. Měření bylo opakováno vždy 3krát. Mytí probíhalo v kohoutkové vodě o tvrdosti $1,5\text{--}2,2 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$. Nakonec byl spočítán počet talířů, které byly v lázni umyty.

7.5 Příprava detergentů na mytí nádobí

Bylo připraveno 7 detergentů na mytí nádobí s mýdlovými ořechy a 4 detergenty na mytí nádobí s čajovým saponinem. Základní detergent obsahoval pouze propylenglykol, glycerol, mýdlové ořechy nebo čajový saponin, decyl glucosid a vodu. Neobsahoval žádnou další

přidanou povrchově aktivní látku. Další detergenty obsahovaly navíc 5 nebo 10 gramů další čisticí látky.

Tabulka 6: Složení mycích detergentů z mýdlových ořechů nebo čajového saponinu

Ingredience	Hmotnost [g]
Mýdlové ořechy nebo čajový saponin	25
Přidaná čisticí látka	0–10
Decyl glucosid	2,5
Propylenglykol	1
Glycerol	1
Voda	do 100

Jednotlivé detergenty mýdlových ořechů byly označené podle přidané čisticí látky.

Tabulka 7: Označení detergentů s mýdlovými ořechy

Látka:	Označení
Flavol KDA	A
Spolapon AOS 146	B
Dehypound LLD 60	C
Spolapon AES 242	D
Abeson NA 50	E

Jednotlivé detergenty čajového saponinu byly také označené podle přidané čisticí látky.

Tabulka 8: Označení detergentů s čajovým saponinem

Látka:	Označení
Flavol KDA	F
Dehypound LLD 60	G
Spolapon AES 242	H

Z připravených detergentů byly poté pomocí ředění destilovanou vodou připraveny detergenční roztoky o koncentracích 0,01; 0,1 a 1 %.

7.6 Měření pěnivosti pomocí přístroje „Dynamic foam analyzer“

Přístroj Dynamic Foam Analyzer Krüss (DFA 100) slouží k hodnocení míry a kvality pěnivosti v roztocích obsahujících tenzidy, detergenty nebo kosmetické přípravky. Měření je založeno na kontrolovaném probublávání plynu skrze sloupec kapaliny, přičemž přístroj zaznamenává výšku vytvořené pěny, její stabilitu, vnitřní strukturu a také množství kapalné složky obsažené v pěně. [27]

Analýza pěny využívá propustnost světla k určení podílu kapaliny a pěny ve skleněné koloně. Modul pro měření výšky pěny pracuje na principu, že vzduch a průhledná či poloprůhledná kapalina propouští světlo, zatímco pěna světlo blokuje. Tímto způsobem fotodetektor identifikuje jednotlivé fáze (kapalinu, pěnu a vzduch) a přesně určuje jejich rozhraní. [28]

Pro měření byl použit filtrační papír FL4551 s velikostí pórů 12–15 μm . Do zařízení bylo nalito 50 ml kapaliny, přičemž vzorek byl osvětlován modrým světlem o vlnové délce 469 nm a intenzitě 25 %. Plyn byl přiváděn rychlostí 0,2 l/min. Proces pění byl vždy automaticky ukončen ve chvíli, kdy objem napěněného vzorku dosáhl 180 ml.



Obrázek 9: Přístroj Dynamic Foam Analyzer DFA 100 Krüss (vlastní fotografie)

8 VÝSLEDKY A DISKUZE

8.1 Měření povrchového napětí roztoků komerčních přípravků

Bylo měřeno povrchové napětí 0,01; 0,1 a 1% roztoků komerčních přípravků na mytí nádobí (kokosové mýdlo, Jar a FeelEco). V následující tabulce můžeme vidět hodnoty povrchového napětí.

Tabulka 9: Povrchové napětí roztoků komerčních přípravků

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	1. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
Kokosové mýdlo				
0,01	30,2	$\pm 0,04$	29,0	$\pm 0,09$
0,1	22,4	$\pm 0,50$	22,3	$\pm 0,31$
1	23,3	$\pm 0,18$	22,6	$\pm 0,18$
Jar				
0,01	28,4	$\pm 0,05$	29,5	$\pm 0,13$
0,1	22,8	$\pm 0,03$	23,3	$\pm 0,10$
1	23,6	$\pm 0,06$	23,7	$\pm 0,00$
FeelEco				
0,01	37,7	$\pm 0,18$	37,9	$\pm 0,14$
0,1	26,4	$\pm 0,01$	27,0	$\pm 0,08$
1	30,7	$\pm 0,01$	30,9	$\pm 0,01$

Zde můžeme vidět, že kokosové mýdlo mělo nejnižší povrchové napětí $22,3 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ při koncentraci 0,1 %. Tato hodnota byla značně menší než jakákoli hodnota při měření roztoků mýdlových ořechů a čajového saponinu a bylo tomu stejně i u zbylých dvou koncentrací. Můžeme také vidět, že Jar měl nejnižší povrchové napětí při koncentraci 0,1 % a to bylo $22,8 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Tato hodnota byla větší než u kokosového mýdla a to znamená, že kokosové mýdlo lépe snižuje povrchové napětí. Zároveň byla menší než jakákoli hodnota při měření roztoků mýdlových ořechů a čajového saponinu a stejně tak hodnoty u zbylých dvou koncentrací. FeelEco měl nejnižší povrchové napětí při koncentraci 0,1 % a to činilo $26,4 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Tato hodnota byla vyšší než u kokosového mýdla i Jaru a to znamená, že z komerčních přípravků nejméně snižuje povrchové napětí. Ovšem tato hodnota byla nižší než jakákoliv hodnota při měření roztoků mýdlových ořechů a čajového saponinu, stejně tak tomu bylo i u povrchového napětí 1% roztoku. Avšak hodnota povrchového napětí u 0,01% roztoku se už velmi podobala povrchovému napětí u čajového saponinu při koncentraci 0,25 %, a dokonce byla mnohem vyšší než některé hodnoty povrchového

napětí u mýdlových ořechů. Zatímco u ostatních komerčních prostředků byly ve všech koncentracích značně nižší hodnoty povrchového napětí než u čistých rostlinných látek.

8.2 Měření povrchového napětí roztoků čistých látek

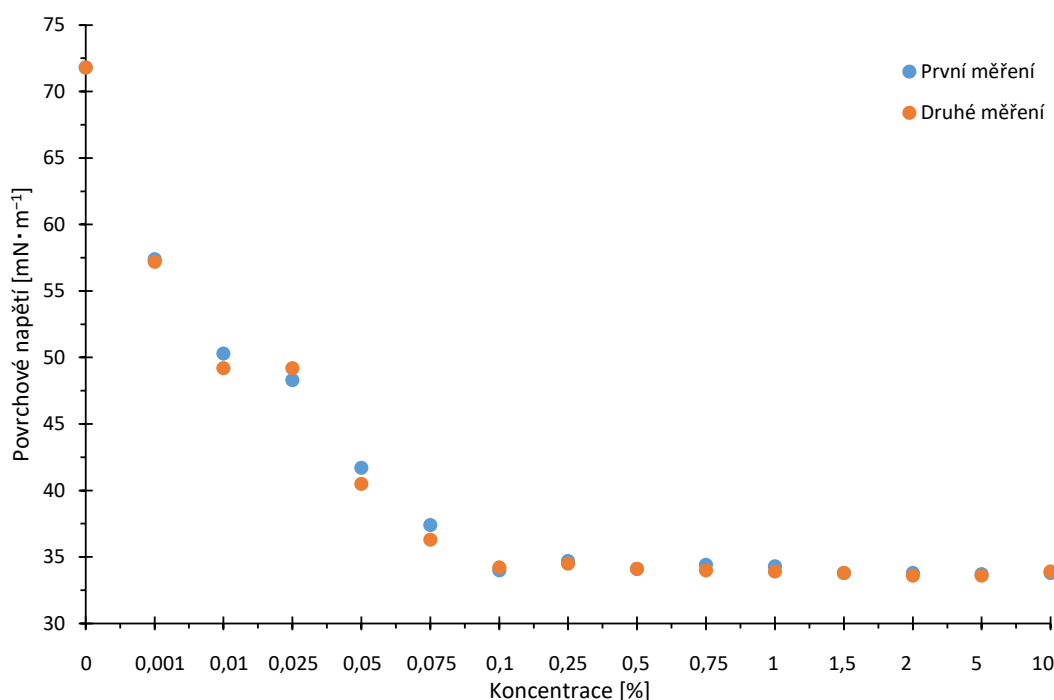
Byla měřena pěnivost roztoků mýdlových ořechů a čajového saponinu v destilované vodě o koncentracích 0,001; 0,01; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 5 a 10 %.

Měření povrchového napětí roztoků mýdlových ořechů

V následující tabulce a grafu můžeme vidět závislost povrchového napětí na koncentraci mýdlových ořechů v roztoku.

Tabulka 10: Povrchové napětí roztoků mýdlových ořechů

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	1. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
0	71,8	$\pm 0,04$	71,8	$\pm 0,04$
0,001	57,4	$\pm 0,03$	57,2	$\pm 0,10$
0,01	50,3	$\pm 0,72$	49,2	$\pm 0,70$
0,025	48,3	$\pm 1,71$	49,2	$\pm 1,45$
0,05	41,7	$\pm 0,43$	40,5	$\pm 0,37$
0,075	37,4	$\pm 0,26$	36,3	$\pm 0,09$
0,1	34,0	$\pm 0,04$	34,2	$\pm 0,05$
0,25	34,7	$\pm 0,02$	34,5	$\pm 0,02$
0,5	34,1	$\pm 0,03$	34,1	$\pm 0,03$
0,75	34,4	$\pm 0,05$	34,0	$\pm 0,02$
1	34,3	$\pm 0,05$	33,9	$\pm 0,04$
1,5	33,8	$\pm 0,03$	33,8	$\pm 0,04$
2	33,8	$\pm 0,03$	33,6	$\pm 0,04$
5	33,7	$\pm 0,04$	33,6	$\pm 0,04$
10	33,8	$\pm 0,03$	33,9	$\pm 0,09$



Obrázek 10: Graf závislosti povrchového napětí na koncentraci mýdlových ořechů v roztoku

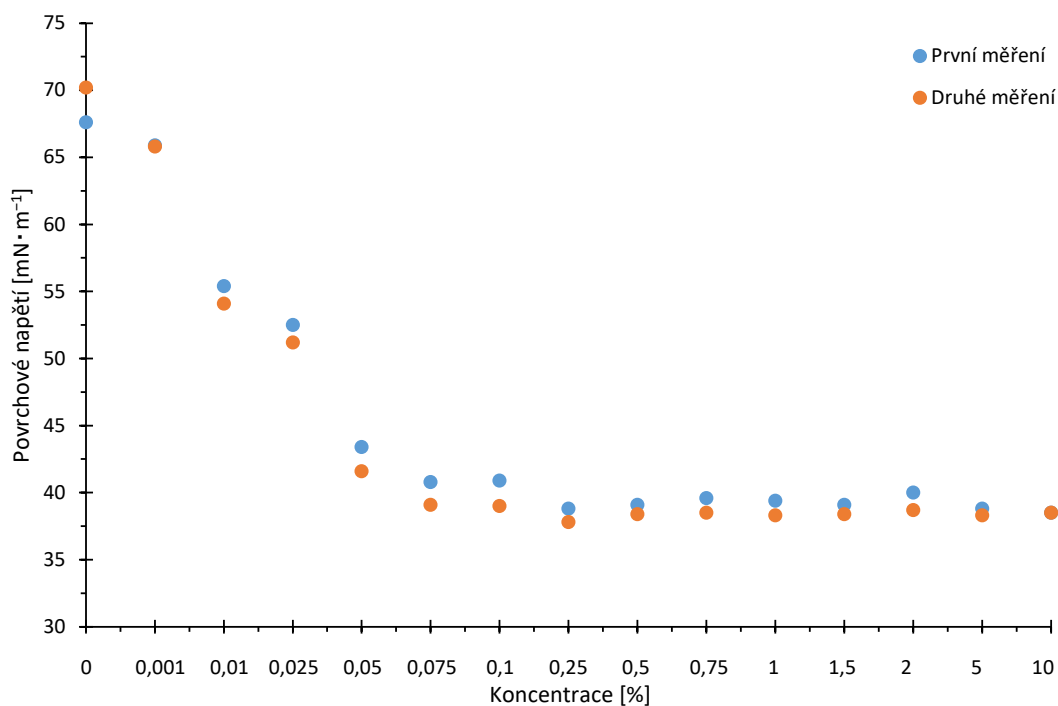
V tabulce i grafu můžeme pozorovat, že na začátku povrchové napětí značně klesalo se zvyšující se koncentrací. Nejvyšší hodnoty povrchového napětí bylo dosaženo při první koncentraci 0,001 %, což bylo $57,4 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$. Od koncentrace 0,1 % už se konstantně pohybovalo povrchové napětí kolem hodnoty $34 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$. Nejnižší povrchové napětí bylo při koncentracích 2 a 5 % a to činilo $33,6 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$. Hodnoty při prvním a druhém měření byly značně podobné, především mezi koncentracemi 0,1–10 %. Povrchové napětí bylo vyšší než u většiny komerčních prostředků. Kritická micelární koncentrace byla určena z průběhu závislosti povrchového napětí na koncentraci povrchově aktivní látky. Z hodnot, při kterých dochází k ustálení povrchového napětí, byla CMC odhadnuta na přibližně 0,1 %.

Měření povrchového napětí roztoků čajového saponinu

Dále byly stejným způsobem proměřeny roztoky čajového saponinu, výsledky můžeme vidět v následující tabulce a grafu.

Tabulka 11: Povrchové napětí roztoků čajového saponinu

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	1. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
0	67,6	$\pm 0,00$	70,2	$\pm 0,01$
0,001	65,9	$\pm 0,08$	65,8	$\pm 0,02$
0,01	55,4	$\pm 0,04$	54,1	$\pm 0,04$
0,025	52,5	$\pm 0,14$	51,2	$\pm 0,09$
0,05	43,4	$\pm 0,07$	41,6	$\pm 0,07$
0,075	40,8	$\pm 0,06$	39,1	$\pm 0,06$
0,1	40,9	$\pm 0,09$	39	$\pm 0,06$
0,25	38,8	$\pm 0,05$	37,8	$\pm 0,04$
0,5	39,1	$\pm 0,08$	38,4	$\pm 0,06$
0,75	39,6	$\pm 0,13$	38,5	$\pm 0,06$
1	39,4	$\pm 0,09$	38,3	$\pm 0,04$
1,5	39,1	$\pm 0,07$	38,4	$\pm 0,05$
2	40,0	$\pm 0,08$	38,7	$\pm 0,04$
5	38,8	$\pm 0,03$	38,3	$\pm 0,03$
10	38,5	$\pm 0,02$	38,5	$\pm 0,03$



Obrázek 11: Graf závislosti povrchového napětí na koncentraci čajového saponinu v roztoku

V tabulce i grafu můžeme opět pozorovat, že na začátku povrchové napětí velmi klesalo se zvyšující se koncentrací. Nejvyšší hodnoty povrchového napětí bylo dosaženo při první koncentraci 0,001 %, což bylo $65,9 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Od koncentrace 0,25 % už se konstantně pohybovala hodnota povrchového napětí mezi $37,8\text{--}40,0 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Nejnižší povrchové napětí bylo při koncentraci 0,25 % a to činilo $37,8 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Hodnoty při prvním a druhém měření byly značně podobné. Dále můžeme také pozorovat, že hodnoty povrchového napětí u roztoků s čajovým saponinem neklesly na takové hodnoty jako u roztoků s mýdlovými ořechy. Hodnoty také více klesaly až při vyšší koncentraci roztoku. To znamená že mýdlové ořechy lépe snižují povrchové napětí než čajový saponin. Kritická micelární koncentrace se v tomto případě bude pohybovat kolem 0,1 %.

8.3 Měření pěnivosti roztoků komerčních prostředků

Byla měřena pěnivost 0,01; 0,1 a 1% roztoků komerčních přípravků na mytí nádobí (kokosové mýdlo, Jar a FeelEco).

Měření pěnivosti roztoků kokosového mýdla

V následující tabulce můžeme vidět hodnoty výšky pěny roztoků kokosového mýdla o různých koncentracích v daných časových intervalech.

Tabulka 12: Měření pěnivosti u roztoků kokosového mýdla

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,1	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
1	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5

V tabulce můžeme vidět že tvorba a stabilita pěny u 1% a 0,1% roztoku byly velmi dobré a pěna si po celou dobu uchovala svůj objem. U 0,01% roztoku se téměř žádná pěna nevytvořila a také se rychle rozpadla, což je zajímavé například v porovnání s mýdlovými ořechy, kde tvorba a stabilita pěny u 0,01% roztoku byly mnohem lepší. Vytvořená pěna byla velmi hustá, obsahovala málo vzduchu a bubliny byly poměrně malé.

Měření pěnivosti roztoků Jaru

Dále byla měřena pěnivost u roztoků Jaru, naměřené hodnoty byly zapsány a okomentovány níže.

Tabulka 13: Měření pěnivosti u roztoků Jaru

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7
0,1	5,1	5,1	5,0	4,8	4,8	4,8
1	10,8	10,8	10,8	10,5	10,5	10,5

V tabulce můžeme vidět, že tvorba a stabilita pěny byly opět u 1% roztoku výborné a množství vytvořené pěny leželo mezi hodnotami kokosového mýdla a přípravku FeelEco. U 0,1% roztoku byla tvorba průměrná. Tvorba pěny u 0,01% roztoku nebyla příliš dobrá a byla chováním značně podobná pěně 0,01% roztoku mýdlových ořechů. Pěna byla i vzhledově podobná pěně mýdlových ořechů.

Měření pěnivosti roztoků FeelEco

Jako poslední z komerčních roztoků byly měřeny roztoky přípravku FeelEco a hodnoty byly opět zaznamenány do následující tabulky.

Tabulka 14: Měření pěnivosti u roztoků FeelEco

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	3,0	2,5	2,5	2,4	2,3	2,1
0,1	6,0	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7
1	8,9	8,9	8,9	8,6	8,5	8,5

Pěnivost 1% a 0,1% roztoku byla dobrá, avšak stabilita byla menší oproti ostatním testovaným komerčním přípravkům. Ovšem tvorba pěny u 0,01% roztoku byla nejlepší ze všech komerčních přípravků při této koncentraci. Pěna neměla takovou hustotu jako u ostatních přípravků, ale rozdíl nebyl příliš markantní.

8.4 Měření pěnivosti roztoků čistých látek

Byla měřena pěnivost 0,01; 0,1; a 1% roztoků mýdlových ořechů a čajového saponinu.

Měření pěnivosti roztoků mýdlových ořechů

Prvně byla měřena pěnivost u mýdlových ořechů. Jednotlivé hodnoty výšky pěny jsou uvedeny v tabulce níže.

Tabulka 15: Měření pěnivosti u roztoků mýdlových ořechů

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7
0,1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
1	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0

V tabulce můžeme pozorovat, že u 1% roztoku byly stabilita a tvorba pěny dobré. Stabilita byla také velmi dobrá u 0,1% roztoku, avšak tvorba pěny u něj byla poněkud horší v porovnání s ostatními látkami. U 0,01% roztoku se s ohledem na koncentraci vytvořilo průměrné množství pěny, které jen pozvolna opadávalo. Pěna byla o něco hustší než pěna FeelEco, obsahovala mnohem menší bubliny než pěna kokosového mýdla a byla podobná pěně Jaru.

Měření pěnivosti roztoků čajového saponinu

Poté byla měřena pěnivost u čajového saponinu. Jednotlivé hodnoty výšky pěny můžeme vidět v následující tabulce.

Tabulka 16: Měření pěnivosti u roztoků čajového saponinu

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	2,9	2,5	2,2	2,2	2,2	2,1
0,1	8,2	8	7,7	7,7	7,7	7,6
1	9	8,5	8,2	8,2	8,2	8,1

V tabulce můžeme vidět, že u 1% roztoku byla tvorba pěny velmi dobrá. Tvorba a stabilita byly uspokojivé také u 0,1% roztoku. U 0,01% roztoku se s ohledem na koncentraci vytvořilo překvapivě dobré množství pěny. Pěna vypadala podobně jako u mýdlových ořechů.

8.5 Stanovení mycí schopnosti čistých látek a komerčních přípravků

Bylo spočítáno, kolik talířů dokážou umýt komerční prostředky – kokosové mýdlo, Jar a FeelEco. Následně byl zjištěn počet talířů, jež bylo možné umýt pomocí 25 g mýdlových ořechů a čajového saponinu.

Tabulka 17: Počet umytých talířů pomocí komerčních přípravků a roztoků čistých látek

Látka	Číslo měření		
	1.	2.	3.
	Počet umytých talířů		
Kokosové mýdlo	22	23	28
Jar	29	28	27
FeelEco	29	31	28
Mýdlové ořechy	5	7	7
Čajový saponin	2	3	2

Jar a FeelEco umyly podobné množství nádobí, přibližně 29 kusů, což bylo nejvíce ze všech testovaných prostředků. Mírně lepších výsledků dosáhl prostředek FeelEco, který dokázal umýt až 31 talířů. Kokosové mýdlo mylo také dobře a mělo velmi stabilní pěnu, ale přesto mytí bylo ve většině pokusů ukončeno o něco dříve než u zbylých dvou komerčních přípravků. Voda při všech použitých prostředcích byla stále schopná nějaké nečistoty umýt, ale již v ní bylo značné množství kousků tuku, které neustále ulpívaly na nádobí, což zhoršovalo kvalitu jeho umytí. Pomocí mýdlových ořechů bylo umyto 5–7 talířů, a to bylo o něco více než u čajového saponinu, kdy byly umyty 2–3 talíře. U mýdlových ořechů bylo mytí o něco snazší a pěna stabilnější. Pěna u čajového saponinu se rychle rozpadala. V porovnání s komerčními prostředky je zřejmé, že mycí účinnost saponinů byla velmi nízká.

8.6 Měření povrchového napětí detergentů na mytí z mýdlových ořechů

Bylo měřeno povrchové napětí sedmi detergentů na mytí nádobí z mýdlových ořechů o koncentracích 0,01; 0,1; 1 a 100 %.

Měření povrchového napětí základních detergentních roztoků mýdlových ořechů

Prvně bylo změřeno povrchové napětí základních detergentních roztoků mýdlových ořechů, které neobsahovaly 5 nebo 10 gramů přidané čisticí látky jako zbylých 6 detergentů.

Tabulka 18: Naměřené povrchové napětí základních detergentních roztoků mýdlových ořechů

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	1. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
0,01	46,5	$\pm 0,02$	47,5	$\pm 0,06$
0,1	35,4	$\pm 0,06$	34,6	$\pm 0,03$
1	32,5	$\pm 0,01$	32,3	$\pm 0,01$
100	33,9	$\pm 0,12$	33,7	$\pm 0,06$

Měření povrchového napětí detergentních roztoků mýdlových ořechů A

Bylo změřeno povrchové napětí detergentních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 5 g Flavolu KDA.

Tabulka 19: Naměřené povrchové napětí detergentních roztoků A

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	1. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
0,01	45,0	$\pm 0,06$	45,4	$\pm 0,01$
0,1	30,8	$\pm 0,01$	31,1	$\pm 0,02$
1	30,3	$\pm 0,01$	30,4	$\pm 0,01$
100	32,1	$\pm 0,12$	32,1	$\pm 0,15$

Měření povrchového napětí detergentních roztoků mýdlových ořechů B

Bylo změřeno povrchové napětí detergentních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 5 g Spolaponu AOS 146.

Tabulka 20: Naměřené povrchové napětí detergentních roztoků B

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	1. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
0,01	47,2	$\pm 0,06$	46,9	$\pm 0,07$
0,1	35,3	$\pm 0,03$	34,4	$\pm 0,02$
1	32,6	$\pm 0,01$	32,4	$\pm 0,01$
100	33,1	$\pm 0,04$	33,0	$\pm 0,01$

Měření povrchového napětí detergentních roztoků mýdlových ořechů C

Bylo změřeno povrchové napětí detergentních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 5 g Dehypoundu LLD 60.

Tabulka 21: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků C

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [mN·m ⁻¹]	1. Odchylka [mN·m ⁻¹]	2. Povrchové napětí [mN·m ⁻¹]	2. Odchylka [mN·m ⁻¹]
0,01	42,0	±0,09	41,9	±0,08
0,1	29,9	±0,07	29,6	±0,02
1	28,5	±0,02	28,6	±0,01
100	30,3	±0,06	29,3	±0,01

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků mýdlových ořechů D₅

Bylo změřeno povrchové napětí detergenčních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 5 g Spolaponu AES 242.

Tabulka 22: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků D₅

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [mN·m ⁻¹]	1. Odchylka [mN·m ⁻¹]	2. Povrchové napětí [mN·m ⁻¹]	2. Odchylka [mN·m ⁻¹]
0,01	43,2	±0,01	44,0	±0,01
0,1	34,7	±0,02	33,2	±0,02
1	32,7	±0,03	32,3	±0,01
100	33,3	±0,01	33,2	±0,01

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků mýdlových ořechů D₁₀

Bylo změřeno povrchové napětí detergenčních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 10 g Spolaponu AES 242.

Tabulka 23: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků D₁₀

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [mN·m ⁻¹]	1. Odchylka [mN·m ⁻¹]	2. Povrchové napětí [mN·m ⁻¹]	2. Odchylka [mN·m ⁻¹]
0,01	43,5	±0,08	42,4	±0,08
0,1	34,9	±0,08	33,8	±0,02
1	32,6	±0,01	32,5	±0,01
100	33,2	±0,01	32,7	±0,11

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků mýdlových ořechů E

Bylo změřeno povrchové napětí detergenčních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 5 g Abesonu NA 50.

Tabulka 24: Naměřené povrchové napětí detergentních roztoků E

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	1. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
0,01	47,6	$\pm 0,10$	45,8	$\pm 0,06$
0,1	34,2	$\pm 0,03$	34,3	$\pm 0,03$
1	32,5	$\pm 0,01$	32,5	$\pm 0,01$
100	32,8	$\pm 0,03$	32,7	$\pm 0,01$

Porovnání výsledků povrchového napětí detergentů na mytí nádobí z mýdlových ořechů

Všechny roztoky měly nejnižší povrchové napětí při koncentraci 1 % a nejvyšší při koncentraci 0,01 %. Celkově nejnižší povrchové napětí bylo u detergentu C, který měl při koncentraci 1 % povrchové napětí $28,5 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Poté velmi dobře snižovaly povrchové napětí roztoky A, které měly povrchové napětí až $30,3$ a $30,4 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. U zbývajících detergentních roztoků se hodnoty pohybovaly v podobném rozmezí, s nejnižší hodnotou u 1% roztoku, přibližně $32,5 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Zároveň bylo připraveno několik detergentů, kde byl namísto decyl glucosidu použit coco-glucoside, aqua. Povrchové napětí těchto roztoků bylo značně podobné jako u variant s decyl glukosidem. Zajímavé však bylo, že rozdíl se projevil pouze při koncentraci 0,01 %. Při této koncentraci měly roztoky s coco-glucosidem o něco menší povrchové napětí. Zbýlé 3 koncentrace měly hodnoty velmi podobné s použitím obou povrchově aktivních látek.

8.7 Měření pěnivosti detergentů na mytí z mýdlových ořechů

Byla měřena pěnivost sedmi detergentů na mytí nádobí z mýdlových ořechů o koncentracích 0,01; 0,1; 1 a 100 %.

Měření pěnivosti základních detergentních roztoků mýdlových ořechů

Prvně byla změřena pěnivost základních detergentních roztoků mýdlových ořechů, které neobsahovaly 5 nebo 10 gramů přidané povrchově aktivní látky jako zbylých 6 detergentů.

Tabulka 25: Měření pěnivosti u základních detergenčních roztoků mýdlových ořechů

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
0,1	3,5	3,5	3,5	3,4	3,4	3,3
1	7,9	7,9	7,7	7,7	7,5	7,5
100	5,1	5,1	4,9	4,7	4,6	4,4

Stabilita pěny byla poměrně dobrá, avšak tvorba pěny byla horší oproti ostatním detergenčním roztokům. Pěna byla hustá, nadýchaná a obsahovala drobné bubliny.

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků mýdlových ořechů A

Byla změřena pěnivost detergenčních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 5 g Flavolu KDA.

Tabulka 26: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků A

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2
0,1	4,9	4,9	4,9	4,8	4,8	4,8
1	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
100	7,1	7,1	7,1	7,0	6,9	6,9

Stabilita byla dobrá, ale objemnost pěny patřila v porovnání s dalšími detergenty k těm horším. Můžeme si všimnout, že vzniklo značné množství pěny i při koncentraci 0,01 %. Vzhled pěny byl podobný pění vzniklé u základních detergenčních roztoků mýdlových ořechů.

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků mýdlových ořechů B

Byla změřena pěnivost detergenčních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 5 g Spolaponu AOS 146.

Tabulka 27: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků B

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8
0,1	5,3	5,3	5,3	5,3	5,2	5,2
1	13,4	13,4	13,4	13,0	12,8	12,8
100	10,0	10,0	10,0	10,0	6,0	5,6

U této směsi se pěna tvořila dobře a byla i velmi stabilní. Tvorba i stabilita pěny jsou v porovnání s ostatními detergenty jedny z nejlepších. Pěna byla na spod hustá s malým množstvím vzduchu v bublinách. Ve vrchní části se poté tvořila sušší pěna s velkými bublinami, které časem začaly mírně praskat.

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků mýdlových ořechů C

Byla změřena pěnivost detergenčních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 5 g Dehypoundu LLD 60.

Tabulka 28: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků C

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9
0,1	4,3	4,3	4,1	4,1	4,0	3,7
1	11,0	11,0	10,8	10,6	10,2	9,0
100	5,9	5,9	5,5	5,2	4,9	4,5

Pěnivost byla velmi dobrá, avšak stabilita pěny patřila mezi horší ve srovnání s ostatními detergenty z mýdlových ořechů. Pěna působila kvalitně a hutně. Při větším objemu se však ve vrchní části opět objevovaly bubliny s vyšším obsahem vzduchu.

Měření pěnivosti detergenčních roztoků mýdlových ořechů Ds

Byla změřena pěnivost detergenčních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 5 g Spolaponu AES 242.

Tabulka 29: Měření pěnivosti u roztoků D₅

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
0,1	5,0	5,0	4,9	4,6	4,6	4,6
1	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
100	6,6	6,5	6,5	6,5	6,4	5,9

Množství a stabilita pěny byly podobné jako u detergentu C. Pěna nebyla tak hustá a obsahovala o něco větší vzduchové bubliny, které občas praskaly. Velké množství pěny po promíchání ulpělo v hrdle odměrného válce a na vrchní části válce.

Měření pěnivosti detergentních roztoků mýdlových ořechů D₁₀

Byla změřena pěnivost detergentních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 10 g Spolaponu AES 242.

Tabulka 30: Měření pěnivosti u detergentních roztoků D₁₀

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7
0,1	6,1	6,1	5,9	5,6	5,5	5,5
1	9,0	9,0	8,8	8,6	8,5	8,4
100	6,5	5,6	5,5	5,5	5,5	5,3

Tvorba pěny byla nadprůměrná, a to stejné platí i o stabilitě pěny. Navýšením obsahu látky Spolapon AES 242 bylo docíleno zlepšení tvorby pěny pouze při koncentraci 0,1 %, u zbývajících koncentrací zůstalo množství vzniklé pěny stejné, nebo se dokonce snížilo. Vzhled pěny byl podobný jako při použití 5 g této látky, avšak pěna byla sušší a obsahovala výrazně více velkých vzduchových bublin.

Měření pěnivosti detergentních roztoků mýdlových ořechů E

Byla změřena pěnivost detergentních roztoků mýdlových ořechů, které obsahovaly 5 g Abesonu NA 50.

Tabulka 31: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků E

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7
0,1	6,1	6,1	6,0	6,0	6,0	5,9
1	13,8	13,8	13,4	9,0	8,5	6
100	8,4	8,3	6,0	4,5	3,5	2,5

Tvorba pěny u detergentu E byla dobrá, ale stabilita patřila k těm horším. Nepříliš velkou stabilitu způsobovaly velké vzduchové bubliny ve vrchní části pěny, které postupně praskaly. Při koncentraci 1 % se sloupec pěny postupně oddělil na 2 části. Oddělení vzniklo právě prasknutím pár větších bublin.

Porovnání výsledků pěnivosti detergentů na mytí nádobí mýdlových ořechů

Všechny detergenty vykazovaly nejlepší pěnivost při koncentraci 1 % a nejhorší při koncentraci 0,01 %. Nejintenzivnější pění bylo pozorováno u detergenčních roztoků B a E. Nejhorší pěnivost měl základní detergenční roztok mýdlových ořechů, který překvapivě vykazoval relativně dobrou pěnivost při koncentraci 0,01 % ve srovnání s ostatními roztoky této koncentrace. Hned po něm měl nejhorší pěnivost detergenční roztok A.

8.8 Měření mycí schopnosti detergentů na mytí z mýdlových ořechů

V této části bylo testováno kolik talířů bylo umyto detergenty připravených z mýdlových ořechů.

Tabulka 32: Počet umytých talířů pomocí mýdlových ořechů

Detergent	Číslo měření		
	1.	2.	3.
	Počet umytých talířů		
Základní	2	3	3
A	3	2	2
B	5	6	6
C	3	4	5
D ₅	8	7	7
D ₁₀	13	14	14
E	10	13	12

Porovnání výsledků mycí schopnosti detergentních roztoků mýdlových ořechů

Základní detergentní roztok mýdlových ořechů a detergent A myly nádobí podobně. Tuk se významně usazoval na rukavicích, které poté opakovaně znečišťovaly talíře. Pěna se tvořila obtížně a rychle kolabovala. Ve vodě se navíc objevovaly větší shluky tuku. Detergent A vykazoval o něco nižší mycí účinnost, avšak mytí probíhalo rychleji. Detergent B umyl talířů o něco více a kvalitněji. Tvořila se zde lépe pěna, která také pomaleji opadala. Ve vodě se tvořily menší kousky tuku. Detergent C myl nádobí o něco hůře, hlavním důvodem bylo, že pěna při umývání velmi rychle mizela a tvořilo se zde spoustu tukových kousků, které zůstávaly na rukavicích. Detergentem D₅ se mylo nádobí poměrně dobře, pěna se tvořila rychle a byla poměrně stabilní. Detergent D₁₀ myl talíře nejlépe a mytí bylo ukončeno především kvůli velké tvorbě kousků tuku, které ulpávaly na okrajích talíře. Vznikala dobrá a velmi stabilní pěna. Mytí detergentem E bylo poměrně snadné. Detergent myl nadprůměrně, pěna se tvořila dobře a dlouho nemizela. Ve vodě se přesto tvořily malé kousky tuku, které ulpávaly na talířích. Nejlépe ze všech myly detergenty D₁₀ a E, které umyly 13–14 kusů nádobí. Nejhorší nádobí myly základní směs a detergent A. Tyto detergenty umyly pouze 2–3 kusy nádobí.

8.9 Měření povrchového napětí detergentů na mytí z čajového saponinu

Bylo měřeno povrchové napětí čtyř detergentů na mytí nádobí z čajového saponinu o koncentracích 0,01; 0,1; 1 a 100 %.

Měření povrchového napětí základních detergentních roztoků čajového saponinu

Prvně bylo změřeno povrchové napětí základních detergentních roztoků čajového saponinu, které neobsahovaly 5 nebo 10 gramů přidané čisticí látky jako zbylé 3 detergenty.

Tabulka 33: Naměřené povrchové napětí základních detergentních roztoků čajového saponinu

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [mN·m ⁻¹]	1. Odchylka [mN·m ⁻¹]	2. Povrchové napětí [mN·m ⁻¹]	2. Odchylka [mN·m ⁻¹]
0,01	56,3	±0,03	56,0	±0,04
0,1	38,5	±0,04	37,8	±0,01
1	35,0	±0,01	34,9	±0,01
100	34,7	±0,02	34,8	±0,02

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků čajového saponinu F

Bylo změřeno povrchové napětí detergenčních roztoků čajového saponinu, které obsahovaly 5 g Flavolu KDA.

Tabulka 34: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků F

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	1. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
0,01	49,2	$\pm 0,03$	49,1	$\pm 0,06$
0,1	33,0	$\pm 0,04$	33,1	$\pm 0,03$
1	31,6	$\pm 0,01$	31,5	$\pm 0,02$
100	33,1	$\pm 0,03$	32,9	$\pm 0,04$

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků čajového saponinu G

Bylo změřeno povrchové napětí detergenčních roztoků čajového saponinu, které obsahovaly 5 g Dehypoundu LLD 60.

Tabulka 35: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků G

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	1. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
0,01	46,9	$\pm 0,04$	47,3	$\pm 0,04$
0,1	27,9	$\pm 0,05$	28,1	$\pm 0,03$
1	27,1	$\pm 0,01$	27,2	$\pm 0,00$
100	29,2	$\pm 0,03$	29,2	$\pm 0,01$

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků čajového saponinu H

Bylo změřeno povrchové napětí detergenčních roztoků čajového saponinu, které obsahovaly 10 g Spolaponu AES 242.

Tabulka 36: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků H

Koncentrace [%]	1. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	1. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Povrchové napětí [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]	2. Odchylka [$\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$]
0,01	52,3	$\pm 0,03$	52,5	$\pm 0,05$
0,1	36,1	$\pm 0,06$	35,7	$\pm 0,08$
1	33,0	$\pm 0,02$	33,1	$\pm 0,02$
100	32,2	$\pm 0,03$	31,9	$\pm 0,04$

Porovnání výsledků povrchového napětí detergentů na mytí nádobí z čajového saponinu

Základní detergenční roztok a detergent H měly nejnižší povrchové napětí při koncentraci 100 %. Detergenty F a G měly nejnižší hodnotu povrchového napětí při koncentraci 1 %. Nejvyšší povrchové napětí měly všechny detergenční roztoky při koncentraci 0,01 %. Celkově nejnižší povrchové napětí bylo u detergentu G, který měl při koncentraci 1 % povrchové napětí $27,1 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$, což je dokonce nižší než u stejného detergentů s mýdlovými ořechy. Detergenty F a H snižovaly povrchové napětí velmi podobně. Nejhuře snižoval povrchové napětí základní detergenční roztok, s nejnižší hodnotou u 100% koncentrace $34,7 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Ve srovnání s detergenty z mýdlových ořechů, snižovaly povrchové napětí detergenty s čajovým saponinem podobně, případně o něco méně. Výjimkou byl detergent s Dehypooundem LLD 60, kde se povrchové napětí snížilo více při požití detergentu s čajovým saponinem.

8.10 Měření pěnivosti detergentů na mytí z čajového saponinu

Byla měřena pěnivost čtyř detergenčních roztoků na mytí nádobí z čajového saponinu o koncentracích 0,01; 0,1; 1 a 100 %.

Měření pěnivosti základních detergenčních roztoků čajového saponinu

Prvně byla změřena pěnivost základních detergenčních roztoků čajového saponinu, které neobsahovaly 5 nebo 10 gramů přidané povrchově aktivní látky jako zbylé 3 detergenty.

Tabulka 37: Měření pěnivosti u základních detergenčních roztoků čajového saponinu

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
0,1	6,3	6,1	6,0	6,0	6,0	5,9
1	10,0	10,0	9,1	8,6	8,2	8,0
100	6,1	6,0	5,9	5,9	5,1	4,7

Tvorba pěny byla u 1% detergenčního roztoku velmi dobrá. U zbylých koncentrací byla tvorba pěny průměrná a stabilita podprůměrná. Pěna byla hustá, ale obsahovala více větších vzduchových bublin.

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků čajového saponinu F

Byla změřena pěnivost detergenčních roztoků čajového saponinu, které obsahovaly 5 g Flavolu KDA.

Tabulka 38: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků F

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
0,1	7,1	7,0	6,6	6,6	6,6	6,4
1	6,4	6,4	6,2	6,2	6,0	5,9
100	6,1	6,0	5,9	5,9	5,9	5,9

U tohoto detergenčního roztoku byla tvorba pěny při koncentraci 0,1 % velmi dobrá ve srovnání s ostatními detergenty. U zbylých koncentrací byla tvorba pěny průměrná. Pěna byla podobná pěně základního detergenčního roztoku, pouze byla o něco hutnější.

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků čajového saponinu G

Byla změřena pěnivost detergenčních roztoků čajového saponinu, které obsahovaly 5 g Dehypoundu LLD 60.

Tabulka 39: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků G

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
0,1	4,5	4,5	4,0	3,6	3,5	3,2
1	10,1	10,1	9,9	9,8	9,8	9,8
100	6,6	6,5	6,2	6,2	6,2	6,0

Tvorba i stabilita pěny byly velmi dobré při koncentracích 1 % a 100 %. U zbylých dvou koncentrací byla tvorba pěny podprůměrná. Pěna vypadala kvalitně a hutně. Při větším objemu pěny objevovaly ve vrchní části bubliny se značným obsahem vzduchu.

Měření povrchového napětí detergenčních roztoků čajového saponinu H

Byla změřena pěnivost detergenčních roztoků čajového saponinu, které obsahovaly 10 g Spolaponu AES 242.

Tabulka 40: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků H

Koncentrace [%]	Čas [min]					
	0	1	5	10	15	30
	Výška pěny [cm]					
0,01	2,1	1,9	1,5	1,5	1,3	1,1
0,1	6,6	6,5	6,5	6,5	6,3	6,2
1	9,1	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
100	8,5	8,3	8,0	7,8	7,3	6,9

U tohoto detergentu byly při všech koncentracích velmi dobrá pěnivost i stabilita pěny. Především nadprůměrná byla tvorba pěny při koncentracích 0,01 % a 100 % oproti ostatním detergentům čajového saponinu. Pěna byla podobná pění u detergentu H, jen nebyla tak hustá a obsahovala více objemnějších vzduchových bublin.

Porovnání výsledků pěnivosti detergentů na mytí nádobí z čajového saponinu

Skoro všechny detergenční roztoky měly nejlepší pěnivost při koncentraci roztoku 1 % až na detergent F ten měl nejlepší pěnivost při koncentraci 0,1 %. Nejhorší pěnivost měly všechny detergenty při koncentraci 0,01 %. Nejvíce pěnily detergenční roztoky H. U základního detergenčního roztoku a detergentu H byla pěnivost větší než u detergenčních roztoků mýdlových ořechů se stejnou přidanou čisticí látkou. Naopak u detergentu G byla pěnivost menší než u detergenčních roztoků mýdlových ořechů a u detergentu F byla pěnivost větší při koncentracích 1 % a 100 % a menší při koncentracích 0,1 % a 0,01 %.

8.11 Měření mycí schopnosti detergentů na mytí z čajového saponinu

V této části byla zjišťována schopnost detergentů z čajového saponinu mýt nádobí.

Tabulka 41: Počet umytých talířů pomocí čajového saponinu

Směs	Číslo měření		
	1.	2.	3.
	Počet umytých talířů		
Základní	4	4	4
F	3	4	4
G	4	4	5
H	9	12	14

Porovnání výsledků mycí schopnosti detergentů z čajového saponinu

Základní detergentní roztok, detergent F a G myly nádobí velmi podobně. Ve všech případech byly umyty přibližně 4 talíře. Pěna vždy rychle spadla po umytí přibližně jednoho talíře a vznikalo méně větších kousků tuku, které se usazovaly na rukavicích. V případě roztoku H bylo umyto kolem dvanácti talířů. Ve vodě vznikalo více drobných kousků tuku, které se později usazovaly na talířích a znečišťovaly je. V případě základního detergentního roztoku a detergentu F bylo umyto o něco více talířů než u detergentů s mýdlovými ořechy se stejnou přidanou čisticí látkou. U detergentů G a H bylo naopak umyto o několik kusů talířů méně, ale rozdíly nebyly příliš velké.

8.12 Měření pěnivosti pomocí přístroje „Dynamic foam analyzer DFA 100“

Byly měřeny parametry pěnivosti u 0,01, 0,1 a 1% detergentních roztoků mýdlových ořechů a čajového saponinu. Pro měření byl použit čistý roztok, základní detergentní roztok, detergentní roztok s Flavolem KDA a detergentní roztok s Dehypoundem LLD 60.

Prvně byly měřeny detergentní roztoky mýdlových ořechů.

Tabulka 42: Hodnoty zjištěné z přístroje DFA pro detergentní roztoky mýdlové ořechy

Koncentrace [%]	$t_{\max}$ [s]	$V_{\text{foam max}}$ [ml]	$V_{\text{liquid foam max}}$ [ml]	V_{gas} [ml]
Čistý roztok mýdlové ořechy				
0,01	52,25	181,0	8,8	168,6
0,1	47,55	187,0	13,6	154,7
1	49,85	221,1	47,4	154,1
Základní roztok				
0,01	68,48	168,9	3,9	229,9
0,1	47,46	184,5	12,0	156,1
1	46,30	216,1	44,0	154,1
Roztok s Flavolem KDA				
0,01	81,96	181,6	4,8	271,5
0,1	48,08	184,1	10,2	155,3
1	47,56	210,9	37,4	155,2
Roztok s Dehypoundem LLD 60				
0,01	72,75	177,9	3,8	229,1
0,1	50,46	179,9	7,6	161,6
1	47,25	202,7	29,2	150,8

Poté byly měřeny detergenční roztoky čajového saponinu.

Tabulka 43: Hodnoty zjištěné z přístroje DFA pro detergenční roztoky čajového saponinu

Koncentrace [%]	$t_{\max}$ [s]	$V_{\text{foam max}}$ [ml]	$V_{\text{liquid foam max}}$ [ml]	V_{gas} [ml]
Samotný čajový saponin				
0,01	50,10	178,1	6,2	165,0
0,1	45,77	196,9	20,6	152,1
1	55,08	221,1	47,4	151,4
Základní detergenční roztok				
0,01	54,84	173,3	3,9	179,1
0,1	48,30	183,0	10,6	152,2
1	45,87	196,8	24,0	149,4
Detergent s Flavolem KDA				
0,01	62,86	143,6	4,5	263,3
0,1	49,20	184,5	11,4	160,3
1	48,77	196,6	23,8	157,1
Detergent s Dehypoundem LLD 60				
0,01	62,53	166,4	5,0	537,6
0,1	48,76	184,7	11,4	160,5
1	47,83	187,3	13,9	155,8

Porovnání výsledků obou přírodních látek z DFA 100

Měření pěnivosti detergenčních roztoků mýdlových ořechů a čajového saponinu pomocí přístroje DFA 100 potvrdilo závislost pěnivosti na koncentraci i složení roztoků. U obou přírodních látek byl se zvyšující se koncentrací zaznamenán nárůst objemu pěny i množství kapaliny v její struktuře. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo při 1% koncentraci, zatímco při 0,01% koncentraci byly všechny pěny velmi nestabilní a rychle se rozpadaly.

Objem pěny při nižších koncentracích byl u obou látek srovnatelný, avšak při 1% koncentraci vykazovaly mýdlové ořechy ve většině případů vyšší pěnivost. Mýdlové ořechy vytvářely hustší pěnu s větším obsahem kapaliny, což může svědčit o nižší stabilitě. Tento obsah kapaliny se u obou přírodních látek snižoval po přidání čisticích látek. Mýdlové ořechy také potřebovaly k napěnění více času, tento čas se snižoval se zvyšující se koncentrací roztoků. Stejně tak se zmenšoval objem plynu potřebný k napěnění.

Základní detergenční roztoky měly výsledky velmi podobné jako čisté roztoky, stejně jako varianty s přídavkem Flavolu KDA. V některých případech se však s přídavkem

Flavolu KDA zvýšil objem přiváděného plynu, což může naznačovat nižší stabilitu nebo rychlejší rozpad pěny. Výraznější rozdíly se objevily u detergenčních roztoků s přídavkem Dehypound LLD 60, zejména u čajového saponinu při 0,01% koncentraci. Zde byl zaznamenán extrémně vysoký objem přiváděného plynu, protože pěna se velmi rychle rozpadala.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byla příprava a hodnocení alternativních tekutých detergentů založených na přírodních surovinách, konkrétně na saponinu získaném z mýdlových ořechů a čajovém saponinu. Tyto látky vykazují povrchově aktivní vlastnosti a mají potenciál sloužit jako šetrnější náhrada syntetických tenzidů v prostředcích pro ruční mytí nádobí. Na základě provedených experimentů, které zahrnovaly měření pěnivosti, povrchového napětí a mycí schopnosti, bylo možné porovnat účinnost saponinů a připravených alternativních detergentů s komerčně dostupnými přípravky.

Nejnižší povrchové napětí roztoku mýdlových ořechů bylo změřeno u 5% roztoku, jeho hodnota činila $33,7 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ a u čajového saponinu při koncentraci 10 %, kde hodnota povrchového napětí byla $38,5 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Největší množství pěny při použití 25 ml roztoku měly oba saponiny u 1% roztoků. U roztoku mýdlových ořechů dosáhla pěna výšky 8 cm, zatímco u čajového saponinu to bylo 9 cm. Tyto odečtené hodnoty ovšem nedosahovaly výšky pěny detergentních roztoků.

Z detergentů připravených ze saponinů nejvíce snižovaly povrchové napětí detergentní roztoky s Dehypoundem LLD 60 o koncentraci 1 %. Roztok s mýdlovými ořechy snížil povrchové napětí na hodnotu $28,5 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ a roztok obsahující čajový saponin snížil hodnotu povrchového napětí na $27,1 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Tyto hodnoty byly nižší než hodnota povrchového napětí 1% roztoku FeelEco, která činila $30,8 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$. Podobné hodnoty byly také stanoveny pro 0,01% roztoky kokosového mýdla a Jaru. I v případě 0,01% roztoků těchto připravených detergentů nabývalo povrchové napětí nízkých hodnot mezi $27,1\text{--}29,9 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$.

Největší pěnivost u detergentů obsahující mýdlové ořechy měl 1% detergentní roztok s Abesonem NA 50, kde měla pěna až 13,8 cm, Toto množství pěny bylo vyšší než u kteréhokoli z komerčních přípravků. Mezi detergenty s čajovým saponinem vykazoval nejvyšší pěnivost 1% roztok obsahující Dehypound LLD 60, u nějž byla naměřena výška pěny 10,1 cm. Toto množství bylo větší než v případě všech roztoků prostředku FeelEco, ale menší než u kokosového mýdla a Jaru.

V případě mycího testu nejvíce talířů umyly detergenty s 10 g Spolaponu AES 242, což bylo 14 talířů. Pěna, která při mytí vznikala, byla kvalitní a vydržela přibližně při umytí prvních šesti talířů. Poté se však v roztoku začaly tvořit drobné částice tuku, které ulpívaly na rukavicích i talířích a znečišťovaly již omyté nádobí. Toto množství je značně nižší než u všech komerčních přípravků, kde se počet umytých talířů pohyboval mezi 22–31 talíři.

Avšak je to značně vyšší, než když se myly talíře samotnými mýdlovými ořechy, či čajovým saponinem. Důvodem nižší mycí schopnosti připravených detergenčních roztoků je nejen nižší podíl aktivních látek, protože komerční přípravky obsahují směs vysoce účinných syntetických tenzidů, často v koncentraci 10–15 % čistých mycích účinných látek, ale také absence dalších funkčních složek (např. enzymů, chelatačních činidel, stabilizátorů pěny), které v komerčních produktech výrazně zvyšují účinnost mycího procesu. Navíc přírodní saponiny mají obecně slabší odmašťovací schopnost a jejich účinek je silně závislý na podmínkách prostředí.

Měření pěnivosti detergenčních roztoků obsahujících mýdlové ořechy a čajový saponin, provedené pomocí přístroje DFA 100, prokázalo jasnou závislost pěnivosti na koncentraci i chemickém složení testovaných roztoků.

Z výsledků vyplývá, že přírodní saponiny vykazují určitou míru detergenční účinnosti a jejich vlastnosti mohou být srovnatelné se syntetickými detergenty, zejména při vyšších koncentracích. I přesto však jejich použití zatím vyžaduje optimalizaci formulace, a to především z hlediska pěnivosti, stability a účinnosti při nižších koncentracích. Do budoucna by bylo vhodné dále zkoumat jejich kombinace s jinými přírodními nebo šetrnými složkami, testovat jejich biologickou odbouratelnost a zaměřit se na jejich dlouhodobou stabilitu v produktu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LAI, Kuo-Yann, ed. *Liquid detergents*. 2. vyd. New York: CRC Press, 2006. ISBN 978-0-8247-5835-6 [cit. 2025-03-29]
- [2] CHIRASH, W. *Liquid light-duty detergents* [online]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 1981, roč. 58, č. 4, s. 362A–366A. ISSN 0003-021X. Dostupné z: [Liquid light-duty detergents | Journal of the American Oil Chemists' Society](#) [cit. 2025-03-29]
- [3] ŠMIDRKAL, Jan. *Tenzidy*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2020. ISBN 978-807-5920-560 [cit. 2025-04-07]
- [4] Flick, Ernest W. *Advanced cleaning product formulations: household, industrial, automotive*. Reprint edition. Westwood, New Jersey: Noyes Publications, 1989. ISBN 0-8155-1186-8.
- [5] Flick, Ernest W. *Advanced Cleaning Product Formulations*. Volume 3. Park Ridge, New Jersey: Noyes Publications, 1995. ISBN 0-8155-1382-8.
- [6] ZOLLER, Uri (ed.). *Handbook of Detergents, Part E*. [online]. CRC Press, 2008. ISBN 9781420018165. Dostupné z: [Handbook of Detergents, Part E | Applications | Uri Zoller | Taylor &](#) [cit. 2025-04-05]
- [7] RAI, Summi, ACHARYA-SIWAKOTI, Eliza, KAFLE, Ananda, DEVKOTA, Hari Prasad a BHATTARAI, Ajaya. *Plant-Derived Saponins: A Review of Their Surfactant Properties and Applications* [online]. *Preprint*, srpen 2021. Dostupné z: [\(PDF\) Plant-Derived Saponins: A Review of Their Surfactant Properties and Applications](#) [cit. 2025-03-08]
- [8] KREGIEL, Dorota et al. *Saponin-Based, Biological-Active Surfactants from Plants*. In: *Application and Characterization of Surfactants* [online]. *Application and Characterization of Surfactants*, 2017. ISBN 978-953-51-3325-4. Dostupné z: [\(PDF\) Saponin-Based, Biological-Active Surfactants from Plants](#) [cit. 2025-03-08]
- [9] KJELLIN, Mikael a JOHANSSON, Ingegärd. *Surfactants from Renewable Resources*. *Surfactants from Renewable Resources*. Chichester, U.K.: John Wiley, 2010, s. 239–248. ISBN 978-0-470-76041-3 [cit. 2025-03-08]
- [10] GÓRAL, Ilona a WOJCIECHOWSKI, Kamil. *Surface activity and foaming properties of saponin-rich plants extracts* [online]. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2020, roč. 279. ISSN 00018686. Dostupné z: [Surface activity and foaming properties of saponin-rich plants extracts - ScienceDirect](#) [cit. 2025-03-16]
- [11] GÜÇLÜ-ÜSTÜNDAĞ, Özlem a MAZZA, Giuseppe. *Saponins: Properties, Applications and Processing* [online]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2007, roč. 47, č. 3, s. 231-258. ISSN 1040-8398. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/6375032_Saponins_Properties_Applications_and_Processing [cit. 2025-03-16]

- [12] CHEOK, Choon Yoong, SALMAN, Hanaa Abdel Karim a SULAIMAN, Rabiha. *Extraction and quantification of saponins: A review* [online]. *Food Research International*, 2014, roč. 59, s. 16-40. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096399691400074X> [cit. 2025-03-16]
- [13] PANDE, Anjali Bhaurao, LAL, Poonam I., CHAUDHARY, Pankaj H. a RUIKAR, Dipti B.. *A comprehensive review on Sapindus trifoliatus Linn* [online]. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, duben 2023, roč. 10, č. 2, s. 29–36. ISSN 2348-1269. Dostupné z: [\(PDF\) A COMPREHENSIVE REVIEW ON SAPINDUS TRIFOLIATUS LINN](#) [cit. 2025-03-07]
- [14] WOJTOŃ, Patrycja, SZANIAWSKA, Magdalena, HOŁYSZ, Lucyna, MILLER, Reinhard a SZCZEŚ, Aleksandra. *Surface Activity of Natural Surfactants Extracted from Sapindus mukorossi and Sapindus trifoliatus Soapnuts* [online]. *Colloids and Interfaces*, 2021, roč. 5, č. 1. ISSN 2504-5377. Dostupné z: [Surface Activity of Natural Surfactants Extracted from Sapindus mukorossi and Sapindus trifoliatus Soapnuts](#) [cit. 2025-02-24]
- [15] GROVER, Rajesh K., ROY, Abhijeet D., ROY, Raja, JOSHI, S. K., SRIVASTAVA, Vandita et al. *Complete ¹H and ¹³C NMR assignments of six saponins from Sapindus trifoliatus* [online]. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 2005, roč. 43, č. 12, s. 1072-1076. ISSN 0749-1581. Dostupné z: [Complete 1H and 13C NMR assignments of six saponins from Sapindus trifoliatus - Grover - 2005 - Magnetic Resonance in Chemistry - Wiley Online Library](#) [cit. 2025-02-24]
- [16] BALAKRISHNAN, S., VARUGHESE, S. a DESHPANDE, A. P. *Micellar Characterisation of Saponin from Sapindus Mukorossi* [online]. *Tenside Surfactants Detergents*, 2006, roč. 43, č. 5, s. 262-268. ISSN 2195-8564. Dostupné z: [Micellar Characterisation of Saponin from Sapindus Mukorossi](#) [cit. 2025-03-07]
- [17] YANG, C.-H., HUANG, Y.-C., CHEN, Y.-F., CHANG, M.-H. *Foam properties, detergent abilities and long-term preservative efficacy of the saponins from Sapindus mukorossi* [online]. *Journal of Food and Drug Analysis*, 2010, roč. 18, č. 3. ISSN 2224-6614. Dostupné z: [Foam properties, detergent abilities and long-term preservative efficacy of the saponins from Sapindus mukorossi](#) [cit. 2025-03-07]
- [18] UPADHYAY, Aparna a SINGH, D.K. *Pharmacological effects of Sapindus mukorossi* [online]. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 2012, roč. 54, č. 5, s. 273-280. ISSN 0036-4665. Dostupné z: [SciELO Brazil - Pharmacological effects of Sapindus mukorossi Pharmacological effects of Sapindus mukorossi](#) [cit. 2025-03-09]
- [19] YU, Xiao-Lan a HE, Yong, *Tea saponins: effective natural surfactants beneficial for soil remediation, from preparation to application* [online]. *RSC Advances*, 2018, roč. 8, č. 43, s. 24312-24321. ISSN 2046-2069. Dostupné z: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2018/ra/c8ra02859a> [cit. 2025-03-17]
- [20] AHMED, Hadeil Omer Abdelgadir a WANG, Chengming. *Determination of Tea Saponin in Camellia Seed Oil with UV and HPLC Analysis* [online]. *World Journal of Engineering and Technology*, 2015, roč. 03, č. 04, s. 30-37. ISSN 2331-4222. Dostupné

z: (PDF) Determination of Tea Saponin in Camellia Seed Oil with UV and HPLC Analysis [cit. 2025-03-17]

[21] ZHANG, Xueli, LI, Changzhu, HU, Wei, ABDEL-SAMIE, Mohamed A., CUI, Haiying et al. *An overview of tea saponin as a surfactant in food applications* [online]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024, roč. 64, č. 33, s. 12922-12934. ISSN 1040-8398. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2023.2258392> [cit. 2025-03-17]

[22] DENG, Mao, CHEN, Huijuan, XIE, Long, LIU, Kai, ZHANG, Xumin et al. *Tea saponins as natural emulsifiers and cryoprotectants to prepare silymarin nanoemulsion* [online]. *LWT*, 2022, roč. 156. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821021952> [cit. 2025-03-19]

[23] KIM, Jong Deog, KHAN, Muhammad Imran, SHIN, Jin Hyuk, LEE, Moon Geon, SEO, Hyo Jin et al. *HPLC fractionation and pharmacological assessment of green tea seed saponins for antimicrobial, anti-angiogenic and hemolytic activities* [online]. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2015, roč. 20, č. 6, s. 1035-1043. ISSN 1226-8372. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12257-015-0538-6> [cit. 2025-03-20]

[24] ALFACHEM. *Jar Lemon na nádobí 900 ml* [online]. Dostupné z: <https://www.alfachem.cz/jar-lemon-na-nadobi-900-ml.html> [cit. 2025-03-21]

[25] DR. MAX. *Feel Eco na nádobí 1 l* [online]. Dostupné z: <https://www.drmax.cz/feel-eco-na-nadobi-1l> [cit. 2025-03-21]

[26] UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ. Fakulta technologická. *Tensiometer Krüss K20* [online]. Dostupné z: [Tensiometer Krüss K20 - Faculty of Technology](#) [cit. 2025-03-30]

[27] RHEOLOGY LAB. *Dynamic Foam Analysis* [online]. Dostupné z: [Dynamic Foam Analysis - Rheology Lab](#) [cit. 2025-03-30]

[28] UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ. Fakulta technologická. *Dynamic Foam Analyzer KRÜSS DFA100* [online]. Dostupné z: [Dynamic foam analyzer Krüss DFA100 - Faculty of Technology](#) [cit. 2025-03-30]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Triterpeoidní truktura (A) a steroidní struktura (B) [8]</i>	22
<i>Obrázek 2: Struktura spirostanolového (A) a furostanolového (B) saponinu [8]</i>	23
<i>Obrázek 3: Strom Sapindus trifoliatus. Dostupné z: Sapindus trifoliatus - Useful Tropical Plants [cit. 2025-04-01]</i>	27
<i>Obrázek 4: Mýdlové ořechy Sapindus trifoliatus a mukorossi [14]</i>	28
<i>Obrázek 5: Struktura saponinů získaných z oplodí rostliny Sapindus trifoliatus [15]</i>	29
<i>Obrázek 6: Čajový saponinový [cit. 2025-03-20]. Dostupné z: Čajový saponinový pesticid Výhody pro rostliny</i>	32
<i>Obrázek 7: Typická struktura čajového saponinu [20]</i>	33
<i>Obrázek 8: Tenziometr K20 (vlastní fotografie)</i>	40
<i>Obrázek 9: Přístroj Dynamic Foam Analyzer DFA 100 Krüss (vlastní fotografie)</i>	42
<i>Obrázek 10: Graf závislosti povrchového napětí na koncentraci mýdlových ořechů v roztoku</i>	45
<i>Obrázek 11: Graf závislosti povrchového napětí na koncentraci čajového saponinu v roztoku</i>	46

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Typické rámcové složení LDLD [1]</i>	14
<i>Tabulka 2: Detergent na ruční mytí nádobí – vysoká kvalita [4]</i>	17
<i>Tabulka 3: Detergent na ruční mytí nádobí – vysoká aktivita [4]</i>	17
<i>Tabulka 4: Tekutý prostředek na ruční mytí nádobí šetrný k pokožce [5]</i>	18
<i>Tabulka 5: Použité tenzidy</i>	38
<i>Tabulka 6: Složení mycích detergentů z mýdlových ořechů nebo čajového saponinu</i>	41
<i>Tabulka 7: Označení detergentů s mýdlovými ořechy</i>	41
<i>Tabulka 8: Označení detergentů s čajovým saponinem</i>	41
<i>Tabulka 9: Povrchové napětí roztoků komerčních přípravků</i>	43
<i>Tabulka 10: Povrchové napětí roztoků mýdlových ořechů</i>	44
<i>Tabulka 11: Povrchové napětí roztoků čajového saponinu</i>	46
<i>Tabulka 12: Měření pěnivosti u roztoků kokosového mýdla</i>	47
<i>Tabulka 13: Měření pěnivosti u roztoků Jaru</i>	48
<i>Tabulka 14: Měření pěnivosti u roztoků FeelEco</i>	48
<i>Tabulka 15: Měření pěnivosti u roztoků mýdlových ořechů</i>	49
<i>Tabulka 16: Měření pěnivosti u roztoků čajového saponinu</i>	49
<i>Tabulka 17: Počet umytých talířů pomocí komerčních přípravků a roztoků čistých látek</i> ..	50
<i>Tabulka 18: Naměřené povrchové napětí základních detergenčních roztoků mýdlových ořechů</i>	51
<i>Tabulka 19: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků A</i>	51
<i>Tabulka 20: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků B</i>	51
<i>Tabulka 21: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků C</i>	52
<i>Tabulka 22: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků D₅</i>	52
<i>Tabulka 23: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků D₁₀</i>	52
<i>Tabulka 24: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků E</i>	53
<i>Tabulka 25: Měření pěnivosti u základních detergenčních roztoků mýdlových ořechů</i>	54
<i>Tabulka 26: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků A</i>	54
<i>Tabulka 27: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků B</i>	55
<i>Tabulka 28: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků C</i>	55
<i>Tabulka 29: Měření pěnivosti u roztoků D₅</i>	56
<i>Tabulka 30: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků D₁₀</i>	56
<i>Tabulka 31: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků E</i>	57
<i>Tabulka 32: Počet umytých talířů pomocí mýdlových ořechů</i>	57

<i>Tabulka 33: Naměřené povrchové napětí základních detergenčních roztoků čajového saponinu.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabulka 34: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků F.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 35: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků G.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 36: Naměřené povrchové napětí detergenčních roztoků H.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 37: Měření pěnivosti u základních detergenčních roztoků čajového saponinu.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 38: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků F.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 39: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků G.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 40: Měření pěnivosti u detergenčních roztoků H.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka 41: Počet umytých talířů pomocí čajového saponinu.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka 42: Hodnoty zjištěné z přístroje DFA pro detergenční roztoky mýdlové ořechy....</i>	<i>63</i>
<i>Tabulka 43: Hodnoty zjištěné z přístroje DFA pro detergenční roztoky čajového saponinu.....</i>	<i>64</i>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LDLD	Tekuté detergenty pro lehké použití (z angličtiny light-duty liquid detergents)
CMC	Kritická micelární koncentrace
HIV	Virus lidské imunodeficiene (z angličtiny human immunodeficiency virus)
NFR	Nukleární magnetická rezonance
FT-IR	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
MALDI MS	Hmotnostní spektrometrie s laserovou desorpčí/ionizací za pomoci matrice
PTFE	Polytetrafluorethylen
DFA 100	Dynamický analyzátor pěny (z angličtiny dynamic foam analyzer)