

Využití aquafaby při výrobě mechanicky kypřeného pečiva

Bc. Černá Kateřina



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Kateřina Černá
Osobní číslo:	T23002
Studijní program:	N0721A210004 Technologie potravin
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Využití aquafaby při výrobě mechanicky kypřeného pečiva

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

Charakteristika mechanicky kypřeného pečiva.

Funkční vlastnosti vajec při výrobě mechanicky kypřeného pečiva.

Funkční vlastnosti aquafaby.

Příklady využití aquafaby při výrobě pečiva.

II. Praktická část

Charakteristika použitých surovin a materiálu.

Metodika práce, postup výroby mechanicky kypřeného pečiva a metody hodnocení jeho kvality.

Popis výsledků a jejich diskuse s literaturou.

Formulace závěrů plynoucích z práce.

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] He, Y., Meda, V., Reaney, M. J., & Mustafa, R. (2021). Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 27-42.
- [2] Mustafa, R., He, Y., Shim, Y. Y., & Reaney, M. J. (2018). Aquafaba, wastewater from chickpea canning, functions as an egg replacer in sponge cake. *International journal of food science & technology*, 53(10), 2247-2255.
- [3] Silva, P. G., Kalschne, D. L., Salvati, D., Bona, E., & Rodrigues, A. C. (2022). Aquafaba powder, lentil protein and citric acid as egg replacer in gluten-free cake: A model approach. *Applied Food Research*, 2(2), 100188.
- [4] Yazici, G. N., & Özer, M. S. (2021). A review of egg replacement in cake production: Effects on batter and cake properties. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 346-359.

Vedoucí diplomové práce: **prof. RNDr. Iva Burešová, Ph.D.**
Ústav technologie potravin

Datum zadání diplomové práce: **1. ledna 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 14. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně, dne

.....

podpis autora

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá využitím aquafaby jako alternativy vaječného bílku při výrobě mechanicky kypřeného pečiva konkrétně laskonek. V teoretické části je popsána charakteristika mechanicky kypřeného pečiva, funkčních vlastností vajec a jejich srovnání s cizrnovou aquafabou. Praktická část se zaměřuje na výrobu laskonek z různých typů aquafaby (sušená, z konzervované cizrny, vývar ze semen cizrny) a jejich porovnání s laskonkami připravenými z vaječných bílků. Byly analyzovány texturní, barevné a senzorické vlastnosti hotových výrobků. Součástí práce bylo také měření indexu šlehatelnosti a indexu stability pěny u vaječných bílků a jednotlivých typů aquafaby. Výsledky ukazují, že aquafaba má potenciál nahradit vaječný bílek v cukrářské výrobě, avšak její funkční vlastnosti se liší v závislosti na způsobu zpracování a typu použité suroviny.

Klíčová slova: cizrna, aquafaba, alternativa vajec, laskonky, mechanické kypření, texturní, senzorická analýza, index šlehatelnosti, index stability pěny

ABSTRACT

This thesis explores the use of aquafaba as an alternative to egg whites in the production of mechanically leavened pastries, specifically „laskonky“. The theoretical part describes the characteristics of mechanically leavened pastries, the functional properties of eggs, and their comparison with aquafaba. The practical part focuses on producing „laskonky“ using different types of chickpea aquafaba (dried, canned, freshly boiled) and comparing them with „laskonky“ made from egg whites. The textural, color and sensory properties of the final products were analyzed. The study also included measurements of the whipping index and foam stability index for both egg whites and various types of aquafaba. The results indicate that aquafaba has the potential to replace egg whites in confectionery production; however its functional properties vary depending on the processing method and the type of raw material used.

Keywords: chickpea, aquafaba, egg alternative, mechanical leavening, textural, sensory analysis, whipping index, foam stability index

Ráda bych poděkovala mamce, která po každé mé vykonané zkoušce šla a koupila sobě i své kolegyni laskonku. Děkuji mojí Aničce a Láďovi Černých, kteří měli celá ta léta se mnou trpělivost a cukrářství Kačenčiny dobroty za možnosti, které mi skýtá.

Zároveň chci poděkuji prof. RNDr. Ivě Burešové Ph.D. za prostor pro vypracování této práce. V neposlední řadě děkuji všem přednášejícím na Fakultě technologické za teoretickou přípravu, která mi mnohdy zjednodušila praktickou práci.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 CHARAKTERISTIKA MECHANICKY KYPŘENÉHO PEČIVA	13
1.1 MECHANICKY KYPŘENÉ PEČIVO	13
1.2 SUROVINY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ MECHANICKY KYPŘENÉHO PEČIVA	13
1.3 MECHANICKÉ KYPŘENÍ V CUKRÁŘSKÉ VÝROBĚ	13
1.3.1 Lehké šlehané hmoty	14
1.3.2 Těžké šlehané hmoty	14
1.3.3 Nahřívání šlehané hmoty	15
1.3.4 Speciální šlehané hmoty	16
2 VEJCE VE VÝROBĚ MECHANICKY KYPŘENÉHO PEČIVA	17
2.1 CHEMICKÉ SLOŽENÍ VAJEC	17
2.1.1 Bílek	17
2.1.2 Žloutek	17
2.1.3 Skořápka	18
2.2 VYBRANÉ FUNKČNÍ VLASTNOSTI VAJEC	18
2.2.1 Tvorba pěny z vaječných bílků a její stabilita	21
2.3 ALERGENY VE VEJCI	22
3 AQUAFABA VE VÝROBĚ MECHANICKY KYPŘENÉHO PEČIVA.....	23
3.1 PŮVOD AQUAFABY	23
3.2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ	24
3.2.1 Srovnání chemického složení aquafaby a vejce	26
3.3 FUNKČNÍ VLASTNOSTI AQUAFABY	27
3.3.1 Pěnotvorné vlastnosti	27
3.3.2 Emulgační vlastnosti	29
3.3.3 Gelující a zahušťující vlastnosti	29
3.4 VYUŽITÍ AQUAFABY V PEKAŘSKÉ A CUKRÁŘSKÉ VÝROBĚ	29
3.4.1 Další využití aquafaby v potravinářské výrobě	30
3.4.2 Formy aquafaby	31

II	PRAKTICKÁ ČÁST	32
4	CÍL PRÁCE	33
5	METODIKA PRÁCE	34
5.1	POUŽITÉ SUROVINY A VYBAVENÍ	34
5.1.1	Suroviny	34
5.1.2	Použité vybavení	34
5.2	VÝROBA VZORKŮ LASKONEK	35
5.2.1	Příprava aquafaby	35
5.2.2	Příprava laskonek	35
5.3	POUŽITÉ METODY STANOVENÍ	37
5.3.1	Stanovení texturních vlastností Warner-Bratzlerův test.....	37
5.3.2	Analýza barevných vlastností pomocí CIE L*a*b*	39
5.3.3	Senzorická analýza duo trio test	40
5.3.4	Index šlehatelnosti a index stability pěny.....	42
6	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT.....	44
7	VÝSLEDKY A DISKUZE	45
7.1	TEXTURNÍ ANALÝZA – WARNER BRATZLERŮV TEST	45
7.2	ANALÝZA BAREVNÝCH PARAMETRŮ POMOCÍ SYSTÉMU CIE LAB*	48
7.3	SENZORICKÉ HODNOCENÍ DUO – TRIO TEST	50
7.4	INDEX ŠLEHATELNOSTI A INDEX STABILITY PĚNY	52
	ZÁVĚR.....	56
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	66
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Současný trend v potravinářství klade důraz na udržitelnost, zdravější složení potravin a inovativní využití surovin, které by jinak zůstaly nevyužité. Spotřebitelé stále více požadují produkty bez živočišných složek, a to nejen z etických důvodů, životnímu stylu, ale i zdravotním omezením (například alergie na vejce). Tento tlak vede k hledání rostlinných alternativ, které by mohly nahradit tradiční suroviny bez negativního dopadu na sensorické a technologické vlastnosti hotových výrobků (Sebii et al., 2025).

Jedním z takových alternativních produktů je aquafaba – tekutina vznikající při vaření cizrny, která má díky svému složení schopnost vytvářet pěnu a stabilizovat strukturu těst. Pro tyto vlastnosti ji lze použít jako rostlinnou náhradu vaječného bílku. Jejím využitím mohou být otevřeny nové možnosti pro vývoj veganských a alergikům přístupných pekařských či cukrářských produktů (Mustafa et al., 2018).

Cílem této práce bylo porovnat funkční vlastnosti aquafaby a vaječných bílků, potažmo zhodnotit jejich vliv na fyzikální a sensorické vlastnosti výsledných mechanicky kypřených výrobků. Jako zástupci tohoto typu pečiva byly vybrány laskonky.

Korpusy laskonek jsou mechanicky kypřené cukrářské výrobky připravené z vaječných bílků, cukru a malého množství soli nebo kyselin přidanych jako stabilizátory pěny. Vyznačují se převládající (>80 %) vzduchovou fází. Patří do skupiny sněhového pečiva. Jejich textura je na povrchu křupavá a uvnitř jemně žvýkavá (Licciardello et al., 2012; Půlpánová, 2001).

Tento typ mechanicky kypřeného pečiva byl vybrán z hlediska možnosti zcela nahradit vaječnou složku aquafabou (sušenou, z konzervované cizrny, a čerstvého vývaru z cizrny).

Práce se zaměřila rovněž na hodnocení objemu a stability pěny vytvořené z aquafaby, které jsou při výrobě mechanicky kypřeného pečiva klíčové. Důraz byl kladen na texturní vlastnosti, zejména tvrdost. Tvrdost může být ukazatelem pro správné skladování laskonek nebo pro výběr vhodného krému k plnění a ovlivňuje celkovou sensorickou kvalitu výrobku. V závěru bylo posouzeno, zda je aquafaba plnohodnotnou alternativou vaječného bílku.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA MECHANICKY KYPŘENÉHO PEČIVA

Tato kapitola se bude zabývat charakteristikou mechanicky kypřeného pečiva, jeho dělením dle technologie výroby a stěžejních surovin. Dále zde budou uvedeny příklady využití mechanického kypření při výrobě cukrářských produktů a polotovarů pro jejich výrobu.

1.1 Mechanicky kypřené pečivo

Mechanicky kypřené pečivo je druh pečiva, jehož objemu, lehkosti a vláčnosti je dosaženo vnášením vzduchu do vaječné hmoty prostřednictvím šlehání nebo intenzivního míchání. Vaječnou hmotou se rozumí bílky či žloutky, které musí tvořit významnou část takto kypřených výrobků. Zejména vaječné bílky obsahují proteiny, které při šlehání vytvářejí pevnou pěnu schopnou udržet zachycený vzduch (Příhoda, 1991).

1.2 Suroviny používané při výrobě mechanicky kypřeného pečiva

Mechanické kypření umožňuje využití široké škály surovin bez rizika vzájemných reakcí, které mohou negativně ovlivnit vlastností finálního výrobku, jako je tomu při použití chemického kypřidla (Bláha et al., 2007).

Pro technologické vlastnosti patří mezi základní suroviny pro výrobu slepičí vejce a cukr krupice. Vejce je možné použít čerstvá, sušená, mražená nebo v podobě vaječné melanže. Některé receptury řadí k základním složkám i pšeničnou mouku. Pro své pěnotvorné schopnosti lze dnes mezi základní suroviny zařadit i aquafabu, které bude v této práci věnována samostatná kapitola (Nguyen et al., 2011).

Další suroviny, které se mnohdy při výrobě mechanicky kypřeného pečiva používají pro zlepšení organoleptických a nutričních vlastností konečného výrobku, jsou: rostlinné oleje, emulgované rostlinné tuky, živočišné tuky, voda, kakao, skořápkové plody, různé přírodní nebo chemická aromata, škrob či bezlepkové mouky. (Bláha et al., 2001).

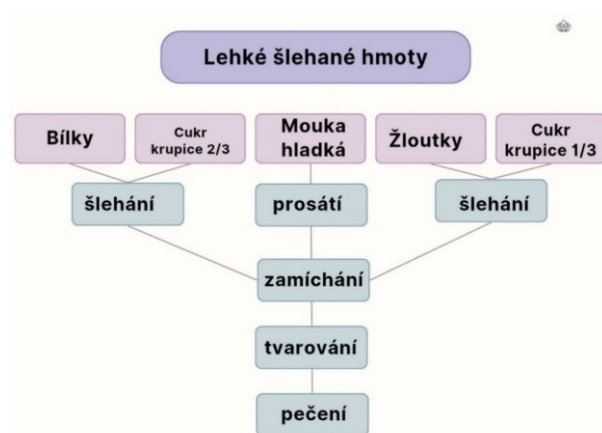
1.3 Mechanické kypření v cukrářské výrobě

Mechanické kypření je důležitým prvkem cukrářské výroby a umožňuje dosáhnout požadované textury a lehkosti výrobků bez nutnosti použití chemických kypřicích látek. Meziproduktem pro výrobu mechanicky kypřeného pečiva jsou šlehané hmoty. Základem pro jejich výrobu je vaječná pěna. Podle způsobu přípravy lze hmoty dělit na lehké, těžké, nahříváné a speciální. (Půlpánová, 2001).

Následující podkapitoly jsou věnovány základní charakteristice a grafickému znázornění technologie výroby jednotlivých hmot.

1.3.1 Lehké šlehané hmoty

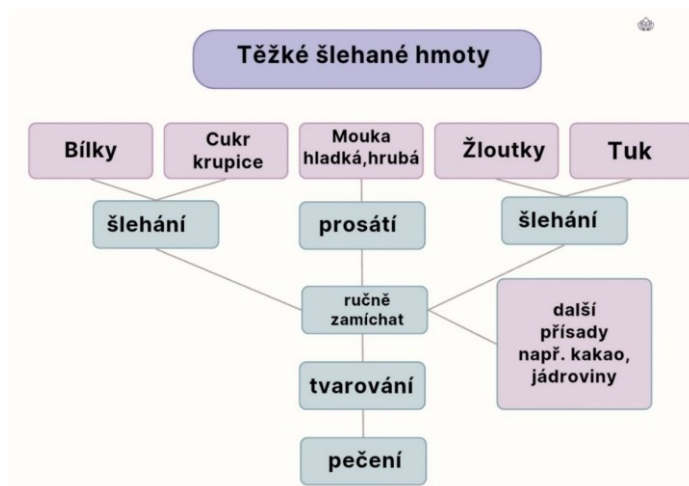
Lehké šlehané hmoty jsou po zhotovení objemnější než ostatní. Bílky a žloutky se za studena šlehají odděleně. Cukr se zašlehává do bílků i žloutků. V základní receptuře není obsažena tuková složka. Výrobky z lehkých šlehaných hmot se vyznačují větší pórovitostí, jsou kypré, avšak suché a křehké. Příprava je popsána na Obr.1 níže. Z lehkých šlehaných hmot jsou dnes vyráběny především dobře stravitelné buflery a piškoty (Půlpánová, 2001).



Obr. 1 - Diagram výroby lehké šlehané hmoty [zpracováno podle Půlpánová, 2001; vytvořeno v Canva.com]

1.3.2 Těžké šlehané hmoty

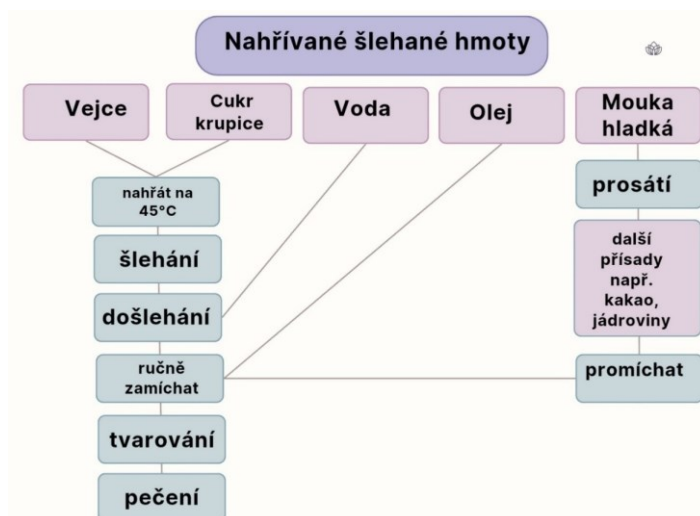
Těžké šlehané hmoty se vyznačují vyšším obsahem tuku a pevnější strukturou než lehké šlehané hmoty. Přípravují se také studenou cestou. Bílky se s přídavkem cukru šlehají odděleně od žloutků, do kterých je postupně zašleháván tuk. Výrobky z těžkých šlehaných hmot jsou hutnější, vláčnější, méně pórovité a mají delší trvanlivost. Díky možnému přídavku ochucujících složek jako jsou například ořechy, kakao nebo čokoláda je jejich chuť bohatší a intenzivnější, než je tomu u výrobků z lehkých šlehaných hmot. Podle toho, jaká ochucující složka byla při výrobě použita se dále dělí na Sachr hmoty (kakao, čokoláda) nebo Terstské hmoty (jádroviny). Technologie výroby obou hmot umožňuje použití různých sypkých či tekutých přísad a je znázorněna na následujícím Obr. 2. Z těžkých šlehaných hmot jsou vyráběny především dortové korpusy, u kterých je hlavním požadavkem pevnost a pružnost (Bláha, 2019).



Obr. 2 - Diagram výroby těžké šlehané hmoty [zpracováno podle Půlpánová, 2001; vytvořeno v Canva.com]

1.3.3 Nahříváné šlehané hmoty

Těmto hmotám se říká písčité. Připravují se společným šleháním bílků a žloutků. Díky obsahu lipidů ve žloutcích má tato směs vyšší povrchové napětí. Při zahřívání se však povrchové napětí snižuje, což umožňuje zvětšení objemu hmoty. Čím více je povrchové napětí sníženo, tím je vyšlehaná hmota objemnější. Zpravidla se přidává i rostlinný olej, strouhané jádroviny, káva, kakao a další přísady. Nevýhodou těchto hmot je, že jsou řídké, proto se nedají tvarovat stříkáním. Korpusy je tedy nutné péct ve formách a tvořítkách, nebo na pečicích papírech v nízkých vrstvách. Vyrobené pláty jsou proto vhodné pro výrobu rolád nebo je lze vrstvit při výrobě řezů (Půlpánová, 2001). Postup výroby nahříváných šlehaných hmot je znázorněn na Obr. 3.

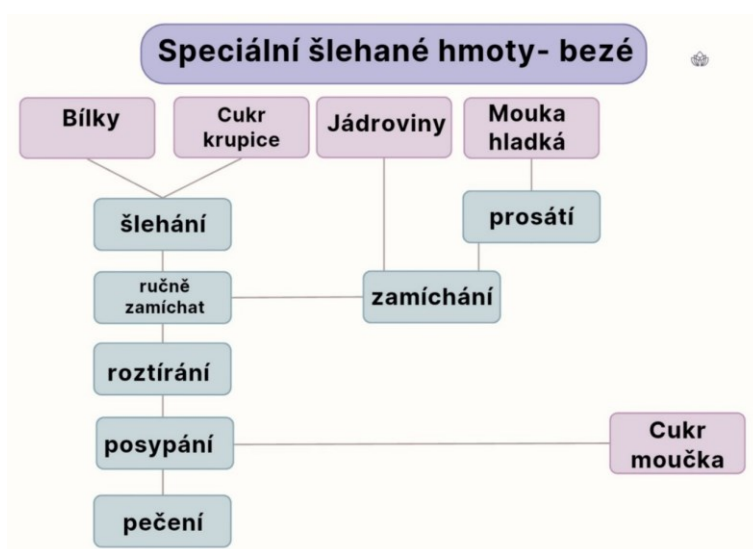


Obr. 3 - Diagram výroby nahříváné šlehané hmoty [zpracováno podle Půlpánová, 2001; vytvořeno v Canva.com]

1.3.4 Speciální šlehané hmoty

Speciální šlehané hmoty lze dělit na bílkové nebo žloutkové. Jsou to hmoty s vyšším obsahem cukru a minimálním nebo žádným obsahem mouky. Přípravují se ze šlehaných bílků, cukru, vody, případně jaderovin a různých příchutí nebo žloutků a cukru, jež se šlehají do zhoustnutí. Tvarují se stříkáním, roztíráním přes šablonu, litím do tvořitek a v případě bezé hmoty litím do nízké vrstvy na pečicí papír. Pečou se zprvu při teplotě 150 °C a dosouší při teplotách do 130 °C. Takto připravené výrobky jsou křehké, mají malou měrnou hmotnost a delší trvanlivost. Klasickým mechanicky kypřeným pečivem připravovaným z těchto hmot jsou sněhové pusinky, bezé rolády, štafetky, rakvičky a laskonky, kterým je věnována praktická část této práce (Bláha et al., 2019).

Pro bližší představu o uvedených výrobcích je na Obr. 4 schematicky zobrazen postup výroby bezé hmoty (Půlpánová, 2001; Bláha, 2019).



Obr. 4 - Diagram výroby speciální šlehané hmoty [zpracováno podle Půlpánová, 2001; vytvořeno v Canva.com]

2 VEJCE VE VÝROBĚ MECHANICKY KYPŘENÉHO PEČIVA

Tato kapitola je zaměřena na slepičí vejce, protože představují klíčovou surovinu při výrobě mechanicky kypřeného pečiva. Chemické složení a funkční vlastnosti vajec mají zásadní podíl na podobě finálního výrobku. Složení slepičího vejce zde uvádím nejen pro ucelený obraz o této surovině, ale také pro srovnání s chemickým složením aquafaby, kterému bude věnována v kapitola 3.

2.1 Chemické složení vajec

Vejce tvoří tři hlavní části: žloutek, bílek a skořápka. Jsou v poměru 60-63 % bílek, 28-29 % žloutek, 9-11 % skořápka. V sušině jsou obsaženy převážně proteiny, sacharidy, lipidy, minerální látky a v menší míře i vitamíny, enzymy, kyseliny a barviva. (viz Tab. 1) Chemické složení se může mírně lišit v závislosti na plemeni, věku nosnice, krmení, způsobu chovu, skladování, stáří a velikosti vejce (Simeonová, 1999).

Tab. 1 – Obecné složení slepičího vejce velikosti M [převzato: Saláková, 2014]

<i>Složky</i>	<i>Celá vejce</i>	<i>Skořápka</i>	<i>Bílek</i>	<i>Žloutek</i>
Hmotnost (g)	58,0	6,0	33,0	19,0
Voda (%)	65,6	1,6	87,9	48,7
Sušina (%)	34,4	98,4	12,1	51,3
Bílkoviny (%)	12,1	3,3	10,6	16,6
Tuk (%)	10,5	stopy	stopy	32,6
Sacharidy (%)	0,9	-	0,9	1,0
Minerální látky (%)	10,9	95,1	0,6	1,0

2.1.1 Bílek

Vaječný bílek obklopuje žloutek. Skládá se z 88 % vody a více než 10 % bílkovin. Mezi hlavní proteinové složky patří ovoalbumin (54 %), ovotransferin-conalbumin (13 %), ovomucoid (11 %), lysozym (305 %) a ovomucin (1,3- 3 %). Dále bílek obsahuje malé množství minerálních látek (sodík, draslík, vápník, hořčík), volné glukózy (0,4 %), glykoproteinů (0,5 %), které zahrnují manózu a galaktózu. Tuky jsou přítomny ve stopovém množství. Z vitamínů jsou zastoupeny hydrofilní s výjimkou vitamínu C (Caballero, 2003).

2.1.2 Žloutek

Vaječný žloutek tvoří přibližně 48,7 % vody, 16,6 % bílkovin a 32,6 % tuků, což jej, ve srovnání s bílkem, činí energeticky bohatší složkou vejce. Sacharidy jsou přítomny v množství přibližně 1,0 %, minerální látky tvoří 1,1 %. Žloutek dále obsahuje homolipidy

a heterolipidy v podobě fosfolipidů a lipoproteinů. Z bílkovin jsou to pak převážně vitelin a liventin v poměru 4:1. Z minerálních prvků jsou zastoupeny fosfor, železo, vápník a síra. K nutriční hodnotě vejce přispívá obsah lipofilních vitamínů A, D₃, E a K a přítomné karotenoidy ovlivňují barvu žloutku (Simeonová, 1999).

2.1.3 Skořápka

Chemické složení skořápky se výrazně liší od složení bílku i žloutku. Struktura sestává z komplexu především uhličitanu vápenatého, který tvoří přibližně 95 % jejího celkového složení a organických látek zejména proteinů ovokleidin, osteopontin a ovoalbumin. K dalším minerálním složkám patří fosfor, hořčík, sodík a draslík. Z technologického hlediska je skořápka při výrobě mechanicky kypřeného pečiva považována za odpad (Steinhauserová, 2003).

2.2 Vybrané funkční vlastnosti vajec

Díky svým rozmanitým vlastnostem jsou vejce nepostradatelnou a univerzální surovinou v potravinářské výrobě. Obsahují vysoký podíl kvalitních bílkovin, tuků, vitamínů a minerálů, což je činí nezastupitelnou složkou v mnoha typech potravinářských výrobků. Vedle nutričního přínosu mají vejce klíčovou roli i z technologického hlediska díky schopnosti ovlivnit strukturu, chuť, stabilitu a trvanlivost potravin. Jsou surovina, která může současně plnit několik technologických funkcí při výrobě jediné potraviny (Mine et. al., 2010). Výčet vybraných funkčních vlastností je v Tab. 2.

Tab. 2 – Přehled využití vajec při výrobě potravin [převzato: Yang et al.,2017]

<i>Funkce</i>	<i>Popis</i>	<i>Použití</i>
Kontrola krystalizace/ zmrazitelnost	Pomáhají regulovat krystalizaci ledu a cukru. Výrobky mají hladší a krémovitější strukturu.	cukrovinky, zmrzlina, čokoláda
Ochranná vrstva	Vytváří ochranný film, který minimalizuje absorpci vlhkosti a tuku.	předpečené těsto, smažené pokrmy
Nosič chuti	Vaječné žloutky obsahují tuky, které mohou nést a zesilovat chuť ostatních složek.	pečivo, krémy, polevy, omáčky, hotové pokrmy
Barva	Žádoucí hnědé zbarvení během pečení, žlutá barva díky xantofylu obsaženému ve žloutku.	chléb, dortové korpusy, odpalované pečivo, krémy, těstoviny
Čistící činidlo	Vaječné bílky zachytávají nečistoty v tekutině a pomáhají je odstranit. Po přefiltrování je tekutina čirá.	želé, víno, káva, vývary
Zahušťování/ koaguace	Obsažené bílkoviny mají schopnost srážet se při zahřátí. Vytvářejí hustou, ale hladkou síť.	koláče, polévky, omáčky, polevy, tvarohy, pudinky, quiche, hotové pokrmy
Zjemnění	Žloutky zkracují vlákna lepku v mouce, což činí pečivo jemnější a křehčí.	koláče, koblihy, sušenky
Vyváženost vlhkosti	Vaječné bílkoviny a tuky zadržují vlhkost, čímž prodlužují čerstvost pečiva a zabraňují vysychání.	bezlepkové pečivo, dortové korpusy, bábovky, bublaniny

<i>Funkce</i>	<i>Popis</i>	<i>Použití</i>
Glazování	Celé vejce, žloutek nebo bílek dodává pečeným výrobkům lesklý povrch.	chléb, koláče, sušenky, perník, další pečivo
pH stabilita	Regulace pH potravin během skladování, vyrovnání pH – optimální struktura a chuť	sušené vaječné bílky, pasterované žloutky, sladké pečivo
Přilnavost	Pojivo k připevňování polev, semínek, strouhanky, ořechů, máku a dalších k povrchu těst.	dekorativní zdobení, posypy na pečivo, koláče s dvojitou krustou, obalování masa a ryb
Aroma, chuť	Dodání žádoucích příchutí.	krémy, cukrovinky, cukrářské výrobky
Výživové vlastnosti	13 esenciálních vitamínů a minerálů, vysoce kvalitní bílkoviny, všech 9 esenciálních aminokyselin, nenasycené a polynenasycené mastné kyseliny.	hotové pokrmy, krémy, polévky, pečivo
Antimikrobní	Bílky obsahují proteiny, které inhibují růst bakterií.	krémy, studené dezerty
Kypření	Šleháním vaječných bílků je vytvářena pěna, která zajistí lehkou a nadýchanou strukturu.	pusinky, pěny, dortové korpusy, náplně
Tvorba gelu	Zachycení a imobilizace vody, tvorba trojrozměrných sítí, zadržování vody v potravinách.	pekařské výrobky, gely
Emulgační činidlo	Žloutky obsahují lecitin, který stabilizuje směsi neslučitelných kapalin jako je olej a voda.	pečivo, krémy, dresinky, omáčky, majonézy, výroba různých druhů těst

2.2.1 Tvorba pěny z vaječných bílků a její stabilita

Pro výrobu mechanicky kypřeného pečiva je klíčovou vlastností vajec tvorba pěny. Pěna přispívá k jeho nadýchané struktuře. Nejlepší schopnost tvořit pěnu mají bílky, které mohou svůj objem zvětšit až osminásobně. Žloutky a celá vejce tvoří pěnu také, avšak v menší míře než samotné bílky (Anton et al., 2009).

Vaječný bílek lze považovat za roztok účinných povrchově aktivních látek. Jeho proteiny jsou amfifilní a vykazují vysokou povrchovou hydrofobicitu, proto poměrně rychle difundují směrem k rozhraní voda – vzduch po mechanické denaturaci, kde se účinně adsorbují. Tímto mechanismem snižují povrchové napětí. Jejich schopnost vytvořit viskoelastický mezifázový film umožňuje tvorbu objemné a stabilní pěny (Kadlec, 2002; Bláha et. al., 2019; Halliday et. al., 2013).

Proteiny vaječného bílku mají odlišné vlastnosti, tudíž se na tvorbě pěny a její stability nepodílejí stejným způsobem (viz Tab. 3 níže). Nicméně izolované proteiny mají vždy menší schopnost pěnit než bílek jako celek, což potvrzuje existenci interakcí mezi jednotlivými proteiny (Anton et. al., 2009).

Tab. 3 – Mezifázové charakteristiky hlavních proteinů vaječného bílku

[převzato: Anton et al., 2009]

<i>Protein</i>	<i>Povrchové napětí γ [mN.m⁻¹]</i>	<i>Pěnivost [cm³.g⁻¹.min⁻¹]</i>
Globuliny	45,4	4,71
Ovoalbumin	51,8	0,59
Ovotransferin	42,4	0,34
Lysozym	42,0	0,12
Ovomucoid	39,0	0,00
Ovomucin	nezjištěno	0,00
Vaječný bílek	46,7	3,08

Stabilitu pěny lze podpořit přidáním kyseliny citronové, octa, citronové šťávy, teplé vody, vinného kamene nebo přidavkem cukru krupice během šlehání. Cukr je tak při výrobě mechanicky kypřeného pečiva nejen ochucující složkou, ale má i tuto důležitou funkční vlastnost. Naopak jakékoli stopy tuku, byť jen 0,1 % žloutku, oleje, másla nebo smetany brání správnému provzdušnění (Tiefenbacher, 2019)

Pěna se rychleji tvoří z čerstvých bílků oproti tomu ze starších je stabilnější. Optimální teplota bílků pro tvorbu pěny je 20-25 °C. Pro maximální vyšlehání pěny je vhodné používat

měděnou mísu a rychlost otáček metel šlehače v rozmezí 200-430 za minutu (Bovšková, Míková, 2011).

2.3 Alergeny ve vejci

Alergie na slepičí vejce je jednou z nejčastějších potravinových alergií a její výskyt roste. Postihuje přibližně 1,6 % až 10,1 % populace. U citlivých jedinců vyvolávají alergickou reakci již mikrogramová množství vajec. Hlavním zdrojem alergenních proteinů viz. Tab. 4 je vaječný bílek, ale problémový může být i žloutek (Šebková, Zíma, 2023).

Žloutek po tepelné úpravě ztrácí svoje alergizující vlastnosti, zatímco bílek obsahuje více než 20 tepelně stabilních bílkovinných alergenů. Nejvíce termostabilní jsou ovomucoid a ovalbumin. Právě tepelná odolnost alergenů je hlavní příčinou toho, že většina alergických osob reaguje na vejce syrová, ale i tepelně upravená. Pouze vzácně se vyskytují případy, kdy osoby reagují pouze na syrová vejce a jsou schopny tolerovat vejce tepelně zpracovaná (Caffarelli, 2022).

Tab. 4 – Přehled bílkovinných alergenů [převzato: Caffareli, 2022]

<i>Proteiny bílku</i>	<i>Proteiny žloutku</i>
ovomucoid	fosvitin
ovalbumin	livetin
ovotransferrin	apovitelin I
lysozym	apovitelin VI
ovomucin	

Mechanicky kypřené pečivo představuje pro alergiky na vejce značné riziko, protože stěžejní surovinou v receptuře jsou vaječné bílky. Z tohoto důvodu je nezbytné hledat vhodné alternativy, které nahradí vaječné složky. Jedním z takových řešení by mohla být aquafaba.

3 AQUAFABA VE VÝROBĚ MECHANICKY KYPŘENÉHO PEČIVA

Aquafaba je viskózní kapalina, vznikající jako vedlejší produkt při vaření luštěnin, zejména cizrny. Vyznačuje se jedinečnými funkčními vlastnostmi, které umožňují nahrazovat vejce v různých recepturách. Rostoucí zájem o aquafabu je dán nejen jejími technologickými vlastnostmi, ale i ekologickými a etickými aspekty. Stala se populární surovinou především mezi zastánci rostlinné stravy a alternativních surovin (He et al., 2021a).

Tato kapitola se zaměřuje na původ, složení, funkční vlastnosti aquafaby a její praktické využití v potravinářství. Zároveň se věnuje jejím limitům a výhodám ve srovnání s vejci.

3.1 Původ aquafaby

Již v minulosti hledali lidé způsoby, jak nahradit vejce v recepturách. Používali různé suroviny jako banány, jablečné pyré, lněná semínka nebo komerční škrobové směsi. Tyto alternativy však nedokázaly napodobit lehkost a stabilitu vyšlehaných vaječných bílků, což je klíčové pro výrobu mechanicky kypřeného pečiva (He et al., 2021b).

Aquafaba byla dlouhou dobu považována za odpadní produkt. Její unikátní schopnost napodobovat funkce vaječných bílků byla objevena teprve nedávno. Vedla k revoluci v rostlinném stravování, a tedy i ve veganském pečení a cukrářství. První zmínky se o pěně z luštěnin objevily v roce 2010. Tehdy na internetových fórech probíhala diskuze ohledně pěny vznikající při vaření cizrny, která by mohla mít zajímavé využití. V roce 2014 francouzský tenorista a experimentátor Joël Roessel provedl první zdokumentované pokusy se šleháním vývaru z luštěnin, obzvláště červených fazolí a palmových srdíček. Zjistil, že vývar lze napěnit, ale ve výsledku nebyla pěna stabilní bez přidání kukuřičného škrobu a guarové gumy (Stasiak et al., 2023).

Průlomovým pro používání aquafaby se stal rok 2015. V únoru tohoto roku zveřejnili dva francouzští kuchaři video, ve kterém ukázali, že lze vyšlehat nálev z cizrny do pěny podobné sněhu z vaječných bílků. Tento objev však stále nebyl rozšířen mezi veřejnost. O měsíc později, v březnu 2015, americký softwarový inženýr Goose Wohlt provedl klíčový experiment. Dokázal, že aquafabu lze použít jako přímou náhradu bílků bez potřeby dalších přísad. Sdílel svůj recept na veganské pusinky s názvem „What Fat Vegans Eat“ na sociálních sítích, což vyvolalo vlnu nadšení mezi vegany a kuchaři po celém světě.

Wohlt také přišel s názvem **aquafaba** (z latinských slov *aqua* – voda a *faba* – fazole), který se rychle ujal. Dnes je v kulinářském světě běžně užíván (He et al., 2021b).

S obrovským zájmem o tento objev byla vytvořena online skupina „**Vegan Meringue – Hits and Misses!**“. V této skupině lidé sdíleli své úspěchy i nezdary při pečení s aquafabou. Během několika měsíců se zde objevily další recepty například na makronky, marshmallow, majonézu nebo čokoládovou pěnu. Po roce 2016 začaly univerzity a výzkumné instituce studovat složení aquafaby a její funkční vlastnosti. Díky stále rostoucímu zájmu o veganské alternativy se aquafaba stává součástí komerčních výrobků, jako jsou rostlinné majonézy a dezerty ((Stasiak et al., 2023).

3.2 Chemické složení

Složení aquafaby závisí na třech hlavních faktorech:

1. **Podmínky extrakce** – namáčení semen před vařením, poměr semen k vodě, teplota, pH, doba a tlak během extrakce.
2. **Odrůda cizrny** – různé odrůdy mohou mít odlišné chemické složení (podmínky prostředí během růstu, klima, typ půdy, hnojení)
3. **Složení, struktura semen a buněčných stěn** – ovlivňuje, jaké složky se uvolní do vody během vaření (hmotnost semene, tloušťka obalu)

Během namáčení a vaření semen cizrny dochází k oslabení jejich obalů, což umožňuje přechod složek obsažených v dělohách do vody (0,6 % až 8,0 %). Proteiny jsou hydratovány a následně denaturovány. Sacharidy obsažené v buněčné stěně se mohou depolymerizovat nebo rozpustit a tím přecházet do vody. Dochází k bobtnání a rozpadu škrobových zrn, solubilizaci a ztrátě pektinových polysacharidů buněčných stěn. Největší podílem jsou ve vodě zastoupeny nerozpustné sacharidy, následované vodou rozpustnými sacharidy a bílkovinami viz souhrn v následující Tab. 5 (Chigwedere et al., 2018; Serventi et al., 2018).

Tab. 5 – Obsah sušiny z vody vařené cizrny [převzato: Helal, Nassef, 2021]

<i>Složka</i>	<i>Obsah</i>
nerozpustná vláknina	0,9 - 2,4g / 100g
rozpustné sacharidy	2,0 - 4,0 g / 100g
bílkoviny	0,7 - 1,5g / 100g
popel	0,4 - 0,8 g / 100g
saponiny	4,5 - 14,0 mg/ g
fenolické látky	0,3 - 0,7 mg / g
tokoferoly	0,1 µg / ml

Proteiny

Aquafaba obsahuje převážně nízkomolekulární proteiny (≤ 23 kDa), které jsou rozpustné ve vodě a tepelně stabilní. Mezi hlavní identifikované makromolekuly patří proteiny pozdní embryogeneze (LEA proteiny), které hrají roli v ochraně rostlin před stresem vyvolaným suchem, mrazem a vysokou salinitou. Dále jsou obsaženy dehydriny, jež jsou spojené s ochranou proti vysychání a teplotně stabilní proteiny, které pomáhají buňkám zvládat stresové podmínky (vysoké teploty během vaření). Kromě těchto proteinů obsahuje aquafaba menší množství dalších bílkovin, včetně albuminů a globulinů, které přispívají k jejím emulgačním a pěnivým vlastnostem (Intikhab, 2023).

Sacharidy

V aquafabě jsou obsaženy jak rozpustné, tak ve vodě nerozpustné sacharidy. Mezi rozpustné sacharidy patří monosacharidy jako je glukóza a disacharidy například sacharóza. Přítomné jsou i oligosacharidy, mezi které se řadí rafinóza, stachyóza a verbaskóza (mohou způsobovat nadýmání). Nerozpustné sacharidy jsou zastoupeny především vlákninou, kterou tvoří nestrávitelné polysacharidy – celulóza, hemicelulózy a pektiny. Přestože cizrna obsahuje vysoký podíl škrobu, v aquafabě se téměř nenachází. To je způsobeno tvorbou velkých nerozpustných granulí škrobu při vaření, jenž zůstávají v semenech (He et al., 2019).

Tuk

Cizrna má přirozeně nízký obsah lipidů, což se odráží i v aquafabě, kde je obsah tuku tak nízký, že jej nelze kvantifikovat. Studie, které byly provedeny obvykle uvádějí hodnotu $<0,1$ % (Intikhab, 2023).

Minerály

Byť při vaření dochází ke ztrátám minerálů z cizrny, obsahuje aquafaba významné množství minerálních látek, které do ní během vaření difundují. Jejich konečnou koncentraci v aquafabě ovlivňují především prvky obsažené ve slupce. Mezi hlavní patří sodík, mangan a molybden, přičemž obsah molybdenu může pokrýt až 90 % doporučené denní dávky. Dále je obsažena měď, draslík, železo, zinek a selen (Damian et al., 2018).

Další bioaktivní látky

Cizrna obsahuje široké spektrum rostlinných metabolitů a nenutričních bioaktivních látek, mezi které patří trísloviny, saponiny, fenolické sloučeniny, kyselina fytová a oligosacharidy. Některé z těchto sloučenin mohou mít negativní účinky na lidský organismus, protože působí jako antinutriční faktory ovlivňující stravitelnost, aktivitu trávicích enzymů a rovnováhu živin (Intikhab, 2023).

. K výraznému snížení koncentrace antinutričních látek v aquafabě a zmírnění jejich negativních účinků pomáhá namáčení cizrny. Během tohoto procesu dochází k částečnému rozpuštění například oligosacharidu rafinózy, která je zodpovědná za nežádoucí gastrointestinální potíže, a pokud následuje tepelné ošetření, jsou zase inaktivovány teplotně citlivé bioaktivní složky, jako jsou saponiny, fenolické sloučeniny a kyselina fytová (Stasiak et al., 2023; Intikhab, 2023).

3.2.1 Srovnání chemického složení aquafaby a vejce

Ačkoli se aquafaba a vejce svým chemickým složením liší, vykazují podobné technologické vlastnosti. Vejce je bohaté na živočišné bílkoviny, tuky a vitamíny. Aquafaba obsahuje výrazně méně bílkovin, avšak více polysacharidů a saponiny, které funkční vlastnosti vajec napodobují (Helal, Nassef 2021; Simeonová, 2013). Chemické složení je pro porovnání shrnuto v Tab 6.

Tab. 6 – Srovnání chemického složení aquafaby a vejce [převzato: Helal, Nassef, 2021]

<i>Složka</i>	<i>Aquafaba</i>	<i>Bílek</i>	<i>Celé vejce</i>
Voda	90,0 – 95,0 %	88,0 – 90,0 %	75 – 80 %
Bílkoviny	1,0 – 2,0 %	10,0 – 11,0 %	12 – 13 %
Sacharidy	2,0 – 5,0 %	0,7 %	<1 %
Tuky	<0,1 %	<0,5 %	10 – 11 %

3.3 Funkční vlastnosti aquafaby

Aquafaba je multifunkční ingredience s pěnivými, emulgačními, gelujícími a zahušťujícími vlastnostmi. Má schopnost vázat vodu a olej v širokém rozmezí pH a teplot. V poslední době se zároveň diskutují její mikrobiologické vlastnosti, především prebiotická aktivita a schopnost inhibovat patogeny (He et al., 2019).

Funkčnost aquafaby ovlivňuje její složení. Mezi klíčové vlastnosti patří obsah bílkovin, ve vodě rozpustných i nerozpustných sacharidů, fenolických sloučenin, saponinů a koacervátů. Důležitou roli hraje předúprava zrn například namáčení, vaření nebo použití vysokého tlaku (Buhl et al., 2019).

3.3.1 Pěnotvorné vlastnosti

Pěnotvorné vlastnosti aquafaby (AQF) byly objeveny jako první. Ukázalo se, že AQF má schopnost tvořit pěnu, která je podobná pění vytvořené z vaječného bílku. Avšak liší se od sebe strukturou, typem pěnotvorných látek a mechanismem jejich působení. U vaječných bílků jsou hlavními pěnotvornými látkami proteiny, především nízkomolekulární albuminy, které při šlehání tvoří síť kolem vzduchových bublin a stabilizují je. Tento proces je založen na konformaci a denaturaci proteinů. Na druhé straně, u aquafaby kromě proteinů hrají důležitou roli také polysacharidy a saponiny, které zlepšují její pěnotvorné vlastnosti. Polysacharidy zvyšují viskozitu kapaliny a tím zlepšují stabilitu pěny, zatím co saponiny přispívají k její lepší tvorbě, protože snižují povrchové napětí. Tato kombinace povrchově aktivních látek, umožňuje tvorbu jemné a stabilní pěny (Intikhab, 2023; Mustafa et al., 2018).

Existuje několik způsobů, jak pěnivé vlastnosti AQF zlepšit. Zahrnují jak úpravy jejího složení, tak technologické postupy.

- **Zvýšení obsahu bílkovin:** Významným faktorem pro pěnivost je koncentrace bílkovin, přičemž čím více bílkovin aquafaba obsahuje, tím lepší je její schopnost tvořit pěnu. Před použitím aquafaby je možné ji zakoncentrovat například filtrací nebo odpařením vody (He et al., 2021a).
- **Optimalizace poměru sacharidů a bílkovin:** Vzhledem k tomu, že polysacharidy (zejména celulóza a pektin) stabilizují pěnu je tento poměr důležitý. Příliš vysoký obsah polysacharidů může tvorbu pěny zpomalit (Koryama et al., 2025).

- **Přidání stabilizátorů a emulgátorů:** Tyto složky zpomalují kolaps pěny. Mohou to být guarová guma, xanthanová guma, karagenan, agar, pektin, lecitin (Crafword at al., 2023).
- **Ultrazvuková úprava:** Ultrazvukové ošetření způsobuje změny v hydrodynamických vlastnostech a struktuře proteinů. Ty částečně denaturují díky čemuž je podpořena pěnivost, jelikož proteiny mají vyšší schopnost adsorbovat vzduch. Kromě toho ovlivňuje i barvu, texturu pěny a zvyšuje emulgační kapacitu aquafaby. Dále bylo zjištěno, že ultrazvukové vlny zlepšují homogenitu aquafaby, což znamená, že bílkoviny a sacharidy jsou rovnoměrněji rozptýleny v tekutině a pěna je stabilnější (He et al., 2021b; Meuer et al., 2020).
- **Úprava pH:** Na rozdíl od vaječných bílků, které při šlehání mohou těžit z mírně zásaditějšího prostředí, aquafaba vykazuje lepší pěnotvorné vlastnosti při mírně kyselém pH (4-6). To je způsobeno interakcemi mezi proteiny a polysacharidy, které se lépe strukturalizují v kyselém prostředí. Často jsou proto do aquafaby při šlehání přidávány například citronová šťáva, ocet, vinan draselný, kyselina askorbová nebo mléčná (Lafarga, et al., 2019).
- **Teplota aquafaby při šlehání:** Aquafaba se vyznačuje vyšší stabilitou při šlehání v širším rozsahu teplot než vaječné bílky. Vaječné bílky se nejlépe šlehají při teplotě 20–25 °C. Při této teplotě dochází ke snížení viskozity, což usnadňuje zapracování vzduchu a tvorbu pěny. Při vyšších teplotách (nad 30 °C) sice dochází k rychlejšímu napěnění, ale stabilita pěny se snižuje kvůli oslabení proteinových struktur, které ji udržují. Aquafaba dosahuje optimálních pěnivých vlastností při teplotách kolem 40 °C. Na rozdíl od vaječných bílků její stabilitu nezajišťují primárně proteiny, ale polysacharidy, pektiny a saponiny. Zvyšují viskozitu a elasticitu pěny, čímž brání jejímu kolapsu i při vyšších teplotách (Koriyama et al., 2025; Dickinson, 2003).
- **Prodloužená doba šlehání:** Na rozdíl od vaječných bílků, nemá prodloužení doby šlehání negativní vliv na pěnivost, naopak je tím podpořena stabilita pěny (Stasiak et al., 2023).
- **Předzpracování luštěnin:** Namáčení a vaření cizrny je klíčové pro dosažení optimálního složení aquafaby. Dlouhé vaření může snížit obsah bílkovin a polysacharidů, což vede ke snížení pěnivosti. Do vývaru mohou při dlouhém vaření přejít tuky obsažené v cizrně, a to je při tvorbě pěny nežádoucí. Optimální teplota ohřevu je 80 °C, doba ohřevu 165 minut a poměr cizrna: voda 1: 1,6 (Stasiak et al., 2023; Choden et al., 2023).

3.3.2 Emulgační vlastnosti

Aquafaba (AQF) obsahuje směs proteinů, saponinů a polysacharidů, které společně přispívají k jejím emulgačním vlastnostem. Proteiny v AQF se adsorbují na rozhraní olej-voda a snižují povrchové napětí, čímž stabilizují emulzi. Saponiny fungují jako přírodní surfaktanty, které napomáhají disperzi olejových kapek ve vodné fázi, a polysacharidy zvyšují viskozitu, což zpomaluje koalescenci kapek oleje a zlepšuje celkovou stabilitu emulze (He et al., 2021b; Alsalman et al., 2020).

Tato vlastnost AQF činí zajímavou pro použití v potravinářství (například v rostlinných majonézách nebo dresincích), ale také v kosmetice, kde může sloužit jako přírodní alternativní emulgátor. (Alsalman et al., 2020).

3.3.3 Gelující a zahušťující vlastnosti

Gelující a zahušťující vlastnosti aquafaby jsou výsledkem částečné či úplné denaturace proteinů, ke které dochází při jejím tepelném zpracování. Při vaření semen denaturované proteiny interagují s ve vodě rozpustnými sacharidy a vážou molekuly vody. Tento proces vede ke tvorbě gelu, koagulátu nebo sedimentu (Mustafa et al., 2020; Echeverria et al., 2021).

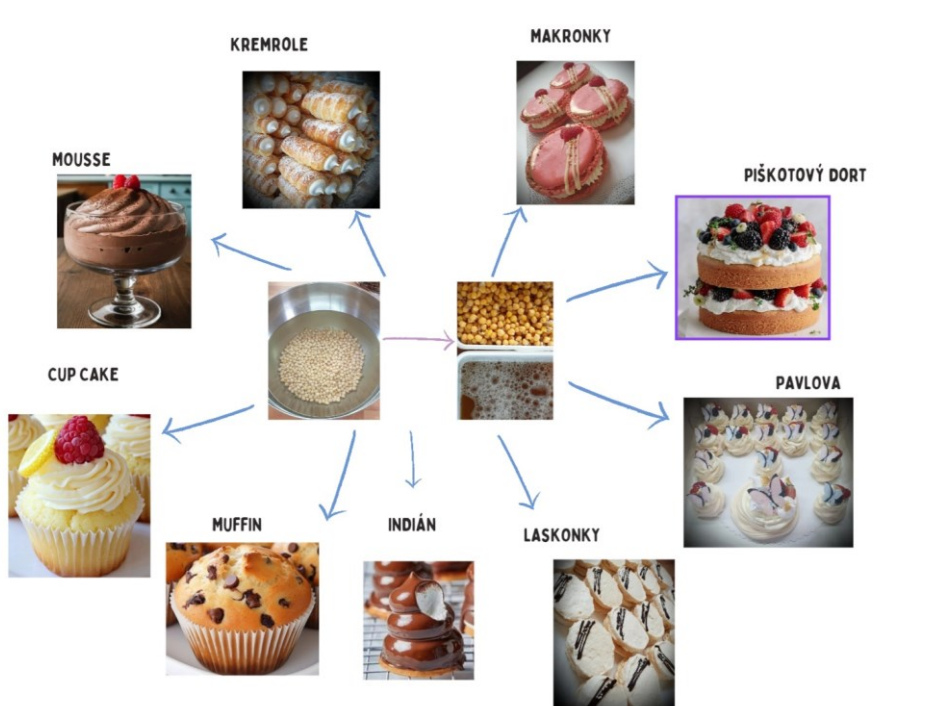
Gelujících a zahušťovacích vlastností aquafaby je využíváno zejména při výrobě produktů s vyšším obsahem vody například pěn. Naopak u produktů s vysokým obsahem sušiny jako jsou pusinky se těchto vlastností využívá jen v omezené míře. Dle Alsalmana se ukázalo, že vystavení AQF vysokému tlaku zlepšuje její strukturu a želírovací schopnost (Alsalman et al., 2020; Tsykhanovska et al., 2021).

3.4 Využití aquafaby v pekařské a cukrářské výrobě

Díky svým funkčním vlastnostem a rostoucí popularitě se AQF stává častěji využívanou surovinou nejen v domácím, ale i průmyslovém pekařství a cukrářství (Mustafa et al., 2018).

Pro své emulgační a pěnotvorné vlastnosti je využívána při výrobě dortových korpusů, bábovek, sušenek, muffinů nebo piškotových těst. Ve výrobě pečiva, se také používá jako hydrokoloidní přísada zlepšující stabilitu těsta a strukturu střídky (bezlepkový chleb, housky, koláče). Navíc přispívá k vláčnosti a delší trvanlivosti pečiva tím, že váže vlhkost (Bird et al., 2017).

V cukrářské výrobě je AQF klíčovou surovinou při přípravě makronek, pusinek, sněhových krémů, pěn a náplní, například do kremrolí nebo indiánů. Díky jejím unikátním vlastnostem je ideální surovinou pro výrobu veganských dezertů, jako jsou mousse nebo náhražky šlehačky. Ukázka výrobků z aquafaby je na Obr. 5. Kromě toho lze AQF využít při výrobě polev a glazur, kde pomáhá vytvářet hladkou konzistenci a lesk (Stasiak et al., 2023; Damian et al., 2018; Lafarga et al., 2019).



Obr. 5 – Výrobky z aquafaby [zdroj vlastní; vytvořeno v Canva.com]

3.4.1 Další využití aquafaby v potravinářské výrobě

Kromě již zmíněných aplikací nachází AQF uplatnění i v dalších oblastech potravinářství. Jedním z nejčastějších využití je výroba veganské majonézy, kde díky svým emulgačním vlastnostem slouží jako alternativa vaječných žloutků. Podobně se využívá při výrobě rostlinných dresingů a omáček, kde napomáhá k dosažení krémové konzistence (He et al., 2021a).

Dalším významnou aplikací aquafaby je produkce rostlinných alternativ k mléčným výrobkům jako je máslo, sýry nebo jogurty. AQF může zlepšovat strukturu těchto produktů a působit jako stabilizační složka. V oblasti výroby zmrzliny a šlehaček lze aquafabu použít jako pěnотvorné činidlo, které zajišťuje lehkost a nadýchanost finálního produktu. V případě Non – dairy ice cream (nemléčná zmrzlina) je používána jako náhrada mléka či smetany (Raikos et al., 2020).

Aquafaba je uplatnitelná také v nápojovém průmyslu. Zejména při přípravě koktejlů jako náhrada vaječných bílků (např. whisky sour). Pro své složení je využívána při výrobě rostlinných proteinových nápojů nebo jako stabilizátor v hotových smoothie. V neposlední řadě se AQF používá jako želírovací prostředek pro dosažení požadované konzistence při výrobě džemů a želé (Yazici et al., 2022).

3.4.2 Formy aquafaby

Při výrobě potravin lze využít různé formy aquafaby v závislosti na zamýšleném použití a požadovaných vlastnostech finálního produktu. V době vypracování této práce byla v České republice kromě tekuté aquafaby (získané vařením semen cizrny nebo formou nálevu z konzervované cizrny) dostupná ještě sušená varianta od polského výrobce Vitko na Obr. 6 nebo od prodejce Petra Stahlová. Od zahraničních prodejců je možné dále koupit aquafabu pasterizovanou, mraženou nebo jako koncentrát (Choden et al., 2023).



Obr. 6 – Sušená aquafaba od prodejce výrobce Vitko

II PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL PRÁCE

Cílem praktické části této práce bylo vyrobit laskonky z různých typů cizrnové aquafaby (sušená, konzervovaná, z vývaru semen) a studovat vliv jednotlivých typů na následující parametry: texturní vlastnosti se zaměřením na tvrdost čerstvých laskonek potažmo skladovaných po určitý čas, jejich barvu a senzorické vlastnosti s důrazem na chuť.

Dílčí cíle práce:

- vyrobit tradiční laskonky z vaječných bílků a porovnat jejich vlastnosti s laskonkami vyrobenými z aquafaby
- analyzovat pěnu vytvořenou z vaječných bílků a pěnu ze všech typů aquafaby z hlediska objemu, pevnosti a doby, po kterou pěna udržela svou strukturu
- vyhodnotit data
- zhodnotit výsledky a provést diskuzi k získaným poznatkům
- na základě získaných poznatků posoudit, do jaké míry může aquafaba nahradit vaječné bílky v cukrářské výrobě a formulovat závěr

5 METODIKA PRÁCE

5.1 Použité suroviny a vybavení

Pro experimentální část práce byly použity následující suroviny a materiály:

5.1.1 Suroviny

Hlavní složky:

- **Aquafaba** použité byly tři různé varianty:
 - **Sušená aquafa**-rehydratovaná dle doporučení výrobce
(Petra Stahlová, Třebichovice 168, 27306 ČR)
 - **Aquafaba z konzervované cizrny**-slitá a přefiltrovaná
Složení: cizrna, pitná voda, jedlá sůl, antioxidant: kyselina askorbová
(Gaston s.r.o., Kvítková 4703, 76001 Zlín)
 - **Čerstvě svařená aquafaba**-připravená vařením sušené cizrny ve vodě
(Fine live, La food s.r.o., Kvítkovická 1533, 76361 Napajedla)
- **Vaječné bílky**-jako referenční surovina pro srovnání

Další složky:

Cukr krupice (Cukrovar Vrbátky a.s., Vrbátky)

Mletý kokos (Allnature s.r.o., Březhradská 148/3, 50332 Hradec Králové)

Kukuřičný škrob (Dr. Oetker, Ladova 14, 81105 Bratislava, Slovensko)

5.1.2 Použité vybavení

Ruční šlehač pro přípravu pěny (ETA a.s., Česká republika)

Pečicí trouba s nastavitelnou teplotou (ALBA TPE 20 ARS, ALBA s.r.o., Hořovice)

Digitální váha pro přesné odměření surovin (CAS SW – 1 S, PM – Váhy, Praha 9)

Texturometr pro měření tvrdosti laskonek (TA. XT. Plus, Stable Micro Systems, UK)

Kolorimetr pro objektivní hodnocení barvy (Ultra Scan PRO, Reston, VA, USA)

Odměrný válec 500ml

Silikonová šablona pro tvarování laskonek

Síto, mísy, stěrky, podložky na pečení a běžné kuchyňské náčiní potřebné pro výrobu

5.2 Výroba vzorků laskonek

V experimentální části bylo připraveno několik variant laskonek, které se lišily použitým typem pěnотvorného činidla (aquafaba; vaječné bílky). Celkově byly připraveny čtyři série:

1. **Série A** – laskonky z vaječných bílků (standartní receptura)
2. **Série B** – laskonky se sušenou aquafabou
3. **Série C** – laskonky s aquafabou z konzervované cizrny
4. **Série D** – laskonky s čerstvě svařenou cizrnou

5.2.1 Příprava aquafaby

Nejprve musely být připraveny různé typy aquafaby, ze které byly série laskonek vyráběny.

- **Sušená aquafaba** byla rehydratována dle pokynů výrobce v poměru prášek:voda, 1:15
- **Aquafaba** z konzervované cizrny byla přefiltrována přes síto.
- **Čerstvě svařená cizrna** byla připravena podle Chodena et. al., 2023. Prvním krokem bylo odstranění nečistot a omytí semen. Očištěná cizrna byla namočena do vody v poměru cizrna k vodě 1:1,6 po dobu 8 hodin při teplotě 20 °C a poté zahřáta na optimální teplotu 80 °C po dobu ohřevu 165 minut. Po celou dobu zahřívání byl udržován poměr cizrny k vodě doléváním pitné vody vytemperované na 80 °C. Připravený vývar byl scezen, přefiltrován a schlazen na teplotu 25 °C.

5.2.2 Příprava laskonek

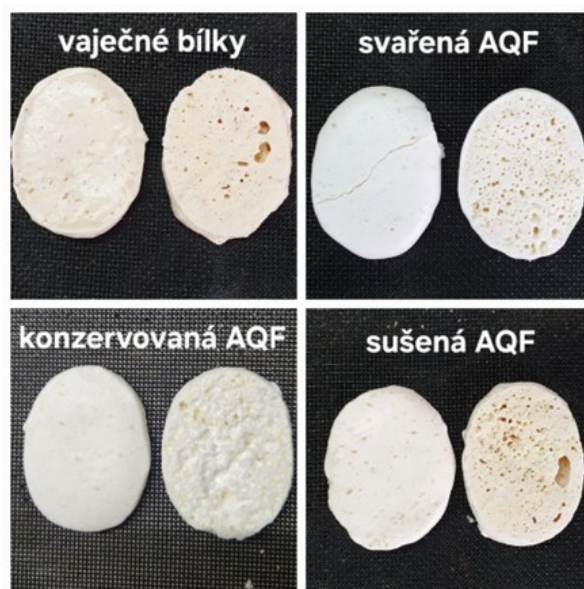
Každá série byla připravena stejným postupem, pouze se změnou pěnотvorné složky:

1. Odvážení surovin podle receptury (60 g pěnотvorná složka, 100 g cukr krupice, 30 g kokos mletý, 5 g kukuřičný škrob)
2. Šlehání pěnотvorné složky při otáčkách 430 ot/min
3. Postupné přidávání cukru krupice a šlehání, dokud nevznikne pevná a lesklá pěna.
4. Doba šlehání se liší v závislosti na použité pěnотvorné složce. Vaječný bílek 3 minuty, aquafaba 5 minut.

5. Opatrné vmíchání strouhaného kokosu a kukuřičného škrobu
6. Tvarování laskonek pomocí silikonové šablony
7. Pečení v předehřáté troubě při 120 °C po dobu 60 minut s následným dosušením při 90 °C po dobu 60 minut.
8. Chladnutí vzorků na mřížce

Vyrobené vzorky jsou na Obr. 7.

Po upečení byly všechny série laskonek uchovány při pokojové teplotě (20 °C) ve vzduchotěsné nádobě po dobu 24 hodin před samotnou analýzou kvůli stabilizaci jejich vlastností.



Obr. 7 – Vyrobené vzorky

Při přípravě vzorků z vaječné pěny, AQF sušené a získané z konzervované cizrny nebyly zaznamenány žádné výrazné problémy – všechny tři varianty byly vyšlehány do husté a stabilní pěny. Po sejmutí tvarovací formy držely laskonky připravené k pečení (sušení) tvar. Problematická byla pěna z aquafaby získaná vařením cizrny, která po přidání cukru řídla. Laskonky z této pěny musely být pečeny (sušeny) v silikonové formě.

Příčinou mohla být nižší koncentrace bílkovin a polysacharidů v použité cizrně, dlouhé vaření, které mohlo způsobit denaturaci proteinů nebo rozklad dalších pěnotvorných složek. Možností je i osmotický tlak přidaného cukru. Cukr váže vodu a může způsobit kolaps pěny, pokud není v pěně dostatečně silná síť proteinových vazeb k jejímu udržení (Bláha et al., 2019; Choden et al., 2023).

5.3 Použité metody stanovení

V této kapitole jsou představeny vybrané testy, jejich principy a postupy měření. V rámci testování byla provedena texturní analýza, hodnocení barvy dle CIE, senzorická analýza a výpočet indexu objemu a indexu stability pěny.

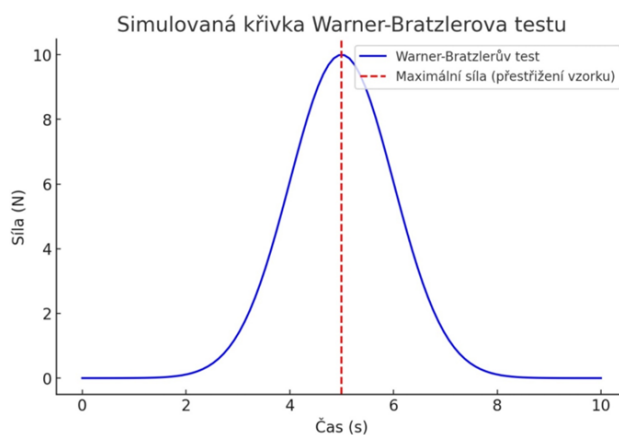
5.3.1 Stanovení texturních vlastností Warner-Bratzlerův test

Texturní vlastnosti potravin jsou sledovány především z důvodů spotřebitelských požadavků na kvalitu a pro pochopení jejich mechanického chování při konzumaci. (Kadlec et al., 2013).

Novodobým trendem je posuzování textury pomocí laboratorních přístrojů, které využívají daných metod k získání přesných, objektivních a reprodukovatelných výsledků. Dle způsobu zatížení vzorků rozeznáváme několik destruktivních metod: vtlačování, kompresi, stříh, kroucení, napínání a ohýbání. Mezi nejvýznamnější charakteristiky testovaných vzorků patří tvrdost, soudržnost, křehkost-lámavost (Foegeding et al., 2003; Kilcast, 2004).

Úkolem našeho měření bylo zjistit tvrdost laskonek. Na základě naměřených hodnot byly, porovnány výsledky jednotlivých sérií mezi sebou a popsán vliv pěnотvorných činidel na tuto mechanickou vlastnost. Hodnocena byla i mechanická stabilita laskonek po určité době skladování. K měření byl použit Warner – Bratzlerův test.

Warner-Bratzlerův test patří mezi střížní testy. Při testu je aplikovaná stříhová síla, jejíž maximum se vyhodnocuje jako síla potřebná k rozdělení vzorku na dvě části viz simulace ideální křivky na Obr. 8. Tento test napodobuje překousnutí potravinu řezáky a charakterizuje onu tvrdost potravinu (Foegeding et al., 2003).



Obr. 8 – Simulace ideální křivky střížního testu

[převzato: Hanzelková, Simeonová, 2010; vytvořeno v Matlab]

Pro uskutečnění tohoto testu byly připraveny tři série laskonek dle metodiky přípravy v podkapitole 5.2 (A – laskonka z vaječného bílku, C – laskonka z aquafaby z konzervované cizrny, D – laskonka z vývaru cizrny). Laskonka ze sušené aquafaby nemohla být pro účely tohoto měření vyrobená z důvodu nedostupnosti sušené aquafaby na trhu. Každá z vyrobených sérií čítala osm vzorků. Měření bylo provedeno na texturometru TA.XT. Plus, Stable Micro Systems, UK za použití Warner – Bratzlerova nože s řeznou hranou, kterým byl vzorek přestřižen (rychlost pohybu příčnicku 10,0 mm/s). Ukázka z měření je na Obr 9.

Na jednotlivých sériích vzorků bylo provedeno měření 24 hodin po výrobě (laskonky čerstvé). Druhé měření bylo provedeno po 14 dnech skladování laskonek v podmínkách laboratoře 20 °C. Relativní vlhkost se pohybovala mezi 40-50 %.

Ze získaných dat, která byla převedena do excelového souboru bylo vyhodnoceno a zaznamenáno maximum stříhové síly, která odpovídá tvrdosti jednotlivých vzorků laskonek ze všech sérií (tabulky naměřených hodnot jsou k nahlédnutí v Příloze I v části „Přílohy“ této práce). Byl vypočten průměr těchto sil pro každou sérii z prvního i druhého měření. Ze získaných průměrných hodnot byla vytvořena tabulka a graf, které jsou součástí kapitoly „Výsledky a diskuze“ pro tuto metodu.



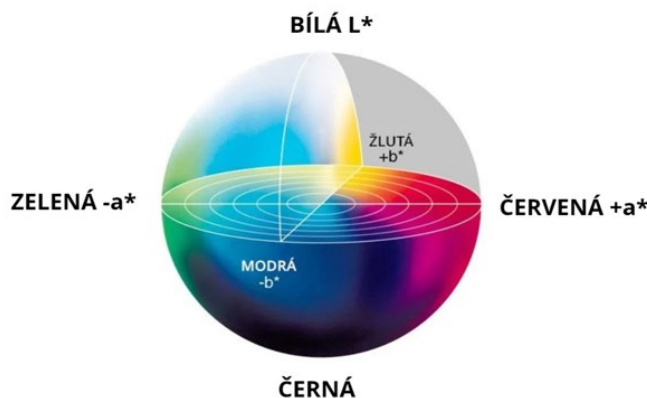
Obr. 9 – měření tvrdosti laskonky za použití Warner – Bratzlerova nože [zdroj: vlastní]

5.3.2 Analýza barevných vlastností pomocí CIE L*a*b*

Dalším z cílů této práce bylo vyhodnotit barevné charakteristiky vybraných vzorků laskonek a posoudit, jak různé faktory například použité suroviny nebo technologie výroby ovlivní jejich finální barevnost. Pro analýzu barevných parametrů byl použit kolorimetrický model CIE Lab*. Tento model je oblíbený, protože se blíží lidskému vnímání barev a je nezávislý na použitém zobrazovacím zařízení.

Stanovení trichromatických charakteristik podle CIE Lab* je metoda pro objektivní měření barev v prostoru definovaném Mezinárodní komisí pro osvětlení (CIE). Měření probíhá pomocí spektrofotometru nebo kolorimetru. Vzorek je osvětlen standardizovaným světlem a přístroj změří, jaké množství světla různé vlnové délky se od vzorku odrazí nebo jím projde. Barva je v tomto systému vyjádřena trojicí hodnot L^* , a^* , b^* (Green et al., 2003).

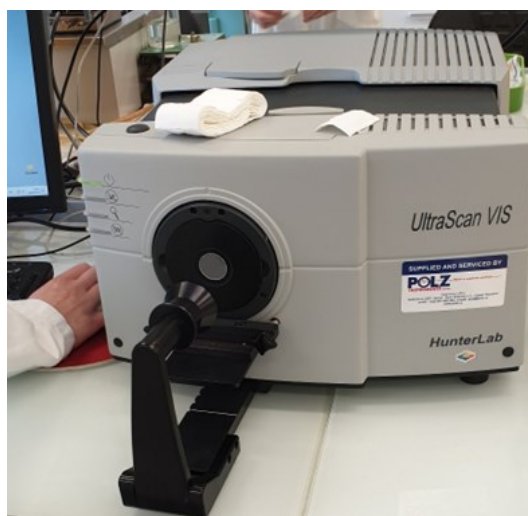
- L^* (Lightness) – světlost, hodnota od 0 (černá) do 100 (bílá).
- a^* – osa červená – zelená (kladné hodnoty znamenají červený odstín, záporné zelený).
- b^* – osa žlutá – modrá (kladné hodnoty znamenají žlutý odstín, záporné modrý)



Obr. 10 – grafické znázornění Lab* modelu [převzato: Kulcu, 2018; upraveno v Canva]

Měření barevných parametrů bylo provedeno na třech sériích laskonek připravených dle metodiky výroby v podkapitole 5.2 (A – laskonka z vaječného bílku, C – laskonka z aquafaby z konzervované cizrny, D – laskonka z vývaru cizrny). Každá série zahrnovala pět vzorků. Barevné vlastnosti byly hodnoceny pomocí kolorimetru Ultra Scan PRO, Reston, VA, USA (viz Obr. 11) pracujícího v systému CIE Lab*, který byl před měřením kalibrován pomocí standartních bílých a černých destiček. Měřené vzorky byly přiloženy ke sklíčku

měřicí části přístroje a přidrženy po dobu měření rukou v černé rukavici. Tento postup byl zvolen vzhledem k praskání a drolení laskonek po přitlačení držáku. Laskonky byly měřeny ve středové části jejich horní plochy, aby byly zajištěny konstantní podmínky měření pro všechny vzorky. Každý z pěti vzorků jednotlivých sérií byl měřen jednou za osvětlení standardizovaným světlem D65. Získané hodnoty L^* (světlost), a^* (červenozelená složka), b^* (modrožlutá složka) byly zaznamenány a vyhodnoceny. Na následujícím Obr. 11 je zobrazen přístroj, jenž byl použit pro měření.



Obr. 11 – Přístroj použitý k měření barevných charakteristik laskonek [zdroj: vlastní]

5.3.3 Senzorická analýza duo trio test

Senzorická analýza je používána k hodnocení organoleptických vlastností potravin. Využívá lidské smysly k objektivnímu posouzení atributů jako jsou chuť, vůně, vzhled a textura (Pokorný, 1997).

Duo-trio test je jednou z diskriminačních metod používaných v senzorické analýze k porovnání rozdílů mezi vzorky. Tato metoda je vhodná pro situace, kdy rozdíly mezi vzorky nejsou výrazné a je potřeba statisticky potvrdit, zda je rozdíl detekovatelný. Duo – trio test se běžně používá při kontrole kvality a reformulaci produktů nebo při posuzování vlivu změny suroviny či výrobních procesů (Kubáň, 2007).

Cílem testu je určit existenci rozpoznatelného rozdílu mezi dvěma vzorky potravin či nápojů. Hodnotitel je nucen vybrat jeden ze dvou vzorků (A nebo B) srovnatelný s referenčním vzorkem (R), i když si není jistý. To znamená, že nemá možnost odpovědět „Nevím“ nebo „Oba jsou stejné“. Tento způsob vyhodnocení je označován jako nucená volba (Pokorný, 1997).

V rámci této práce byl Duo-trio test proveden za účelem vyhodnocení rozdílů v chuti mezi vzorky ze série A a B připravenými dle metodiky v podkapitole 5.2. Test byl proveden v prostorách cukrářství Kačenčiny dobroty s adresou Ing. Lízla 3, 262 42, Rožmitál pod Třemšínem a hodnotitele byli vybráni z řad zákazníků. V tomto cukrářství je laskonka třetím nejprodávanějším výrobkem. Vybraní hodnotitelé mají zkušenosti s tímto produktem a mohou rozdíly v chuti objektivně posoudit.

Postup testu:

1. Příprava a popis vzorků – Byly připraveny dva druhy laskonek ve své kompletní podobě, tedy s karamelovým máslovým krémem a sušenými malinami.

- **Vzorek A** – Laskonka vyrobená z vaječného bílku s karamelovým krémem. Tato laskonka byla zároveň i vzorkem referenčním pro všechny hodnotitele.

- **Vzorek B** – Laskonka vyrobená ze sušené aquafaby s karamelovým krémem.

2. Výběr hodnotitelů – Testu se zúčastnilo 17 zákazníků cukrárny (10 mužů, 7 žen ve věku 18-82 let).

3. Poučení hodnotitelů – Před zahájením testu byli hodnotitelé poučeni o jeho zadání, kterým bylo vybrat jeden vzorek ze dvou shodný s referenčním. Dále byli poučeni o průběhu testu, jak mají ochutnávat jednotlivé vzorky a jakým způsobem mají provést vyhodnocení.

Degustace a hodnocení – Každý hodnotitel obdržel referenční laskonku R (z vaječného bílku) a dva testovací vzorky A a B. Hodnotitelé nejprve ochutnali vzorek R a následně vzorky A a B. Zaměřit se měli především na chuť a ochutnávat mohli vícekrát. Na konci testu museli provést nucenou volbu.

5. Vyhodnocení výsledků – Po obdržení odpovědi bylo zjištěno, zda hodnotitele vnímali významný rozdíl mezi laskonkami vyrobenými z vaječného bílku a sušené aquafaby.

Pro vyhodnocení výsledků byl použit F-test, který se používá k porovnání rozptylů dvou skupin. Je založen na F – rozdělení, které udává poměr dvou rozptylů. Testováno bylo na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, jelikož se jedná o zkoušku s nucenou volbou (Pokorný, 1997).

Pro účel F – testu byla stanovena nulová hypotéza a alternativní hypotéza. Dále byl proveden výpočet testovacího kritéria, stupňů volnosti a kritického oboru dle vzorců níže. Na závěr bylo provedeno zhodnocení kritického oboru a zamítnuta či potvrzena nulová hypotéza. Provedené výpočty jsou součástí přílohy II.

$$\text{Testovací kritérium: } F = \frac{nS}{n - nS + 1}$$

$$\text{Stupně volnosti: } V_1 = 2(n - nS + 1)$$

$$V_2 = 2nS$$

$$\text{Kritického oboru: } F \geq F_{1-\alpha}(V_1; V_2)$$

nS = počet správných odpovědí

nN = počet nesprávných odpovědí

n = celkový počet hodnotitelů

5.3.4 Index šlehatelnosti a index stability pěny

Z hlediska jakosti a technologické využitelnosti se u bílků posuzuje schopnost tvorby pěny, tzv. šlehatelnost a trvanlivost pěny. Naše legislativa nedefinuje žádné znaky, které by sloužily k posuzování jakosti vaječných hmot potažmo aquafaby (Simeonová et al., 2013).

Jedním z cílů práce bylo stanovení funkčních vlastností aquafaby a porovnání s funkčními vlastnostmi vaječného bílku. Pro možnost porovnání vlastností byl z výsledků měření a zjištěných objemů vyjádřen index šlehatelnosti a index trvanlivosti pěny dle vzorců od Kargar, Sourky (2024).

Index šlehatelnosti je procentuální poměr objemu našlehané pěny k objemu bílku (pěnotvorné složky) před začátkem šlehání (Simeonová et al., 2013).

$$\text{Index šlehatelnosti: } I_s = \frac{V_2}{V_1} \cdot 100 [\%]$$

V_1 = objem vzorku před našleháním (ml)

V_2 = objem vzorku po našlehání (ml) = objem pěny

Index trvanlivosti pěny je procentuální poměr mezi objemem našlehané pěny, který byl zmenšen o objem zkapalněné pěny k původnímu objemu našlehané pěny (Simeonová et. al., 2013).

$$\text{Index trvanlivosti pěny: } I_{trv.} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \cdot 100 [\%]$$

V_1 = objem zkapalněného bílku po stanoveném čase (ml)

V_2 = objem vzorku po našlehání (ml) = objem pěny

Výchozím materiálem pro vytvoření vzorků byly všechny čtyři pěnotvorné složky připravené pro výrobu laskonek-vaječné bílky (A), sušená AQF (B), AQF z konzervované cizrny (C) a AQF získaná vařením cizrny (D). Nejdříve byl z každé pěnotvorné složky odměřen objem 60 ml, vytemperován na 25 °C a šlehan ručním šlehačem (430 ot/min) po dobu 4 minut. Vzniklé pěny byly beze zbytku přeneseny do odměrných válců. Po 2 hodinách stání byl odečten objem zkapalněné pěnotvorné složky a ze zjištěných objemů byl vyjádřen index šlehatelnosti a index trvanlivosti pěny dle vzorců výše. Výsledky měření jsou diskutovány v následující kapitole „Výsledky a měření“.

6 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT

Pro ověření normálního rozdělení dat byl použit Shapiro – Wilk test, který byl proveden v programu Microsoft Excel pomocí doplňku Real Statistics. Test neprokázal statisticky významné odchylky od normálního rozdělení ($p > 0,05$), což umožnilo použití jednofaktorové analýzy rozptylu ANOVA k porovnání jednotlivých skupin (Lepš, Šmilauer 2016).

Po zjištění statisticky významného rozdílu ($p < 0,05$) mezi skupinami byl proveden Tukeyho test, který byl rovněž realizován v programu Excel (Real Statistics). Tento test umožnil určit, mezi kterými konkrétními skupinami se nachází statisticky významný rozdíl. Skupiny, které se významně liší ($p < 0,05$), byly v tabulkách označeny rozdílnými písmeny v horním indexu (Zvára, 2013).

7 VÝSLEDKY A DISKUZE

7.1 Texturní analýza – Warner Bratzlerův test

Texturní vlastnosti laskonek, jsou ovlivněny jak podmínkami skladování, tak charakterem zvolené náplně. Tyto dva faktory přispívají k výsledné tvrdosti výrobku a jejím změnám v čase.

Měření síly potřebné k rozlomení laskonky proběhlo 24 hodin a 14 dní po výrobě. Na základě naměřených výsledků bude posuzován vliv použité pěnotvorné složky na tvrdost laskonky a to, zda se tvrdost laskonky změnila po 14 dnech skladování.

Vliv použité pěnotvorné složky na tvrdost laskonek 24 hodin po výrobě

V Tab. 7 níže jsou uvedeny průměry naměřených hodnot u jednotlivých sérií se směrodatnou odchylkou. Maximální stříhové síly naměřené pro jednotlivé vzorky všech sérií jsou vloženy do přílohy I této práce.

Tab. 7 – Průměrné hodnoty naměřených maximálních stříhových sil a délky pohybu nože pro jednotlivé série v čase 24 hodin po výrobě

<i>Série laskonek</i>	<i>Síla potřebná k rozlomení laskonky F [N]</i>	<i>Pohyb Warner – Bratzlerova nože l [mm]</i>
Vaječné bílky	$8,7 \pm 0,8^c$	$1,46 \pm 0,05^a$
AQF z vývaru	$9,4 \pm 0,7^b$	$1,45 \pm 0,04^a$
AQF konzervovaná	$10,28 \pm 1,08^a$	$1,43 \pm 0,03^b$

a, b, c ($p < 0,05$)

Výsledky měření ukazují, že použitý typ pěnotvorné složky ovlivňuje mechanické vlastnosti laskonek, konkrétně jejich tvrdost. Nejnižší průměrná hodnota tvrdosti byla zaznamenána u vzorků připravených z tradičních vaječných bílků ($8,7 \pm 0,8$ N). Naproti tomu alternativní pěnotvorná složka – aquafaba vykazovala schopnost, vytvořit pevnější strukturu. Nejvyšší tvrdosti dosáhly laskonky připravené z nálevu konzervované cizrny ($10,28 \pm 1,08$ N), zatímco aquafaba získaná z čerstvého cizrnového vývaru vedla k výsledné tvrdosti $9,4 \pm 0,7$ N.

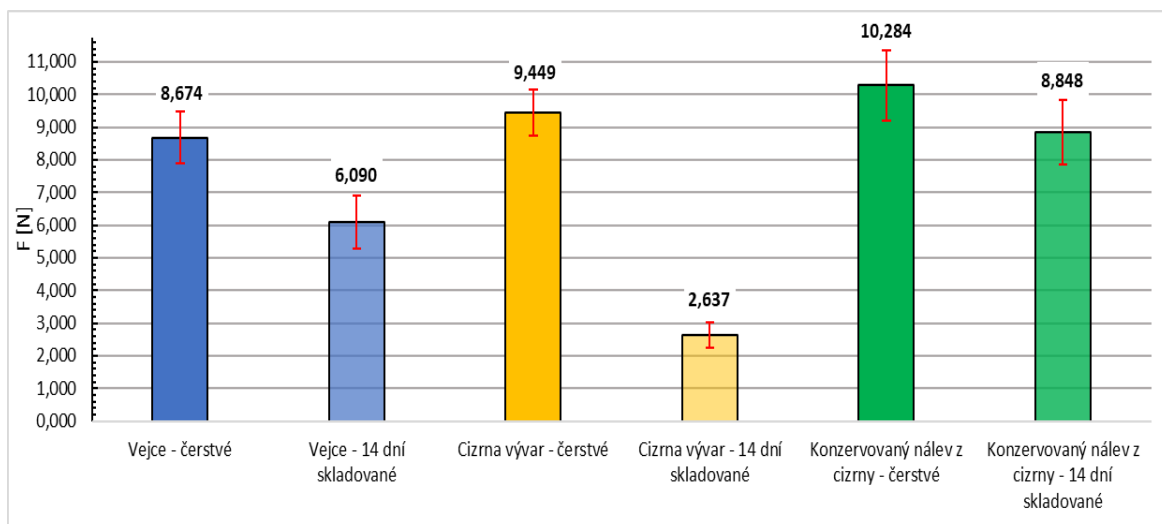
Zjištění jsou v souladu s výsledky studií Sebi et al. (2025) a Choya et al. (2023), které při úplné náhradě vaječných bílků aquafabou v obdobných typech pečiva rovněž zaznamenaly zvýšení tvrdosti konečných výrobků. Podobně Černá, (2023) ve své práci zaměřené na jiný typ mechanicky kypřeného pečiva (těžké šlehané hmoty) dospěla

ke stejnému závěru, že aquafaba použitá jako náhrada vaječných bílků vede ke zvýšení tvrdosti výrobku.

Prokazatelně vyšší hodnoty tvrdosti laskonek vyrobených z aquafaby mohou být spojeny s větším kolapsem vzduchových bublin během pečení, což vede ke zhutnění jejich struktury. (Ngouémazong et al., 2015). Tento efekt bývá podpořen nižší mírou dehydratace proteinů aquafaby a umožňuje lepší propojení proteinových řetězců. Podobně se na stabilizaci proteinové sítě laskonky mohly podílet komplexní polysacharidy, jako škrob nebo pektin spolu s oligosacharidy rozpustnými ve vývaru. Jejich krystalizace nebo tvorba amorfních sklovitých struktur během chlazení vede k pevnější a kompaktnější struktuře laskonek, které vyžadují použití větší síly k jejich rozlomení (Xu et al., 2019; Koryama et al., 2025; Ngouémazong et al., 2015).

V rámci texturní analýzy byla kromě síly měřena také délka pohybu čepele potřebná k proříznutí vzorku. U laskonek je délka pohybu Warner – Bratzlerova nože nepřímo ukazatelem křehkosti. Krátká délka dráhy odpovídá vyšší křehkosti, protože korpus praskne a zlomí se téměř okamžitě po překročení maximální síly. Naopak delší délka dráhy indikuje nižší křehkost a nežádoucí pružnost nebo žvýkatelnost. Naměřené hodnoty naznačují, že křehkost laskonek se zvyšovala s jejich rostoucí tvrdostí, což je typická vlastnost pro tento typ pečiva. Tvrdost a křehkost může ovlivnit i zvukový vjem při konzumaci laskonek a jsou to důležité faktory, které ovlivňují vnímání kvality výrobku zákazníky. Tvrdší a křehčí laskonky obvykle při kousání vydávají praskavý zvuk, který může být pro některé zákazníky příjemný a signalizovat čerstvost a křehkost výrobků. Naopak měkčí laskonky jsou snadněji kousatelné a působí při konzumaci jemněji. Jsou vhodné pro široké spektrum zákazníků, včetně těch, kteří mají problémy se zuby. Navíc měkčí laskonky jsou méně náchylné k poškození během skladování nebo přepravě.

Vliv skladování laskonek na jejich tvrdost 14 dní po výrobě



Obr. 12 – Srovnání maximální síly stříhu mezi vzorky a v čase

Z grafu na Obr. 12 lze vyčíst, že tvrdost laskonek se liší v závislosti na použité surovině a délce skladování. Nejvyšší pevnost při čerstvém stavu vykazovaly laskonky z nálevu konzervované cizrny (10,284N), zatímco laskonky z vaječných bílků a vývaru ze semen cizrny měli nižší tvrdost v tomto pořadí (8,674 N a 9,449 N). Po 14 dnech skladování došlo u všech sérií vzorků k poklesu tvrdosti, přičemž největší degradaci podlehly laskonky z cizrnového vývaru (pokles o 72 % na 2,637 N). Naproti tomu laskonky z nálevu konzervované cizrny vykazovaly nejvyšší stabilitu, když jejich tvrdost klesla pouze o 14 % (na 8,848 N). Výsledek u této laskonky mohla ovlivnit přítomnost kyseliny askorbové v nálevu. Podobné zjištění uvádějí Tufaro, Cappa, (2023), které stabilizovaly pěnu z aquafaby různým přidavkem kyseliny mléčné. Jejich výrobky vykazovaly rostoucí tvrdost se zvyšujícím se přidavkem kyseliny, kterou si udrželi i v čase. Opačný výsledek uvádí Stasiak et al. (2023), zjistila, že pusinky z aquafaby vykazují vyšší vodní aktivitu a nižší tvrdost ve srovnání s těmi z vaječných bílků, a to i v průběhu času.

Jedním z hlavních faktorů ovlivňujících tvrdost sněhového pečiva během skladování je vysoký obsah sacharózy, která vykazuje hydoskopické vlastnosti. Sacharóza sama o sobě je jen mírně hydoskopická, ale při tepelné úpravě nebo při vystavení laskonek vyšší vzdušné vlhkosti dochází k její částečné hydrolýze. Vznikají molekuly glukózy a fruktózy, které jsou hydoskopické mnohem více. Mění se tím mechanické vlastnosti tohoto typu pečiva a dochází ke ztrátě jeho tvrdosti (Mariotti, 2007; Renzetti et al., 2022).

Pro zamezení absorpce vlhkosti během skladování, je vhodné sněhové pečivo uchovat v prostředí s nízkou relativní vlhkostí (pod 40 %) například ve vzduchotěsných obalech, případně přidat sáčky se silikagelem nebo jiným vysoušedlem (Dobiáš, et al., 2019).

Tvrdosti laskonek v čase ovlivňuje i technologie jejich sušení. Čas a teplotu tepelného opracování je nutné upravit tak, aby byl zbytkový obsah vody v laskonce co nejnížší (Davidson, 2023). Uvádí se, že sněhové pečivo by mělo mít po usušení nízkou vlhkost (pod 5 %), aby zůstalo tvrdé a křehké. Pokud má vyšší vlhkost, může po usušení změkhnout nebo se lepit (Lekjing et al., 2022).

Pro zachování tvrdosti laskonky je vhodné volit náplně s nižším obsahem volné vody, například máslové, čokoládové nebo tukové náplně. Naopak krémy na bázi šlehačky, ovocné pyré nebo pudinku vedou k rychlejšímu změknutí a ztrátě požadované tvrdosti potažmo křupavosti. Pokud je nutné použít náplň s větším obsahem vody, bylo by vhodné aplikovat bariérovou vrstvu, která by zpomalila přenos vlhkosti mezi krémem a laskonkou např. tenkou vrstvu čokolády (Bláha et al. 2019; Půlpánová, 2001).

7.2 Analýza barevných parametrů pomocí systému CIE Lab*

Výsledky měření ukázaly, že se barevné vlastnosti laskonek liší v závislosti na použitém typu pěnотvorné suroviny. Barva byla u laskonek měřena z hlediska možné předpovědi toho, jaká bude jejich přijatelnost pro spotřebitele. Praktické zkušenosti z prodeje ukazují na to, že světlejší a bělejší odstín sněhového pečiva působí na zákazníka atraktivněji než našedlé, načervenalé či nahnědlé tóny. Z laskonek připravených dle námi nastavených podmínek (120 °C po dobu 60 minut s následným dosušením při 90 °C po dobu 60 minut) splňuje toto vizuální hledisko nejlépe laskonka připravená z čerstvě svařené aquafaby. Barvu ostatních laskonek, lze pozitivně ovlivnit správným nastavením technologie tepelného opracování. Nižší teplota pomáhá zachovat bělejší vzhled. Je však nutné, zároveň prodloužit dobu sušení. Dojem světlejšího výrobku lze podpořit i použitím tmavšího krému.

Na Obr. 13 (následující str. 49) je ukázka jednotlivých vzorků ze všech měřených sérií a v Tab. 8 jsou průměrné hodnoty s odchylkou ze získaných dat parametrů L^* a b^* .



Obr. 13 – vzorky laskonek připravených pro měření barevných charakteristik

Tab. 8 – průměrné hodnoty L^* a^* b^* pro jednotlivé série

<i>Série</i>	L^*	a^*	b^*
Vaječné bílky	$86,1 \pm 0,3^b$	$2,1 \pm 0,2^a$	$13,2 \pm 0,4^a$
AQF konzervovaná	$90,1 \pm 0,6^a$	$0,9 \pm 0,2^b$	$10,5 \pm 0,4^b$
Svařená AQF	$89,4 \pm 0,4^a$	$1,16 \pm 0,04^b$	$10,9 \pm 0,2^b$

a, b, c ($p < 0,05$)

Hodnoty L^* , a^* a b^* se významně nelišily mezi laskonkami připravených z aquafaby (viz Tab.8). Hodnoty a^* a b^* naznačují, že tyto laskonky měly oranžový odstín s převahou žluté nad červenou a mírnou sytost barev. Pro srovnání, laskonka z vaječných bílků vykazovala nižší hodnotu L^* (86,1) a vyšší hodnotu a^* (2,1), což znamená tmavší a červenější odstín.

Na rozdíl od těchto výsledků Mustafa et al. (2018) znamenali u koláčů obsahujících vaječný bílek světlejší a méně červené kůrky ve srovnání s těmi připravenými z aquafaby z cizrny, přičemž došlo i k mírnému poklesu žlutosti. Naopak jsou v souladu s výsledky Stantiall et. al. (2017), kteří popsali pokles červenosti u sněhového pečiva obsahující aquafabu. Barva koláčů potažmo laskonek závisí na složení surovin a neenzymatickém hnědnutí (Yazici, Ozer, 2021).

Podobně jako v jiných luštěninách dominuje nízkomolekulárnímu sacharidovému profilu cizrny sacharóza a α – galaktooligosacharidy (Xiaoli et al., 2008). Tyto cukry jsou neredukující, a proto se Maillardovy reakce účastní až po hydrolýze. Naproti tomu vaječný bílek obsahuje volnou glukózu, která se do Maillardovy reakce zapojuje snadno (Wang et al., 2022). Fuentes Choja et al., (2022) v souvislosti s pečením sněhových pusinek uvádějí, že vaječné bílky obsahují prokazatelně více bílkovin než aquafaba,

což reakce zesiluje. Znatelně tmavší barva laskonek z vaječných bílků ve srovnání s laskonkami z aquafaby tedy pravděpodobně souvisí s rozdíly v jejich složení.

Zajímavým zjištěním je nesoulad mezi přístrojově naměřenými hodnotami a^* a vizuálním hodnocením laskonek. Přístrojová měření ukázala nižší hodnotu a^* u laskonek z konzervované aquafaby ve srovnání s těmi z vývaru semen cizrny. Senzorické hodnocení, ale naznačovalo opačný dojem, kdy laskonky z konzervované aquafaby působily subjektivně červenějším dojmem. Podobný rozpor byl zaznamenán i při hodnocení světlosti (L^*). Přestože přístrojové měření ukázalo, že laskonky z konzervované aquafaby byly světlejší než ty z vývaru cizrny, vizuální hodnocení naznačovalo opačný trend – laskonky z vývaru působily bělejší dojmem (viz Obr. 13). Tento nesoulad může být způsoben optickými vlastnostmi povrchu laskonek, především jejich schopností odrážet a rozptylovat světlo (Figura et al., 2007).

7.3 Senzorické hodnocení Duo – trio test

Cílem testu bylo, zjistit, zda hodnotitele dokážou rozlišit laskonky vyrobené z vaječného bílku od těch připravených z aquafaby. Testu se zúčastnilo 17 hodnotitelů, kteří ochutnali kompletní laskonky s karamelovým máslovým krémem, tak jak jsou v cukrářství nabízené zákazníkům. Výsledky ukázaly, že 9 hodnotitelů odpovědělo správně, zatímco 8 označilo nesprávný vzorek. Na obrázcích níže jsou fotografie testovaných vzorků laskonek.



Obr. 14 – nenazdobené vzorky pro testování



Obr. 15 – vzorky naplněné karamelovým máslovým krémem



Obr. 16 – vzorky předložené hodnotitelům

F – test prokázal, že s 95 % spolehlivostí se nám nepodařilo prokázat, existenci statisticky významného rozdílu v chuti mezi vzorky laskonky A (vaječné bílky) a laskonky B (sušená aquafaba). Lze tedy říci, že mezi laskonkami z vaječného bílku a aquafaby nebyl pro většinu hodnotitelů jasně vnímatelný rozdíl. Podobný výsledek získala i Sebi et al., (2025), která se svým kolektivem zcela nahrazovala vaječný bílek aquafabou ve sněhových pusinkách, které jsou svým složením stejného charakteru jako laskonky. Stasiaková et al., (2023) uvádí, že si při sensorickém hodnocení sněhové pusinky z aquafaby získaly všeobecné uznání a nebyly na nich pozorovány žádné rozdíly v chuti a textuře. Opačné výsledky sensorického hodnocení uvádějí Tarim, Degrisi, (2020) u jejich piškotového korpusu byl panel hodnotitelů ochotný akceptovat pouze 25 % náhrady celého vejce aquafabou.

Naše sensorické hodnocení mohl ovlivnit karamelový máslový krém, který překryl jemnější rozdíly mezi samotnými laskonkami a působil tak na schopnost hodnotitelů rozlišit vzorky. Pokud by bylo cílem zjistit menší nuance mezi vzorky, bylo by vhodné provést test s větším počtem hodnotitelů nebo jinou sensorickou metodou, například párovým porovnáním intenzity jednotlivých sensorických vlastností (Ježek, 2014). Lyon et al., (2012), uvádí, že je třeba brát v úvahu i variabilitu a individuální vnímání chutí hodnotitelů. Někteří mohli být citlivější na rozdíly než jiní, což mohlo vést k téměř vyrovnaným odpovědím.

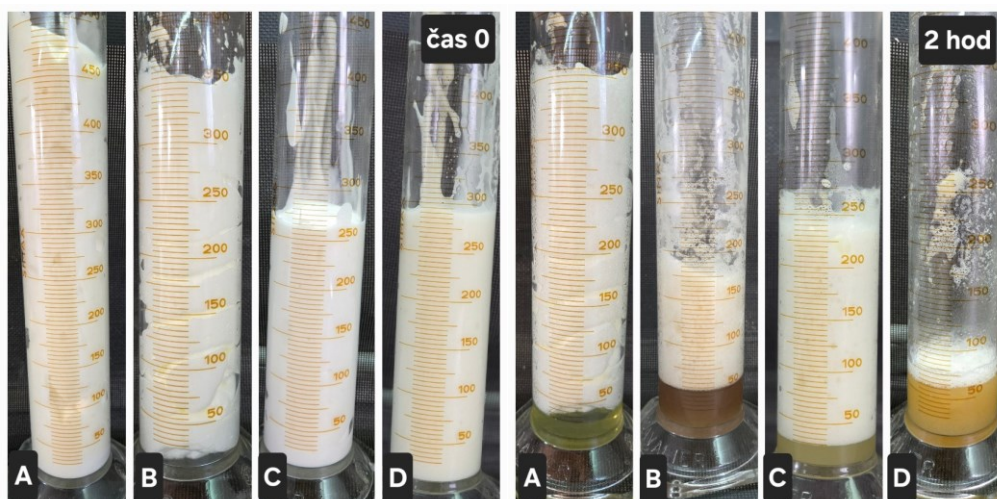
Výsledky našeho výzkumu ukazují, že aquafaba je vhodná pro náhradu vaječných bílků v některých typech pečiva. Pokud je však použita jako náhrada celých vajec, může dojít ke změnám v sensorických vlastnostech výrobku. Tyto odchylky nemusí být spotřebiteli vždy pozitivně vnímány.“

7.4 Index šlehatelnosti a index stability pěny

Při práci ve skutečném cukrářském provozu je stabilita pěny při výrobě tohoto typu pečiva zásadní. Přímo ovlivňuje tvar, objem a texturu výsledného výrobku. Správně vyšlehaná pěna je lesklá, hladká a jemně pórovitá. Při vytažení metly musí tvořit pevnou a vzpřímenou špičku, která se neohýbá ani nesklápí. Těchto vlastností pěny bylo v našem experimentu při daném čase dosaženo u šlehání vaječných bílků, sušené a konzervované aquafaby. V případě čerstvě svařené aquafaby byla pěna o poznání řidší a při vytáhnutí metly špičky netvořila.

Na základě získaných výsledků lze tedy hodnotit funkční vlastnosti pěny u všech vzorků. Byly sledovány dva klíčové parametry: index šlehatelnosti, který ukazuje schopnost tvořit pěnu a index trvanlivosti pěny po 2 hodinách, který vypovídá o její stabilitě v čase.

Na Obr. 17 jsou fotografie vzorků v čase 0 a částečně zkapalněných pěn v čase 2 hodiny. Následuje Tab. 9, ve které jsou uvedené objemy našlehaných pěn při začátku měření a objem zkapalněné pěny po 2 hodinách. V Tab. 10 jsou pak vypočtené indexy šlehatelnosti a indexy trvanlivosti pěny pro všechny vzorky.



Obr. 17 – objem a zkapalnění pěny v čase 0 a po 2 hodiny

(A) vaječný bílek, (B) sušená AQF, (C) AQF z konzervované cizrny, (D) AQF vařené cizrny

Tab. 9 – objemy našlehaných pěn v čase 0 a zkapalnění vzorku po 2 hodinách

<i>Složka</i>	<i>Objem vzorku po našlehání V_1 [ml]</i>	<i>Zkapalnění vzorku 2 hodiny V_2 [ml]</i>
(A)	350,0	30,0
(B)	470,0	50,0
(C)	275,0	25,0
(D)	280,0	60,0

Tab. 10 – Funkční vlastnosti vaječného bílku a různých typů aquafaby

<i>Složka</i>	<i>Index šlehatelnosti [%]</i>	<i>Index trv. pěny po 2 hod [%]</i>
(A)	583,0 ^b	1 067,0 ^a
(B)	783,0 ^a	840,0 ^b
(C)	458,0 ^c	1 000,0 ^a
(D)	468,0 ^c	367,0 ^c

a, b, c ($p < 0,05$)

Výsledky ukázaly, že vaječný bílek dosáhl šlehatelnosti (583,0 %), to znamená, že jeho objem se při šlehání zvětšil 5,8krát (Simeonová, 2013). Větší šlehatelnost vykazala jen sušená aquafaba (783,0 %), což může naznačovat, že proces sušení koncentruje pěnotvorné složky, především proteiny a polysacharidy (Choden et al., 2023). Ostatní typy aquafaby měli po našlehání prokazatelně menší objem než vaječné bílky. Přesto byly podobné těm, které uvádí Mustafa, et al., (2018) v rozmezí 400–500 %.

Zajímavé je, že nebyly nalezeny žádné statisticky významné rozdíly ($p > 0,05$) mezi šlehatelností konzervované aquafaby a aquafaby vyrobené v této práci (458,0 a 468,0 % v tomto pořadí). To může být způsobeno skutečností, že mají podobný obsah bílkovin (hlavně albuminů), které adsorbují na rozhraní plyn – voda, zapouzdřují vzduchové bubliny a tím zvyšují tuhost a stabilitu pěny. (Shim et. al., 2018; Buhl et al., 2019). Kde byl ovšem zjištěn výrazný statistický rozdíl je stabilita těchto dvou pěn. V případě konzervované AQF (1000,0 %) a AQF z vývaru (367,0 %); to lze vysvětlit s ohledem na rozdíly v průmyslových konzervářských postupech (např. podmínky vaření, teplota, čas, tlak), také používáním aditiv, jako je sůl a konzervační látky (He et al., 2021a; Alsaman, Ramaswamy, 2021; Alsaman et al., 2022).

Vliv různého přídavku soli na šlehatelnost a stabilitu pěny ovšem u vaječného bílku studovali i Nedomová et al., (2011). Došli k výsledkům, že s přídavkem soli je vyšlehaná pěna objemnější a stabilnější. Shim et al., (2018) uvádějí, že v případě aquafaby se solí, jako stabilizátorem pěny nelze počítat, protože prostředí alkalizuje. Aquafaba, je pak méně viskózní a pěna, je tak méně stabilní. Podle Lafargy et al., (2019) je ideální pH pro šlehání AQF mezi 4 a 6. Konal et al., (2025) dokonce uvádí, že jeho vzorky aquafaby dosáhly nejlepších výsledků šlehatelnosti při pH 3.

V našem případě mohla tedy, překvapivě vysokou stabilitu pěny nálevu z konzervy (1000,0 %) podpořit i přítomná kyselina askorbová, která snížila pH a tím zlepšila adsorpci proteinů na rozhraní vzduch-kapalina. Tuto domněnku potvrzují Tufaro, Cappa (2023), které snižovaly pH aquafaby přidáním kyseliny mléčné. Výsledný objem pěny se pak zvětšil o 54 % oproti pění, která kyselinu neobsahovala. Uvádějí, že přídavek kyseliny zvýšil i stabilitu pěny.

Vzhledem k nižší šlehatelnosti a nejnižšímu indexu stability pěny (367,0 %) AQF z vývaru cizrny je třeba zvážit i podmínky extrakce, která je spojená s koncentrací pěnotvorných látek v aquafabě a může ovlivnit její funkční vlastnosti (Kargar, Hematian, 2024). Vliv teploty na pěnotvorné vlastnosti AQF byl sledován s ohledem na různé přístupy v literatuře. V práci jsme zvolili podmínky extrakce dle Chodena et al. (2023), tedy tepelnou úpravu cizrny při 80 °C po dobu 165 minut, které byly označeny jako optimální pro dosažení maximální šlehatelnosti a stability pěny. Podobné zjištění učinily Lee et al. (2019), kteří pozorovali nejvyšší pěnívost AQF po tepelném opracování semen cizrny při 75 °C a následný pokles při teplotách zpracování nad 95 °C. Tento pokles přičítají denaturaci proteinů a snížení povrchové aktivity pěnotvorných složek. Naopak Costa et al. (2018) a Kate et al. (2020) uvádějí, že vyšší teploty a kratší čas extrakce (100 °C po dobu 60 minut) vedou k většímu uvolnění proteinů díky silnějšímu narušení buněčných struktur, což může zvýšit celkový obsah povrchově aktivních látek v AQF. Rozpor v literatuře naznačuje, že pěnotvorné schopnosti AQF nejsou ovlivněny pouze koncentrací proteinů, ale také jejich strukturou a schopností interagovat na rozhraní plyn-kapalina. Možnou příčinou rozdílných výsledků může být i variabilita ve složení suroviny (různé odrůdy cizrny), která ovlivňuje zastoupení proteinů, polysacharidů a saponinů v extraktu (Chigwedere et al., 2018; Serventi et al., 2018).

V neposlední řadě mohla být pěnotvorná schopnost aquafaby a stabilita vzniklé pěny ovlivněna nízkou teplotou při šlehání. V naší práci byla teplota šlehání stanovena na 25 °C, aby byly zajištěny konzistentní a reprodukovatelné podmínky. Tato teplota byla zvolena i proto, že při ní dochází k optimálnímu napěnění a vytvoření stabilní pěny u vaječných bílků se kterými byla pěna z AQF srovnávána (Bovšková, Míková, 2011). Podle Koriyamy et al. (2025), je mechanismus tvorby pěny z aquafaby jiný, než u vaječných bílků a uvádí, že teplota pro dosažení maximálního objemu a stability pěny je mezi 30 °C a 40 °C. Teplotu 40 °C považují za ideální i Böttcher a Drusch (2016), kteří prokázali, že účinek povrchově aktivních látek například saponinů, je v jejím okolí nejvýraznější.

Původně byly indexy šlehatelnosti a stability pěny v této práci zamýšleny stanovit jako vedlejší cíl. Nakonec se však ukázalo, že jsou opravdu důležitými ukazateli, které mohou předpovědět vlastnosti finálního produktu. Zároveň mohou poskytnout vodítko pro úpravu výrobní technologie s cílem dosažení požadovaných parametrů výsledného výrobku. Pro příklad, v naší práci měla aquafaba z vařené cizrny nízký index šlehatelnosti i nízkou stabilitu vzniklé pěny. Po přidání cukru a ostatních surovin se vzniklá pěna zbortila a špatně tvarovala. Při měření tvrdosti, pak tato laskonka vykazovala nejmenší tvrdost a křehkost z laskonek, kde byla použita aquafaba, a po 14 dnech skladování ještě výrazně změkla. Na základě zjištěných výsledků je možné říci, že pěna potřebovala šlehat delší čas, než jsme šlehali my a manipulace s ní měla být rychlejší. Laskonka pak měla být sušena při nižší teplotě po delší dobu. Pro tuto laskonku je vhodná spíše tuková náplň. Oproti tomu pěna z konzervované aquafaby, do které byla přidána kyselina askorbová měla jeden z nejvyšších indexů stability. Laskonka z ní byla prokazatelně nejtvrdší a po 14 dnech změkla nejméně. Z tohoto se dá usuzovat, že u této laskonky můžeme použít náplň, která obsahuje více tekuté složky (např. smetanové, pudinkové).

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala využitím aquafaby jako alternativy vaječného bílku při výrobě mechanicky kypřeného pečiva, konkrétně laskonek. Cíle bylo porovnat vliv jednotlivých pěnotvorných složek na vyrobené vzorky a zjistit, jestli aquafaba dokáže v technologickém i senzorickém ohledu nahradit vaječné bílky a zda je možné dosáhnout srovnatelných výsledků s tradiční recepturou.

Výsledky experimentů ukázaly, že různé typy aquafaby (sušená, z konzervované cizrny a čerstvě připravená) vykazují rozdílné pěnotvorné vlastnosti a stabilitu pěny. Z hlediska šlehatelnosti se aquafaba osvědčila jako použitelná surovina, přičemž sušená aquafaba dosahovala nejlepších výsledků. U všech vzorků bylo možné vyšlehat pěnu srovnatelnou s vaječným bílkem, avšak její stabilita se lišila v závislosti na typu použité aquafaby. Nejvýraznější rozdíly byly zaznamenány v dlouhodobé stabilitě pěny, kde vaječný bílek stále poskytuje nejlepší výsledky.

Měřením texturních vlastností se zaměřením na tvrdost, bylo zjištěno, že laskonky z aquafaby měli stabilní strukturu a jejich tvrdost byla obdobná jako u tradičních laskonek.

Senzorické hodnocení ukázalo, že většina hodnotitelů nedokázala jednoznačně rozlišit laskonky připravené z vaječného bílku a ze sušené aquafaby. To naznačuje, že aquafaba může být vhodnou alternativou nejen z technologického, ale i z chuťového hlediska. Přítomnost krému v laskonkách mohla částečně maskovat drobné rozdíly mezi vzorky, což svědčí o tom, že správná kombinace surovin a úprava receptury může aquafabu plně začlenit do cukrářské výroby.

Na základě těchto zjištění, lze konstatovat, že aquafaba představuje perspektivní alternativu vaječného bílku, zejména pro veganskou a alergikům přístupnou produkci. Přestože její funkční vlastnosti nejsou zcela totožné s vaječným bílkem, správnou úpravou technologických postupů je možné dosáhnout velmi dobrých výsledků.

Budoucí směr výzkumu by se mohl zaměřit na standardizaci kvality aquafaby. Důležité také bude vyvíjet nové produkty, jejichž základem bude právě aquafaba a potvrdit tak efektivitu využití v komerční výrobě. Optimalizace složení a zavedení průmyslových standardů by mohlo podpořit její širší přijetí nejen v cukrářské výrobě, ale také v dalších potravinářských odvětvích.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ALSALMAN, F., TULBEK, M., NICKERSON, M., RAMASWAMY, H. Evaluation and optimization of functional and antinutritional properties of aquafaba. *Legume Science*. 2020, roč. 1, s. 1–15.

ALSALMAN, F., RAMASWAMY, H. Changes in carbohydrate quality of high-pressure treated aqueous aquafaba. *Food hydrocolloids*, 2021, 113: 106417.

ANTON, M., NAU, F., LECHEVALIER, V. Egg proteins. In: *Handbook of hydrocolloids*. Woodhead Publishing, 2009. p. 359-382.

BIRD, L., PILKINGTON, C., SAPUTRA, A., SERVENTI, L. Products of chickpea processing as texture improvers in gluten-free bread. *Food Science & Technology International*, 2017, 23(6), 690–698.

BLÁHA, L., CONKOVÁ, V., KADLEC, F. *Cukrářská výroba III: pro 3. ročník oboru vzdělání Cukrář*. Páté, přepracované vydání. Praha 2001, Informatorium.

BLÁHA, L., CONKOVÁ, V., KADLEC, F. *Cukrářská výroba I: pro 1. ročník oboru vzdělání Cukrář*. Páté, přepracované vydání. Praha 2019, Informatorium.

BLÁHA, L., KOPOVÁ, I., ŠREK, F. *Suroviny pro učební obor Cukrář, Cukrářka*. 2007, Informatorium.

BOVŠKOVÁ, H., MÍKOVÁ, K. Factors influencing egg white foam quality. *Czech Journal of Food Science-Potravinářské vědy*, 2011. ISSN 1212-1800.

BÖTTCHER, S., DRUSCH, S. Interfacial properties of saponin extracts and their impact on foam characteristics. *Food Biophysics*, 2016, 11: 91-100.

BUHL, T. F., CHRISTENSEN, C. H., HAMMERSHØJ, M. Aquafaba as an egg white substitute in food foams and emulsions: Protein composition and functional behavior. *Food Hydrocolloids*, 2019, 96: 354-364.

CABALLERO, B., TRUGO, L., FINGLAS, P. *Encyclopedia of food sciences and nutrition: Volumes 1-10*. 2003.

- CAFFARELLI, C. Egg allergy in children and weaning diet. *Nutrients*, 2022, 14.8: 1540.
- CHIGWEDERE, C.M., OLAOYE, T., KYOMUGASHO, C., JAMSAZZADEH, Z., PALLARES, A., VAN LOEY, A. Mechanistic insight into softening of Canadian wonder common beans (*Phaseolus vulgaris*) during cooking. *Food Research International*, 2018, 106(January), 522–531.
- CHODEN, N., ODELLI, D., CASANOVA, F., PETERSEN, H., AJALLOUEIAN, F., FEYISSA, A. Effect of the extraction process parameters on aquafaba composition and foaming properties. *Applied Food Research*, 2023, 3(2), 100354. ISSN 2772-5022.
- COSTA, R., FUSCO, F., GÂNDARA, F. Mass transfer dynamics in soaking of chickpea. *Journal of Food Engineering*, 2018, 227: 42-50.
- CRAWFORD, K., TYL, C., KERR, W. Evaluation of processing conditions and hydrocolloid addition on functional properties of aquafaba. *Foods*, 2023, 12.4: 775.
- ČERNÁ, K. Vliv surovin na vlastnosti mechanicky kypřeného pečiva [bakalářská práce] Zlín: UTB – fakulta technologická, 2023.
- DAMIAN, J., HUO, S., SERVENTI, L. Phytochemical content and emulsifying ability of pulses cooking water. *European Food Research and Technology*, 2018, 244(9), 1647–1655.
- DAVIDSON, I. Biscuit baking technology: *processing and engineering manual*. *elsevier*, 2023.
- DICKINSON, E. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food hydrocolloids*, 2003, 17.1: 25-39.
- DISSANAYAKE, M., VASILJEVIC, T. Functional properties of whey proteins affected by heat treatment and hydrodynamic high-pressure shearing. *Journal of dairy science*, 2009, 92.4: 1387-1397.
- DOBIÁŠ, J., VOTAVOVÁ, L., VÁPENKA, L. Balení potravin. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019. 311 s. ISBN 978-80-7592-052-2.
- ECHEVERRIA, J., KIM, Y., NAM, Y., ZHENG, Y., CHO, J., HONG, W., KANG, S., KIM, J., SHIM, Y., SHIN, W. Revalorization of the cooking water (Aquafaba) from soybean varieties generated as a by-product of food manufacturing in Korea. *Foods*. 2021, roč. 10, čl. 2287.

FIGURA, L.O., TEIXEIRA, A. *Food Physics: Physical Properties-Measurement and Applications*. New York: Springer, 2007. ISBN 978-3-540-34191-8.

FOEGEDING, E. A. Sensory and mechanical aspects of cheese texture. *International Dairy Journal*, 2003, 13, s. 585–591.

FUENTES CHOYA, P., COMBARRO, P., CAMINO, D., BANUELOS, E., TORNADIJO RODRÍGUEZA, M. Study of the technological properties of Pedrosillano chickpea aquafaba and its application in the production of egg-free baked meringues. *Foods*, 2023, 12.4: 902.

GREEN, P., MACDONALD, L. *Colour engineering: achieving device independent colour*. Reprinted with corrections. Chichester: Wiley, 2003. ISBN 0-471-48688-4.

HALLIDAY, D., RESNICK, R. a WALKERJ, E., DUB, P., *Fyzika. 2.*, přepracované vydání přeložil Miroslav ČERNÝ. Brno, 2013, VUTIUM. Překlady vysokoškolských učebnic, ISBN 978-80-214-4123-1.

HANZELKOVÁ, Š.; SIMEONOVÁ, J. Instrumental measurements of the hardness of textured soy protein. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2010, LVIII, č. 2, s. 111–118.

HELA, M., NASSEF, S. Evaluation of Using Aquafaba as an Egg White Replacer in Sponge Cake Processing. *Middle East Journal of Applied Sciences* 2021.

He, Y., MEDA, V., REANEY, M. J. T., MUSTAFA, R. Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 2021a, 111, 27–42. ISSN 0924-2244.

HE, Y., PURDY, S., TSE, T., TAR'AN, B., MEDA, V., REANEY, M., MUSTAFA, R. Standardization of Aquafaba Production and Application in Vegan Mayonnaise Analogs. *Foods*, 2021b, 10, 1978.

HE, Y., SHIM, Y., MUSTAFA, R., MEDA, V., REANEY, M. Chickpea cultivar selection to produce aquafaba with superior emulsion properties. *Foods*, 2019, 8(12), 1–16.

INTIKHAB, A. Aquafaba: Nutritional Significance for Vegans. A Way towards Environmental Sustainability. *Life and Science*, 2023, 4(1), 75–81.

JEŽEK, F. *Senzorická analýza potravin – Návod na cvičení. I. vyd.* Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014, 79 s. ISBN 978-80-7305-725-1

KADLEC, P., *Technologie potravin I.: Vysoká škola chemicko technologická v Praze, Praha*, 2002, ISBN 80-7080-509-9.

KADLEC, P., MELZUCH, K., VOLDŘICH, M. *Procesy a zařízení v potravinářství a biotechnologiích*, Ostrava: Key Publishing, 2013. ISBN 978-80-7418-163-4.

KADLEC, P., MELZUCH, K., VOLDŘICH, M. *Přehled tradičních potravinářských výrob, technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2012. ISBN 978-80-7418-145-0.

KATE, E., GIRI, K. Mass transfer dynamics of simultaneous water gain and solid loss during soaking of pigeon pea grains. *Journal of Food Science*, 2020, 85.10: 3406-3414.

KARGAR, Z., SOURKI, A. Physicochemical, techno-functional, and thermal properties of Kabuli chickpea's aquafaba extracted by optimized microwave-assistive process. *Applied Food Research*, 2024, 4.2: 100589.

KILCAST, D. *Texture in Food, Volume 2 Solid Foods*. 1st ed. Cambridge, England: CRC Press, 2004. 537 s. ISBN 0-8493-2537-4.

KORIYAMA, T., IJIMA, K., HOSOYA, T. Optimizing Chickpea Cooking Water (Aquafaba): Enhancing Superior Foaming and Emulsifying Properties Through Concentration Protocols. *Gastronomy*, 2025, 3(1), s. 3.

KUBÁŇ, V., KUBÁŇ, P. *Analýza potravin. I. vyd.* Brno: MZLU v Brně, 2007. ISBN 978-80-7375-036-7.

KULCU, R. Determination of the effects of different packaging methods and materials on storage time of dried apple. *MATTER: International Journal of Science and Technology*. 2018, 4, s. 238–255.

LAFARGA, T., VILLARÓ, S., BOBO, G., AGUILÓ, I. Optimization of the pH and boiling conditions needed to obtain improved foaming and emulsifying properties of chickpea aquafaba using a response surface methodology. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2019, 18, 100177.

LEE, H. J., KIM, J. H., JI, D., LEE, C. Effects of heating time and temperature on functional properties of proteins of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Food Science of Animal Resources*. 2019, 39(2), 296.

LEKJING, S., KEAWPENG, I., VENKATACHALAM, K., KARRILA, S. Impact of different sugar types and their concentrations on salted duck egg white based meringues. *Foods* [online]. 2022, 11(9), 1248.

LEPŠ, J., ŠMILAUER P. Biostatistika. Vyd. 1. České Budějovice:Nakladatelství Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, Episteme, Natura, 2016, 438 s., ISBN: 9788073945879.

LICCIARDELLO, F., FRISULLO, P., LAVERSE, J., MURATORE, G. a DEL NOBILE, M. A. Effect of sugar, citric acid and egg white type on the microstructural and mechanical properties of meringues. *Journal of Food Engineering*. 2012, 108(3), 453–462

LYON, D., FRANCOMBE, M., HASDELL, T. Guidelines for sensory analysis in food product development and quality control. *Springer Science & Business Media*, 2012.

MARIOTTI, M., LUCISANO, M. Sugar and sweeteners. *Bakery products science and technology*, 2014, 199-221.

MEURER, M., DE SOUZA, D., FERREIRA, L. Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba). *Journal of Food Engineering*. 2020, roč. 265, čl. 109688.

MINE, Y., YANG, M. Functional properties of egg components in food systems. *Handbook of poultry science and technology*, 2010, 1: 579-630.

MUSTAFA, R., HE, Y., SHIM, Y., REANEY, M. Aquafaba, wastewater from chickpea canning, functions as an egg replacer in sponge cake. *International Journal of Food Science & Technology*. 2018, roč. 53, s. 2247–2255.

MUSTAFA, R., REANEY, M. Aquafaba, from food waste to a value-added product. *Food Wastes and By-Products*. 2020, roč. 10, s. 93–126.

NGOUÉMAZONG, Eugénie D., et al. The emulsifying and emulsion-stabilizing properties of pectin: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2015, 14.6: 705-718.

NGUYEN, T.M.N., QUOC, L.P.T., TRAN, G.B. Evaluation of textural and microstructural properties of vegan aquafaba whipped cream from chickpeas. *Chemical Engineering Transactions*, 83, s. 421-426, 2021.

NEDOMOVÁ, Š., Simeonovová, J., SEVERA, L., BUCHAR, J. Functional properties of non-pasteurized egg white. *Potravinárstvo: Scientific Journal for Food Industry* [online]. 2011, **5**(1), s. 4–8

POKORNÝ, J. *Metody senzorické analýzy potravin a stanovení senzorické jakosti*, vyd. 2. dopl. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1997. ISBN 978-80-8512-060-7.

PŘÍHODA, J. *Cereální chemie a technologie III: technologie trvanlivého pečiva a snack výrobků*. 1. vyd. Praha: Olympia, 1991. ISBN 80-7080-099-2.

PŮLPÁNOVÁ, A. *Cukrářská technologie*. Vyd. 2., (1. vyd. V nakl. Radek Runštuk-R plus), Hradec Králové, 2001, R plus.

RAIKOS, V., JUSKAITE, L., VAS, F., HAYES, H. Physicochemical properties, texture, and probiotic survivability of oat-based yogurt using aquafaba as a gelling agent. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8, 6426–6432.

RENZETTI, S., VAN DER SMAN, R. Food texture design in sugar reduced cakes: Predicting batters rheology and physical properties of cakes from physicochemical principles. *Food Hydrocolloids*, 2022, 131: 107795.

SALÁKOVÁ, A. *Hygiena a technologie drůbeže, vajec a zvěřiny*. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014.

SEBIL, H., MOKNI GHRIBI, A., CHEBBI, W., ATTIA, H., BESBES, S. Total replacement of egg white by aquafaba and commercial substitute in meringue formulation: Effect on physicochemical properties and hedonic appreciation. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2025, 39, 101103. ISSN1878-450X.

SERVENTI, L., WANG, S., ZHU, J., LIU, S., FEI, F. Cooking water of yellow soybeans as emulsifier in gluten-free crackers. *European Food Research and Technology*, 2018, 244(12), 2141–2148.

SHIM, Y. Y., MUSTAFA, R., SHEN, J., RATANAPARIYANUCH, K., REANEY, M. Composition and properties of aquafaba: Water recovered from commercially canned chickpeas. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, 2018, vol. (132), 56305.

SIMEONOVÁ, J., MÍKOVÁ, K., KUBIŠOVÁ, S., INGR, I. 2001. *Technologie drůbeže, vajec a minoritních živočišných produktů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 80-7157-405-8.

SIMEONOVÁ, J. *Technologie drůbeže, vajec a minoritních živočišných produktů*. Vyd. 2. nezměněné. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, 241 s. ISBN 978-80-7375891-2.

STADELMAN, W., NEWKIRK, D., NEWBY, L. *Egg science and technology*. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 1995. ISBN 978-0203758878.

STANTIAL, S., DALE, K., CALIZO, F., SERVENTI, L. Application of pulses cooking water as functional ingredients: The foaming and gelling abilities. *European Food Research and Technology [online]*. 2018, 244, 97-104

STASIAK, J., STASIAK, D., LIBERA, J. The potential of aquafaba as a structure-shaping additive in plant-derived food technology. *Applied Sciences*, 2023, 13.7: 4122.

STEINHAUSEROVÁ, I. *Produkce a zpracování drůbeže, vajec a medu*. 1. vyd. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita, 2003. ISBN 80-7305-462-0.

ŠEBKOVÁ, A., ZÍMA, Z. *Praktické dětské lékařství: Druhé, přepracované a doplněné vydání*. Česko: Grada Publishing, 2023. ISBN: 9788027137411.

TIEFENBACHER, F. Glossary of Terms in Wafers, Waffles and Adjuncts. The Technology of Wafers and Waffles II. 2019.

TSYKHANOVSKA, I., YEVLASH, V., TRISHCH, R., LAZARIEVA, T., ALEXANDROV, A., NIKULINA, A. Functional and technological properties of food additive “Magnetofood” in production of shaped jelly marmalade on agar and pectin. *Food Science and Technology*. 2021, roč. 15, s. 143–154.

TUFARO, D., CAPPALÀ, C. Chickpea cooking water (Aquafaba): Technological properties and application in a model confectionery product. *Food Hydrocolloids*, 2023, 136: 108231.

XIAOLI, X., LIYI, Y., SHUANG, H., WEI, L., YI, S., HAO, M., XIAOXIONG, Z. Determination of oligosaccharide contents in 19 cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds by high performance liquid chromatography. *Food Chemistry*. 2008, 111(1), 215–219.

XU, J., MA, Z., REN, N., LI, X., LIU, L., HU, X. Understanding the multi-scale structural changes in starch and its physicochemical properties during the processing of chickpea, navy bean, and yellow field pea seeds. *Food Chemistry*, 2019.289, 582-590.

YANG, S., BALDWIN, R. Functional properties of eggs in foods. In: *Egg science and technology*. Boca Raton: CRC Press, 2017, pp. 405–463. ISBN 978-0203758878.

YAZICI, G., OZER, M. A review of egg replacement in cake production: Effects on batter and cake properties. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 111: 346-359.

YAZICI, G., TASPINAR, T., OZER, M. Aquafaba: A multifunctional ingredient in food production. In: *Biology and Life Sciences Forum*. MDPI, 2022, s. 24.

ZVÁRA, K. Biomedicínská statistika IV. Základy statistiky v prostředí R.vyd.1., Praha: Karolinum, 2013, 259 s. ISBN 978-80-246-2245-3.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Diagram výroby lehké šlehané hmoty [zpracováno podle Půlpánová, 2001; vytvořeno v Canva.com].....	14
Obr. 2 - Diagram výroby těžké šlehané hmoty [zpracováno podle Půlpánová, 2001; vytvořeno v Canva.com].....	15
Obr. 3 - Diagram výroby nahřívané šlehané hmoty [zpracováno podle Půlpánová, 2001; vytvořeno v Canva.com].....	15
Obr. 4 - Diagram výroby speciální šlehané hmoty [zpracováno podle Půlpánová, 2001; vytvořeno v Canva.com].....	16
Obr. 5 – Výrobky z aquafaby [zdroj vlastní; vytvořeno v Canva.com].....	30
Obr. 6 – Sušená aquafaba od prodejce výrobce Vítka.....	31
Obr. 7 – Vyrobené vzorky	36
Obr. 8 – Simulace ideální křivky střižního testu	37
Obr. 9 – měření tvrdosti laskonky za použití Warner – Bratzlerova nože [zdroj: vlastní] ..	38
Obr. 10 – grafické znázornění Lab* modelu [převzato: Kulcu, 2018; upraveno v Canva].	39
Obr. 11 – Přístroj použitý k měření barevných charakteristik laskonek [zdroj: vlastní]	40
Obr. 12 – Srovnání maximální síly stříhu mezi vzorky a v čase	47
Obr. 13 – vzorky laskonek připravených pro měření barevných charakteristik.....	49
Obr. 14 – nenazdobené vzorky pro testování	50
Obr. 15 – vzorky naplněné karamelovým máslovým krémem.....	50
Obr. 16 – vzorky předložené hodnotitelům	51
Obr. 17 – objem a zkapalnění pěny v čase 0 a po 2 hodiny.....	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Obecné složení slepičího vejce velikosti M [převzato: Saláková, 2014]	17
Tab. 2 – Přehled využití vajec při výrobě potravin [převzato: Yang et al., 2017]	19
Tab. 3 – Mezifázové charakteristiky hlavních proteinů vaječného bílku	21
Tab. 4 – Přehled bílkovinných alergenů [převzato: Caffareli, 2022]	22
Tab. 5 – Obsah sušiny z vody vařené cizrny [převzato: Helal, Nassef, 2021]	25
Tab. 6 – Srovnání chemického složení aquafaby a vejce [převzato: Helal, Nassef, 2021] ..	26
Tab. 7 – Průměrné hodnoty naměřených maximálních stříhových sil a délky pohybu nože pro jednotlivé série v čase 24 hodin po výrobě	45
Tab. 8 – průměrné hodnoty $L^*a^*b^*$ pro jednotlivé série	49
Tab. 9 – objemy našlehaných pěn v čase 0 a zkapalnění vzorku po 2 hodinách	53
Tab. 10 – Funkční vlastnosti vaječného bílku a různých typů aquafaby	53

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

I_s	Index šlehatelnosti
$I_{trv.}$	Index trvanlivosti
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlení
AQF	Aquafaba
kDa	Kilodalton
LEA	Proteiny pozdní embryogeneze

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výsledky měření maximální střižní síly pro jednotlivé vzorky u všech sérií

Příloha P II: Statistické vyhodnocení Duo – trio testu

PŘÍLOHA P I:

Maximální střížní síly pro jednotlivá měření série vaječné bílky

Měření číslo	Síla potřebná k rozlomení laskonky <i>F [N]</i>		Délka <i>l[mm]</i>	
	Čerstvé	14 dní	Čerstvé	14 dní
1	6,136	5,521	1,487	1,594
2	11,317	4,008	1,488	1,404
3	7,948	5,174	1,624	1,464
4	11,165	7,426	1,466	1,467
5	10,193	5,820	1,453	1,532
6	8,005	10,029	1,352	1,389
7	8,587	7,473	1,358	1,279
8	6,041	3,269	1,479	1,412
Průměrná hodnota:	8,674	6,090	1,463	1,442
Směrodatná odchylka:	2,065	2,163	0,085	0,096
Směrodatná odchylka průměru:	0,730	0,765	0,030	0,034
Zápis výsledků:	(8,7 ± 0,8)	(6,1 ± 0,8)	(1,46 ± 0,05)	(1,44 ± 0,04)

Maximální střížní síly pro jednotlivá měření série vývar ze semen cizrny

Měření číslo	Síla potřebná k rozlomení laskonky <i>F [N]</i>		Délka <i>l[mm]</i>	
	Čerstvé	14 dní skladované	Čerstvé	14 dní
1	8,000	2,603	1,472	1,452
2	9,814	4,303	1,422	1,264
3	6,484	1,976	1,359	1,328
4	10,744	2,475	1,383	1,569
5	11,260	2,052	1,632	1,433
6	11,455	2,495	1,542	1,537
7	9,282	3,680	1,488	1,409
8	8,554	1,514	1,349	1,352
Průměrná hodnota:	9,449	2,637	1,446	1,418
Směrodatná odchylka:	1,725	0,922	0,098	0,103
Směrodatná odchylka průměru:	0,610	0,326	0,035	0,037
Zápis výsledků:	(9,4 ± 0,7)	(2,6 ± 0,4)	(1,45 ± 0,04)	(1,42 ± 0,04)

Maximální střižní síly pro jednotlivá měření série AQF z nálevu konzervované cizrny

Měření číslo	Síla potřebná k rozlomení laskonky <i>F [N]</i>		Délka <i>l [mm]</i>	
	Čerstvé	14 dní skladované	Čerstvé	14 dní
1	13,034	9,216	1,481	1,447
2	14,651	13,042	1,404	1,276
3	8,095	12,060	1,376	1,291
4	9,424	6,857	1,475	1,386
5	9,462	9,656	1,522	1,502
6	5,774	7,585	1,355	1,424
7	8,564	6,659	1,472	1,340
8	13,270	5,707	1,475	1,465
Průměrná hodnota:	10,284	8,848	1,425	1,391
Směrodatná odchylka:	3,048	2,643	0,059	0,083
Směrodatná odchylka průměru:	1,078	0,935	0,021	0,029
Zápis výsledků:	(10,28 ± 1,08)	(8,8 ± 1,0)	(1,43 ± 0,03)	(1,39 ± 0,03)

PŘÍLOHA P II: STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DUO – TRIO TESTU; F – TEST

1. Zadání hodnot:

Počet správných odpovědí: $nS = 9$

Počet nesprávných odpovědí: $nN = 8$

Celkový počet hodnotitelů: $n = 17$

Hladina významnosti: $\alpha = 0,05$ (platí, jelikož se hodná o zkoušku s nucenou volbou)

2. Stanovení hypotézy-H: $A \equiv B \rightarrow$ pravděpodobnost $\pi = \frac{1}{2}$

3. Stanovení alternativní hypotézy-A: $A \text{ non } B \rightarrow$ pravděpodobnost $\pi > \frac{1}{2} \rightarrow nS > nN$

4. Výpočet testového kritéria: $F = nS / (n - nS + 1) = 9 / (17 - 9 + 1) = 1$

5. Výpočet stupně volnosti: $V1 = 2(n - nS + 1) = 2(17 - 9 + 1) = 18$

$$V2 = 2nS = 2 \cdot 9 = 18$$

6. Výpočet kritického oboru: $F \geq F_{1-\alpha}(V1; V2)$

$$1 \geq F_{0,95}(18; 18)$$

$$1 \geq 2,217 \text{ (funkce v excel FINV – doplněno } 0,95; 18; 18)$$

7. Zhodnocení kritického oboru:

Kritický obor neplatí $\rightarrow$ hypotézu nezamítám

8. Závěr

S 95 % spolehlivostí se mi nepodařilo prokázat, že mezi vzorky laskonky A a laskonky B, existuje statisticky významný rozdíl v chuti.