

Využití odpadních biopolymerů pro aplikace s vysokou přidanou hodnotou

Magdalena Žalková

Bakalářská práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Magdalena Žalková**
Osobní číslo: **T18864**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Využití odpadních biopolymerů pro aplikace s vysokou přidanou hodnotou**

Zásady pro vypracování

1. V teoretické části se věnujte problematice biopolymerů získaných jako vedlejší produkty zemědělské výroby.
2. V praktické části srovnajte potenciál odpadních proteinů a polysacharidů jako obalových materiálů k přípravě mikročástic.
3. Získané výsledky zpracujte, přehledně uspořádejte a diskutujte.

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

Seznam doporučené literatury:

1. MISHRA, Munmaya K. *Handbook of encapsulation and controlled release*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an Informa business, 2016. ISBN 978-1-4822-3232-5.
2. NGUYEN, Van Tang, *Recovering Bioactive Compounds from Agricultural Wastes*, John Wiley & Sons, 2017.
3. GALANAKIS, Charis M., ed. *Food waste recovery: processing technologies and industrial techniques*. Amsterdam: Academic Press is an imprint of Elsevier, [2015], xx, 392 s. ISBN 978-0-12-800351-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Veronika Mikulcová, Ph.D.**
Centrum polymerních systémů

Datum zadání bakalářské práce: **1. února 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Jana Navrátilová, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....

podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje využití odpadních biopolymerů, konkrétně glutenu, pro aplikace s vysokou přidanou hodnotou. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část popisuje současné problémy s potravinovým odpadem a potravinovými ztrátami. Dále uvádí možné aplikační formy s přidanou hodnotou, emulze a mikročástice, umožňující opětovné zhodnocení biopolymerů ze zemědělských vedlejších produktů. Praktická část je věnována nejprve přípravě a charakterizaci modelových emulzí stabilizovaných glutenem. Následně je ověřen enkapsulační potenciál glutenu k přípravě glutenových mikročástic metodou sprejového sušení. Připravené mikročástice jsou charakterizovány z hlediska morfologických a fyzikálně-mechanických vlastností. Rovněž je sledován vliv procesních parametrů, jako jsou například teplota, obsah oleje nebo pH prostředí na úspěšnost procesu sprejového sušení.

Klíčová slova: zemědělské vedlejší produkty, pšeničný gluten, emulze, sprejové sušení

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the utilisation of waste biopolymers, particularly gluten, for high added value applications. The work is divided into theoretical and practical part. The theoretical part describes the current problems of food waste and food losses. It also gives a summary of the promising product forms, emulsions and microparticles, intended for valorisation of agricultural biopolymeric by-products. The practical part is devoted to a development and characterization of model emulsions stabilized by gluten. Subsequently, the encapsulation potential of gluten for the preparation of gluten microparticles by spray drying is assessed. Microparticles obtained are characterized in terms of their morphological and physical-mechanical properties. Experimental part also deals with the effects of processing parameters such as temperature, oil content or different pH.

Keywords: agriculture by-product, wheat gluten, emulsions, spray drying

Ráda bych na tomto místě poděkovala Ing. Veronice Mikulcové Ph.D., za vedení bakalářské práce, cenné rady, ochotu, čas a trpělivost, kterou mi věnovala.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 PROBLEMATIKA VYUŽITÍ VEDLEJŠÍCH ZEMĚDĚLSKÝCH PRODUKTŮ	11
1.1 PLÝTVÁNÍ POTRAVINAMI.....	11
1.2 POTRAVINOVÝ ŘETĚZEC	11
1.3 VYHLÍDKY.....	12
1.3.1 Aplikace s vysokou přidanou hodnotou	13
1.4 STRATEGIE ŘÍZENÍ A VALORIZACE	14
1.4.1 Politika v Evropské unii	14
2 KLASIFIKACE ZEMĚDĚLSKÝCH ODPADNÍCH PRODUKTŮ	15
2.1 OBILOVINY.....	15
2.1.1 Stavba obilného zrna	17
2.1.2 Mletí obilí.....	18
2.1.3 Pšeničný gluten (lepek).....	19
3 ZHODNOCENÍ BIOPOLYMERŮ PRO APLIKACE S VYSOKOU PŘIDANOU HODNOTOU.....	21
3.1 EMULZE.....	21
3.1.1 Emulze typu olej ve vodě (O/W)	23
3.1.2 Emulze typu voda v oleji (W/O).....	23
3.1.3 Emulze typu olej ve vodě v oleji (O/W/O)	24
3.1.4 Emulze typu voda v oleji ve vodě (W/O/W).....	24
3.1.5 Emulgátory	25
3.1.6 Příprava emulzí	25
3.2 PŘÍPRAVA MIKROČÁSTIC MIKROENKAPSULACÍ.....	26
3.2.1 Sprejové sušení.....	27
3.2.2 Postup při sprejovém sušení.....	29
3.2.3 Výhody sprejového sušení	29
4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	30
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	32
5 CÍL PRÁCE	33
6 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE, ZAŘÍZENÍ A METODY	34
6.1 CHEMIKÁLIE.....	34
6.2 POMŮCKY A ZAŘÍZENÍ	34
6.3 METODY.....	34
6.3.1 Příprava emulzí a jejich charakterizace.....	34
6.3.2 Příprava glutenových částic a jejich charakterizace.....	35

7	VÝSLEDKY A DISKUZE	38
7.1	ENKAPSULAČNÍ ÚČINNOST EMULZÍ.....	38
7.2	FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÉ VLASTNOSTI NASPREJOVANÝCH ČÁSTIC.....	41
7.2.1	Výtěžnost sprejování.....	41
7.2.2	Rozpustnost částic ve vodě.....	43
7.2.3	Rozpustnost částic v prostředí o různém pH.....	43
7.2.4	Stanovení sušiny.....	Chyba! Záložka není definována.
7.2.5	Stanovení hustoty částic.....	45
7.2.6	Velikost částic.....	45
7.3	MORFOLOGICKÉ VLASTNOSTI NASPREJOVANÝCH ČÁSTIC.....	48
7.3.1	Vizuální charakteristika.....	48
7.3.2	SEM analýza.....	50
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM TABULEK	64

ÚVOD

V současné době se celosvětovým problémem stává plýtvání potravinami a nevyužitelnost potravinového odpadu, kvůli čemuž neustále narůstají potravinové ztráty. Východiskem tohoto globálního problému může být využití vedlejších zemědělských produktů na aplikace s přidanou hodnotou. Mezi takové sekundární produkty lze zařadit zejména ovoce, zeleninu, a také obiloviny, jejichž problematika opětovného využití je hlavním předmětem této bakalářské práce.

Potravinový odpad ze zemědělské produkce tvoří až 30 % obilovin, 40–50 % ovoce a zeleniny, 20 % masa a mléčných výrobků, spolu s 35 % ryb, což zároveň přináší významné ekologické problémy: zabírá až 19 % skládkových prostor a zvyšuje riziko nebezpečného znečištění [2]. Dobrou zprávou je, že tyto odpady mohou najít druhotné využití. Výhody jejich opětovné aplikace jsou především levnost, snadná dostupnost, funkční vlastnosti a udržitelnost.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo ověřit enkapsulační potenciál pšeničného proteinu glutenu k přípravě emulzí a mikročástic. Gluten by tak mohl nahradit běžně používané obalové materiály, zejména arabskou gumu, jenž je drahá, není nevyčerpatelná a musí se dovážet.

I. **TEORETICKÁ ČÁST**

1 PROBLEMATIKA VYUŽITÍ VEDLEJŠÍCH ZEMĚDĚLSKÝCH PRODUKTŮ

Potravinový odpad je jednou z hlavních složek pevného organického odpadu. Odhaduje se, že potravinový odpad produkovaný každou osobou je mezi 124 až 154 kg ročně a celosvětová jedlá potravinová ztráta činila 1,3 miliardy tun [1].

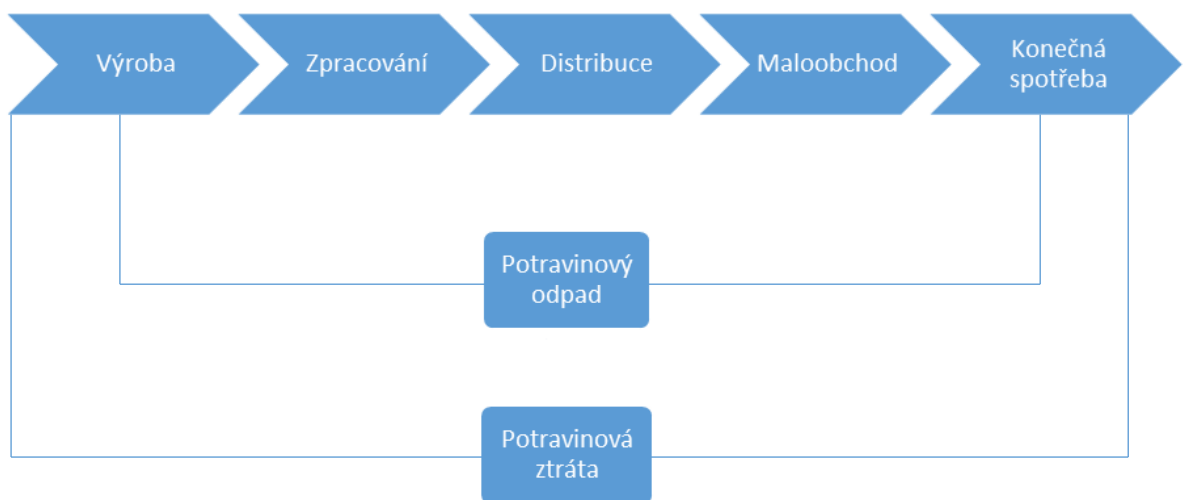
Kvantitativně obsahuje potravinový odpad 30 % obilovin, 40–50 % okopanin, ovoce a zeleniny, 20 % olejnatých semen, masa a mléčných výrobků, spolu s 35 % ryb. Zároveň přináší významné ekologické problémy: zabírá až 19 % skládkových prostor a následně zvyšuje riziko nebezpečného znečištění půdy a podzemních vod únikem organických sloučenin [2].

1.1 Plýtvání potravinami

Plýtvání potravinami zahrnuje jak potravinové ztráty, tak potravinový odpad. Potravinová ztráta je pokles množství nebo kvality potravin v důsledku rozhodnutí a jednání dodavatelů potravin v řetězci, s výjimkou maloobchodníků, poskytovatelů stravovacích služeb a spotřebitelů [3]. Kvantitativní ztráta se týká snížení množství jedlých potravin v celé části dodavatelského řetězce. Kvalitativní ztráta znamená ztrátu kalorické a výživné hodnoty, tudíž ztrátu kvality a požitelnosti [4]. Potravinový odpad označuje pokles množství nebo kvality potravin v důsledku rozhodnutí a kroků maloobchodníků, poskytovatelů stravovacích služeb a spotřebitelů [3]. K plýtvání potravinami dochází z mnoha různých příčin, zejména však z technologických, ekonomických nebo společenských důvodů [4].

1.2 Potravinový řetězec

K plýtvání potravinami dochází převážně ve fázi konečného spotřebitele potravinového dodavatelského řetězce (např. na úrovni domácností). Obrázek 1 ukazuje obecný model potravinového dodavatelského řetězce s pěti fázemi, jimiž jsou výroba, zpracování, distribuce, maloobchod a konečná spotřeba [4].



Obrázek 1: Potravinový řetězec a fáze ztráty potravin a výskytu potravinového odpadu [4]

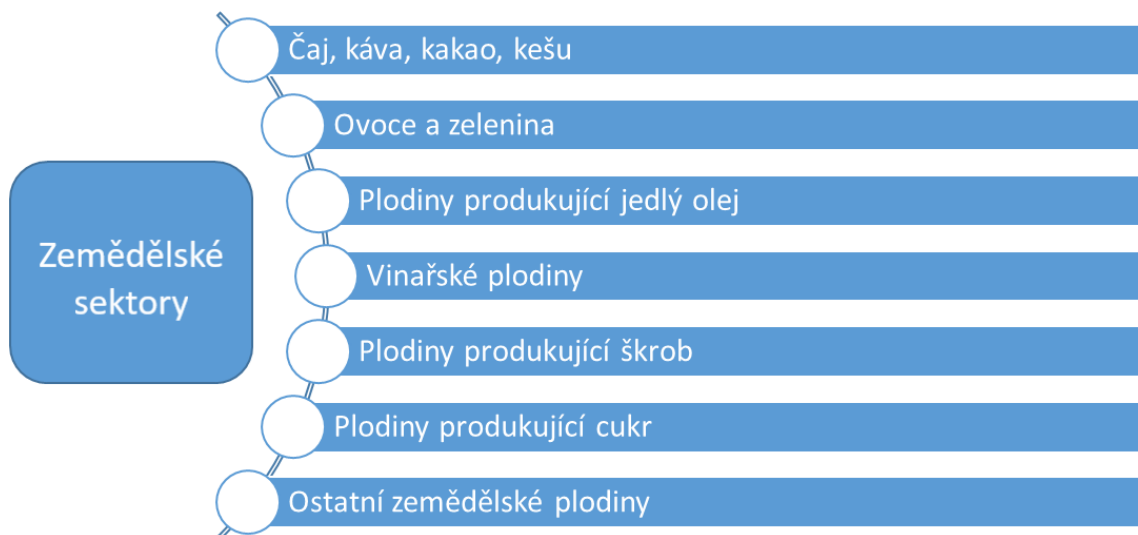
Ztráty v první fázi jsou způsobeny obvykle mechanickým poškozením nebo rozlitím během sklizně. Ke ztrátě potravin ve fázi posklizňové manipulace dochází v důsledku degradace, nedostatku skladovacích zařízení a přepravy mezi farmami a distribucí. Během skladování dochází ke značnému úbytku potravin v důsledku škůdců a mikroorganismů. Ve fázi distribuce dochází k plýtvání potravinami kvůli nedostatku vhodných přepravních metod, nevhodnému balení či časovému omezení. Ve fázi maloobchodu označujeme potravinovou ztrátu jako potravinový odpad, protože k ní dochází hlavně díky vědomému rozhodnutí vypustit stále bezpečné a výživné jídlo. Kromě toho vzniká potravinový odpad i na úrovni spotřebitele kvůli špatným nákupním návykům, nedostatku povědomí a znalostí o účinném používání potravin [4].

1.3 Vyhledky

Až do konce 20. století nebyly potravinové ztráty a odpady znepokojující. Hlavní politikou bylo především zvýšit produkci potravin, aniž by došlo ke zlepšení efektivní účinnosti potravinových systémů. Tato skutečnost zvýšila produkci ztracených nebo zbytečných potravin v dodavatelských řetězcích. V 21. století již vyžadovala zvyšující se poptávka po zpracovaných potravinách identifikaci konkrétních příležitostí, jak zabránit vyčerpání přírodních zdrojů a snížit ztráty potravin a odpadů [4].

1.3.1 Aplikace s vysokou přidanou hodnotou

Zejména zemědělství produkuje velké množství odpadů, které obsahují významné množství cenných bioaktivních sloučenin a odpadních biopolymerů (Obrázek 2) [5].



Obrázek 2: Hlavní zemědělská odvětví při získávání bioaktivních sloučenin [5]

Potravinářský průmysl produkuje obrovské množství odpadu, který se skládá převážně z organických zbytků zpracovávaných surovin. Většinu těchto zbytků lze použít k získání produktů s přidanou hodnotou [4].

1.3.1.1 Enkapsulace

Odpadní organické zbytky lze využít při procesu enkapsulace. Enkapsulaci lze definovat jako proces zachycení jedné látky (aktivní látky) v jiné látce (nosiči), která tvoří bariéru aktivní látky proti nežádoucím účinkům (vlhko, teplo, extrémní podmínky), čímž zvyšuje stabilitu a zlepšuje životaschopnost aktivní látky [6].

Na trhu existuje mnoho dostupných potahovacích a zapouzdřovacích látek pro enkapsulaci výživných látek s přidanou hodnotou pro potraviny. Nosná látka by měla mít tyto vlastnosti: schopnost vytvářet film, emulgační vlastnosti, biologická odbouratelnost, odolnost vůči časnému trávení, nízká hygroskopičnost a rozumná cena. Obecně jediný potahový materiál není sám o sobě dostatečný k zajištění takových vlastností, proto se využívá směsi potahových materiálů. Dva běžné potahové materiály, které se v současné době používají, jsou Maltodextrin (MD) a arabská guma (AG). MD se využívá díky své nízké viskozitě a

vysoké rozpustnosti ve vodě. AG se používá především proto, že inhibuje růst patogenních organismů [7].

1.4 Strategie řízení a valorizace

Rozlišujeme 3 hlavní spouštěcí faktory pro udržitelné nakládání s odpady a valorizaci potravinového odpadu na globální úrovni:

1. Obnovené a přísné právní předpisy v oblasti životního prostředí s rostoucími obavami o životní prostředí,
2. Udržitelné využívání přírodních zdrojů prostřednictvím technologického rozvoje,
3. Náklady na likvidaci odpadu [4].

Existuje několik technologií likvidace potravinového odpadu. V současné době jsou hlavními metodami zpracování anaerobní digesce a skládkování. Obě tyto technologie mají nicméně problémy s dlouhými cykly zpracování a emisemi skleníkových plynů a stále existuje určité množství zbytků, které nelze zpracovat. Potenciální alternativní metodou se v současnosti postupně stává pyrolýza, kterou se rozumí tepelný rozklad organických látek v odpadu bez přístupu kyslíku [1].

V potravinářském odpadu je obsah sacharidů obvykle 30-60 %, bílkovin 10-20 % a lipidů 10-35 %. V tomto ohledu se již dříve ukázala možnost znovu využít tyto živiny pomocí technik biokonverze. Spíše než konvenční zpracování odpadu (spalování za účelem energetického využití, krmení nebo kompostování) je myšlenkou udělat z potravinového odpadu obnovitelný zdroj pro generování udržitelných užitečných produktů [2].

1.4.1 Politika v Evropské unii

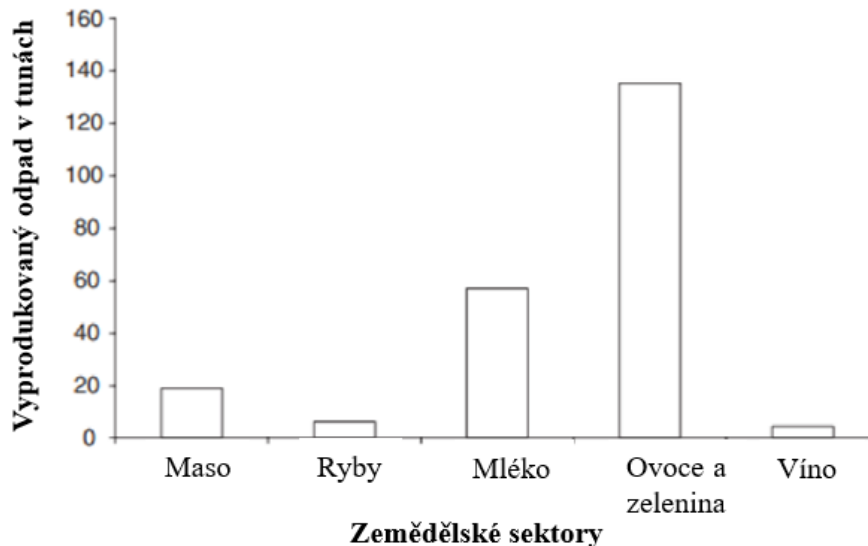
Skládkování a spalování s nízkým využitím energie byla definována jako nejhorší ekologická varianta. Prioritní strategií je předcházení a minimalizace odpadu. Byla navržena strategie minimalizace odpadu v Evropské unii:

- 1) předcházení vzniku odpadů (efektivnější výrobní technologie),
- 2) vnitřní recyklace výrobního odpadu,
- 3) zdrojově orientované zlepšení kvality odpadu,
- 4) opětovné použití výrobků nebo jejich částí ke stejnému účelu [4].

2 KLASIFIKACE ZEMĚDĚLSKÝCH ODPADNÍCH PRODUKTŮ

Významný zdroj biopolymerů představují vedlejší zemědělské produkty. Odpady pocházející z různých zemědělských odvětví vyprodukované v Evropě (viz obrázek 3) lze rozdělit do dvou hlavních skupin a sedmi podkategorií:

- 1) Rostlinný původ:
 - a) Obiloviny
 - b) Kořen a hlízy
 - c) Olejniny a luštěniny
 - d) Ovoce a zelenina
- 2) Živočišný původ:
 - a) Masné výrobky
 - b) Ryby a mořské plody
 - c) Mléčné výrobky [4].



Obrázek 3: Potravinový odpad v jednotlivých sektorech vyprodukovaný v Evropě [upraveno podle 8]

2.1 Obiloviny

Pro potravinářský průmysl je typické, že určitý podíl surovin se stává odpadem ještě před samotným zpracováním, zejména z důvodu nesplnění hygienických požadavků. Další potravinářské produkty a odpady vznikají při samotném technologickém procesu. Při zpracování obilovin se jedná zejména o otruby, šrot, klíčky, krmné mouky, zemitý prach

z filtrů a další nezužitkovatelný odpad. Pro vedlejší produkty a odpady při zpracování obilovin je typické, že obsahují celou řadu vysoce cenných komplexních složek, z nichž mnohé mohou být využity pro aplikace s vysokou přidanou hodnotou. V tabulce 1 jsou uvedeny příklady těchto významných bioaktivních sloučenin, na něž se výzkum zaměřuje. [4], [9].

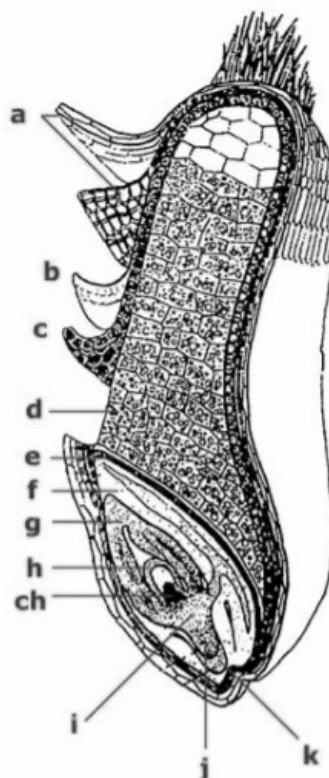
Tabulka 1: Příklad obilovin s vysokou přidanou hodnotou [upraveno podle 5]

Plodiny	Bioaktivní sloučeniny	Aplikace
Pšenice	Vitamin E, karotenoidy, chininy, xylóza, polyfenoly	Živiny, antioxidanty
Rýže	Tocotrienoly-tokoferoly, γ -oryzanol, β -sitosterol	Anticholesterol
Ostatní	Lignin	Aplikace s vysokou přidanou hodnotou

Pšeničná, rýžová a kukuřičná drť jsou nejhojnější zemědělské zbytky lignocelulózových biomas na světě. Pšeničná drť se skládá především z celulózy (28-39 %), hemicelulózy (23-24 %), ligninu (16-25 %) a menšího obsahu popela a bílkovin [4].

Vzhledem k náplni praktické části bakalářské práce, bude pozornost zaměřena na pšeničné bílkoviny, konkrétně gluten. Pšeničné bílkoviny představují vedlejší produkt výroby pšeničného škrobu. Tyto proteiny lze použít jako přísadu v potravinářském průmyslu, a to jak z hlediska nutričních, tak funkčních vlastností a také z důvodu nízkých nákladů [4].

2.1.1 Stavba obilného zrna



Obrázek 4: Anatomická stavba obilného zrna: a – oplodí, b – osemení, c – vrstva aleuronových buněk, d – endosperm, e – vrstva palisádových buněk, f – štítek, g – koleoptile, pochva listu, h – základ 1. pravého listu, ch – vzrostný vrchol, i – mezokotyl, j – základ kořínku, k – kořenová pochva [10].

Morfologická skladba zrna všech obilovin, kterou znázorňuje obrázek 4, je přibližně shodná. Zrna se liší především tvarem, velikostí a podílem jednotlivých vrstev. Každá obilka se skládá z obalových vrstev, endospermu a klíčku. Hmotnostní podíl jednotlivých částí zrna je rozdílný u jednotlivých obilovin a je proměnlivý vlivem vnitřních i vnějších faktorů. Srovnání pšenice a kukuřice z hlediska průměrných hmotnostních podílů částí zrna [10].

Tabulka 2: Srovnání průměrných hmotnostních podílů jednotlivých částí zrna pšenice a kukuřice [11]

Část zrna	Podíl v obilovině (%)	
	Pšenice	Kukuřice
Otruby (oplodí a osemení)	15	5
Endosperm	82	82
Klíček	3	13

Obalové vrstvy tvoří 8–12,5 % hmotnosti zrna. Jsou tvořeny několika vrstvami buněk, jež chrání klíček a endosperm před vysycháním a mechanickým poškozením. Obalové vrstvy mají dvě hlavní části – oplodí a osemení. Obalové vrstvy jsou cenným zdrojem vlákniny (celulosa a hemicelulosa) a minerálních látek (vápníku, železa, hořčíku, křemíku a fosforu) [10].

Endosperm (vnitřní obsah zrna) představuje největší podíl zrna (84–86 %) a je technologicky nejvýznamnější částí. Je tvořen velkými hranolovitými buňkami a jemnou buněčnou blánou. Obsahuje hlavně škrob (téměř 75 %) a bílkoviny (10 %) [10].

Klíček (embryo) tvoří nejmenší podíl zrna. Je zárodkem nové rostliny a nositelem genetických informací. Je cenným zdrojem tuků, jednoduchých cukrů, bílkovin, enzymů a vitamínů rozpustných v tucích a vitamínů skupiny B. Kromě krmných účelů mají obilné klíčky uplatnění v potravinářském a farmaceutickém průmyslu [10].

2.1.2 Mletí obilí

Vlastní mletí je složitý proces, jehož úkolem je oddělit obalové vrstvy od endospermu a rozmělnit endosperm na jemné podíly. Celý proces se skládá z několika základních technologických etap, zahrnujících vždy jednu drtící operaci s následným tříděním zrn podle velikosti a jakosti [9].

V současné mlýnské technologii se rozlišují dva základní způsoby mletí obilí:

1. mletí na mouky, přičemž je technologický proces veden k získání maximálního množství mouky. Používá se při mletí žita.
2. mletí na krupice, kdy je technologický proces usměřován k získání maximálního množství krupic. Používá se při mletí pšenice.

Kombinace obou způsobů se uplatňují při mletí ječmene, kukuřice či sóje [9].

Celý proces mletí se dělí na:

1. **šrotování**, jehož účelem je šetrné otevření zrna a oddělení endospermu od obalových vrstev.
2. **luštění krupic**, což znamená drcení krupic obsahujících část slupky, a to takovým způsobem, aby slupka zůstala neporušená a dala se na sítěch odstranit.
3. **Vymílání**, při němž se částice čistého endospermu rozmělní na požadovanou velikost a ze slupek se odstraní poslední tenká vrstva endospermu.

Mezi stroje, které uvedené operace zajišťují, patří válcové stolice, rovinné vysévače a stroje na čištění krupic [9].

2.1.3 Pšeničný gluten (lepek)

Gluten je termín, který souhrnně označuje zásobní proteiny pšenice. Všechny glutenové proteiny obsahují opakující se aminokyselinové sekvence, které jsou bohaté na prolinové a glutaminové zbytky. Glutenové proteiny obsahují přibližně 70–80 % celkového množství proteinu v zrně zralé pšenice a jsou rozděleny do třídy gliadinu a gluteninu [12].

Obě proteinové frakce jsou heterogenní. Proteiny ve třídě gliadinů jsou charakterizované rozpustností v ethanolu a lze je rozdělit na α -, β -, γ -, ω -gliadiny. Naopak proteiny gluteninu jsou v ethanolu nerozpustné [12].

Gliadiny a gluteniny se spojují a vytváří síť, která dodává pružnost jakékoliv matrici, jež ji obsahuje [13].

Pšeničnou mouku lze rozdělit na jednotlivé frakce: na materiál rozpustný ve vodě, vlákninu, škrob a gluten mokřím mletím, které využívá k oddělení frakcí značné množství vody. Tradiční mokré mletí pšenice využívá mouku, která se nejprve přemění na těsto, které se poté hněte, zatímco se promyje přebytečnou vodou. Prání hněteného těsta odstraní škrob a materiál rozpustný ve vodě. Zbývající hmota těsta je primárně glutenový protein. Tato jednoduchá metoda se často označuje jako Martinova metoda [14].

Izolovaná frakce glutenového proteinu bez škrobu bývá označována jako „vitální gluten“ neboli vypraný lepek, který je charakteristický svými viskoelastickými funkčními vlastnostmi. Vitální pšeničný gluten se používá jako prostředek v pekárenském průmyslu a také jako přísada do snídanových cereálií, masa, uzenin, nudlí i do krmiv pro domácí zvířata [14].

Pšeničný gluten se tedy používá v různých potravinářských, ale i nepotravinářských aplikacích: lze z něj odlévat biologicky odbouratelné filmy nebo jej lze použít jako emulgátor ke stabilizaci emulzí typu olej ve vodě, a to díky vysokému obsahu hydrofobních aminokyselin [15].

Účinnost glutenu jako emulgátoru je však omezena kvůli jeho špatné rozpustnosti ve vodě. Ta je přičítána nedostatku ionizovatelných skupin v hlavních glutenových frakcích a vysoké molekulové hmotnosti zejména gluteninové frakce. K zajištění účinného emulgátoru je však nutná dobrá rozpustnost ve vodě. Stabilizace většího množství dispergovaného oleje bude

možná pouze tehdy, když bude možné rozpustit dostatečné množství emulgátoru ve vodném kontinuálním médiu [15].

Molekulární strukturu proteinů je možné změnit polaritou rozpouštědla nebo variací pH. Čím nižší je pH, tím lepší je rozpustnost glutenu [15].

3 ZHODNOCENÍ BIOPOLYMERŮ PRO APLIKACE S VYSOKOU PŘIDANOU HODNOTOU

V současnosti vzrůstá zájem o zpětné získávání a druhotné využití nejen cenných bioaktivních sloučenin (např. vitaminy, polyfenoly, flavonoidy, pigmenty, esenciální oleje, aj.), ale také vedlejších produktů na bázi biopolymerů jako jsou rostlinné a živočišné polysacharidy (např. kukuřičný, bramborový škrob), proteiny (např. pšeničné proteiny, syrovátkové proteiny) a hydrokoloidy (pektin, chitosan, želatina) z nekonvenčních zdrojů [4].

Z hlediska funkčních vlastností, proteiny, polysacharidy a hydrokoloidy představují sloučeniny se značným potenciálem, které přispívají ke zlepšení strukturních vlastností a modifikaci hustoty v použitých aplikacích. Mohou být také použity jako enkapsulační činidla pro zapouzdření polárních i nepolárních bioaktivních látek. Proteiny se navíc díky své amfilní povaze uplatňují jako emulgátory [4].

Aby se daly izolované sloučeniny opětovně využít, je třeba zajistit vhodné zpracování do požadované kvality. Konkrétně se jedná zejména o odstranění toxických látek a kontaminantů přítomných v odpadní surovině a jejich zpracování do vhodné formy (kapalina, polotuhá nebo pevná látka) [4].

Tato forma by měla vyvolat specifické zpracovatelské vlastnosti a pozitivně ovlivnit kvalitu konečného produktu. Kromě toho by měla zajistit stabilitu zpětně získaných sloučenin během skladování, distribuce a používání, protože v mnoha případech jsou sloučeniny náchylné k degradaci a ztrátě jejich funkčních vlastností [4].

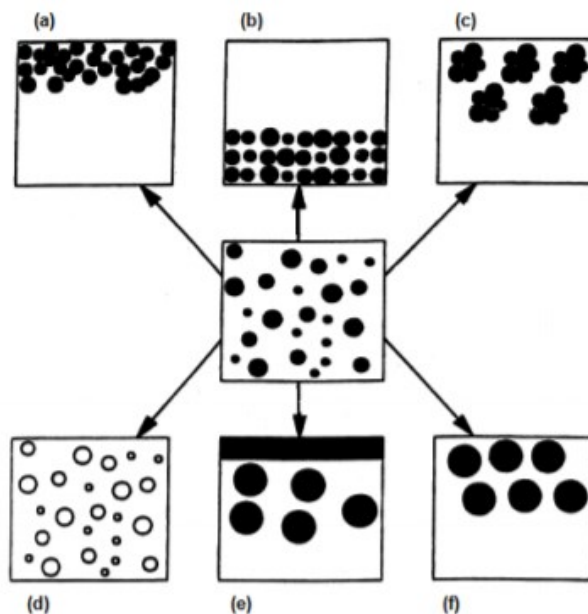
Aktuální základní a aplikovaný výzkum se stále více zaměřuje na porozumění vztahu mezi molekulárními charakteristikami, technologickou funkčností a kvalitativními vlastnostmi potravin v potravinářských systémech s cílem zvýšit jejich výkonnost v komplexních potravinářských výrobcích a dále zvýšit jejich využití [4]. K perspektivním aplikacím s přidanou hodnotou umožňujícím zhodnocení odpadních biopolymerů se řadí jejich použití k přípravě produktů na bázi emulzí a mikročástic.

3.1 Emulze

Emulze je heterogenní systém tvořen dvěma nebo více nemísitelnými kapalinami (obvykle olejem a vodou), kde jedna kapalina (dispergovaná fáze) je rozptýlena jako malé sférické

kapičky v druhé (kontinuální fáze). Kapičky se průměrem obvykle pohybují mezi 100 nm a 100 μm , ale v některých systémech mohou být menší nebo větší [4].

Emulze jsou nestabilní systémy a postupem času se vyvíjí směrem k oddělení dvou fází, které ji tvoří [4]. Tím se zkracuje jejich trvanlivost, což činí stabilitu emulzí kritickou pro další aplikace [16]. K této separaci může dojít v důsledku flokulace (srážení, vločkování), koalescence (splývání disperzních částic ve větší celky), krémování, ale i dalšími mechanismy jako je např. Ostwaldovo zrání (viz obrázek 5). Stabilita se tedy řídí interakcemi mezi kapičkami odvozenými od povrchových sil [4].



Obrázek 5: Mechanismy rozpadu emulze: krémování (a), sedimentace (b), flokulace (c), fázová inverze (d), koalescence (e), Ostwaldovo zrání (f) [17].

Proces krémování může být definován jako shromažďování dispergovaných částic v horní části systému z důvodu jejich nižší hustoty. Na povrchu emulze dojde k vytvoření krémové vrstvy, jejíž tloušťka je dána počáteční koncentrací emulgované fáze a způsobem uložení jednotlivých částic ve vrstvě. Hustota uložení je závislá jednak na polydisperzitě částic (větší částice mají tendenci krémovat rychleji než částice menší) a jednak na povaze interakcí mezi nimi [17].

Při sedimentaci dochází k usazování částic disperzního podílu v dolní části systému. Pohyb částic v gravitačním poli je rovnoměrný, částice padají směrem dolů, je-li jejich hustota větší než hustota disperzního prostředí [17].

Při flokulaci dochází k agregaci kapek do větších celků při zachování jejich individuálního charakteru. Výsledkem jsou agregáty volně vázaných částic, tzv. floky. V mnoha případech jde o reverzibilní proces [17].

Koalescence je proces, při němž dochází ke ztenčování nebo porušení kapalného filmu mezi dispergovanými kapkami, přičemž výsledkem je shlukování dvou nebo více částic do jedné větší, která má ovšem menší celkový povrch. Limitním případem koalescence je úplná separace emulze na dvě rozdílné kapalně fáze [17].

Dojde-li ke změně podmínek, které stabilizují emulzi určitého typu, může dojít k obrácení fází, kdy emulze daného typu např. o/v přechází na emulzi opačného typu v/o, nebo naopak. Příčinou může být fyzikální změna nebo chemická reakce [17].

K Ostwaldovu zrání dochází na základě rozdílu rozpustnosti mezi malými a většími částicemi v emulzích. V průběhu času dochází ke zvětšování průměru částic a současně ke snižování jejich počtu [17].

Podle rozměru částic dispergované fáze se emulze dělí na:

1. makroemulze – mléčné, termodynamicky nestabilní, velikost částic zpravidla 100 až 1000 nm,
2. mikroemulze – transparentní, termodynamicky stabilní, velikost částic 10 až 100 nm,
3. nanoemulze – transparentní, kineticky stabilní, velikost částic 50 až 200 nm [17].

3.1.1 Emulze typu olej ve vodě (O/W)

Emulze typu olej ve vodě (O/W) je systém, ve kterém je olej rozptýlen ve formě kapek ve vodné fázi. Tento druh je jednou z nejčastěji používaných emulzí a je často navržen tak, aby zapouzdřil, chránil nebo řídil uvolňování olejových aktivních látek za účelem zlepšení jejich zacházení, stability a účinnosti [18].

3.1.2 Emulze typu voda v oleji (W/O)

Emulze voda v oleji (W/O) je běžnou formou mnoha systémů bohatých na lipidy, které lze najít v margarínu, másle a pomazánkách. Tyto produkty jsou částečně nebo plně stabilizovány tukovými krystaly, které jsou přítomny na rozhraní olej/voda a v kontinuální fázi. Adsorpce tukových krystalů může ovlivnit velikost kapiček a mechanické aspekty emulze, které jsou rozhodujícími faktory pro kvalitu a stabilitu při skladování emulzí [18].

Existují například i emulze olej v oleji (O/O), které lze popsat jako soustavu složenou z polárního oleje (např. propylenglykol) dispergovaného v nepolární olejové fázi (např. parafinový olej), a naopak [17].

Kromě výše uvedených typů existují tzv. mnohočetné (složené) emulze, které jsou většinou připravovány ve dvou stupních za použití hydrofilního a hydrofobního emulgátoru. Tento typ emulzí je významný zejména v oblasti vývoje systémů pro řízené uvolňování léčiv [17].

3.1.3 Emulze typu olej ve vodě v oleji (O/W/O)

Dvojitě emulze typu olej ve vodě v oleji (O/W/O) jsou disperze sestávající ze samotných emulzí typu olej ve vodě dispergovaných jako kapky ve vnější fázi oleje. Lze je vyrábět v jedностupňovém procesu za použití jednoho surfaktantu. Tento proces je jednoduchý, avšak nenabízí dostatečnou univerzálnost a neumožňuje řízení velikosti globule. Proto se používá proces dvoustupňový. Emulze typu O/W/O jsou vzácnější než emulze typu W/O/W [19].

3.1.4 Emulze typu voda v oleji ve vodě (W/O/W)

Emulze voda v oleji ve vodě (W/O/W) je složený komplexní systém tekutých emulzí, ve kterém dispergované kapičky vody existují v kontinuální olejové fázi jako emulze voda v oleji (W/O). Provádí se pomocí dvoustupňového postupu, protože nabízí samostatné zařízení pro zabudování aktivních materiálů a zajištění úplné kontroly zapouzdřovacích materiálů do vnitřního vodného systému. Tento postup zahrnuje nejprve přípravu primární emulze W/O, po které následuje disperze emulze W/O do pokračující vnější vodné fáze. Tento typ je zajímavý z hlediska svého strukturní složení, ochranu materiálu a vlastnostmi pro kontrolu uvolňování jak vodných, tak v oleji rozpustných bioaktivních materiálů [20].

V praxi se setkáváme s přirozenými i uměle připravenými emulzemi v potravinářském průmyslu, v průmyslu plastických hmot, ve farmacii, kosmetice, v zemědělství a v mnoha jiných oborech. V některých průmyslových odvětvích mohou být emulze nevídaným jevem (například při zpracování ropy), neboť znesnadňují dělení kapalných fází a často zvyšují viskozitu [21].

3.1.5 Emulgátory

Emulgátory jsou povrchově aktivní molekuly, které se používají v emulzích k usnadnění tvorby malých kapiček v homogenizátoru a k zabránění agregaci a růstu kapiček po formování [4].

Výběr emulgátorů je jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují konečnou velikost, disperzitu a stabilitu emulzí [22].

Účinný systém emulgátoru by měl splňovat řadu kritérií, aby se zabránilo koalescenci kapiček a zajistila se dobrá stabilita:

1. Musí být přítomen v dostatečně vysoké koncentraci, aby pokryl veškerý vytvořený povrch.
2. Musí vytvářet povlak kolem povrchů kapiček rychleji, než se kapičky mohou navzájem spojit.
3. Molekuly adsorbovaného emulgátoru musí tvořit potah, který zabrání kapičkám, aby se dostaly do těsné blízkosti a splynuly [4].

Lipofilní emulgátor se musí rozpustit v oleji a stabilizovat emulzi W/O, zatímco hydrofilní se rozpustí ve vodě, aby stabilizoval disperze O/W [20].

Existuje celá řada emulgátorů extrahovaných z potravinových odpadů, které splňují tyto požadavky, ale jejich účinnost při vytváření stabilních emulzí se značně liší. Jedná se zejména o sójový lecitin, hrachové proteiny, obilné proteiny, želatinu a syrovátkové proteiny [4].

3.1.6 Příprava emulzí

Emulze se většinou připravují mechanickou dispergací disperzního podílu v disperzním prostředí za přítomnosti příslušného emulgátoru – emulzifikací. Dispergované kapaliny se intenzívně promíchávají, protřepávají, podrobují se vibracím pomocí míchadel, speciálních emulgátorů, koloidních mlýnů nebo ultrazvuku. Někdy se získané polydisperzní emulze ještě dodatečně homogenizují ve speciálních homogenizátorech. Homogenizací značně stoupne stálost emulze.

Při velmi nízkém mezifázovém napětí dochází k tzv. spontánní emulzifikaci. Samovolné emulgování má významnou úlohu v procesech spojených s trávením a vstřebáváním potravy v organizmech [21].

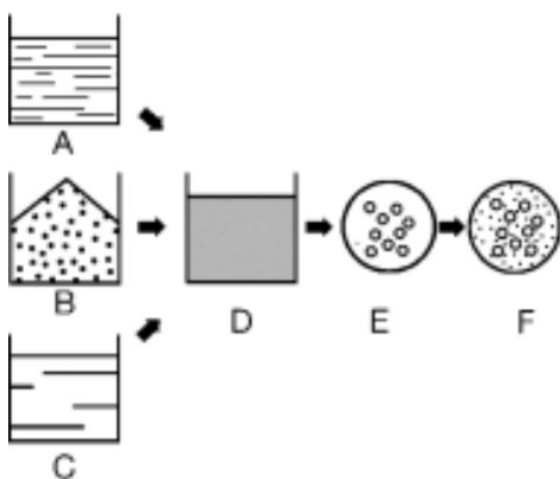
3.2 Příprava mikročástic mikroenkapsulací

Většina bioaktivních sloučenin reaguje na kyslík, světlo nebo teplo, proto je pravděpodobné, že během zpracování nebo skladování ztratí svoji biologickou funkčnost a biologickou dostupnost. K vyřešení tohoto problému se ukázalo jako velmi účinné zapouzdření do mikro- a nanočástic na bázi biopolymerů [23].

Mikroenkapsulace je definována jako proces, při kterém jsou malé částice nebo kapičky obklopeny potahem nebo zapuštěny v homogenní či heterogenní matrici, aby se získaly malé tobolky s mnoha užitečnými vlastnostmi. Schéma mikroenkapsulace je zachyceno na obrázku 6. Mikroenkapsulované přísady jsou zcela obaleny v potahovém materiálu, čímž se původní přísadě udělují užitečné nebo eliminují zbytečné vlastnosti [4].

K zapouzdření lipofilních sloučenin lze použít emulzi typu olej ve vodě (O/W), zatímco k zapouzdření hydrofilních sloučenin lze použít emulzi typu voda v oleji ve vodě (W/O) [23]. Jako další krok v případě mikročástic následuje rozprašování emulze metodou sprejového sušení.

Typické obalové materiály používané k přípravě většiny mikročástic jsou polysacharidy (např. maltodextriny) a hydrokoloidy (např. arabská guma a pektin). K obalovým materiálům získaným z vedlejších zemědělských produktů s potenciálem k přípravě mikročástic se řadí škroby, pektin, syrovátkové proteiny, želatina, obilné proteiny a hrachové proteiny [4].



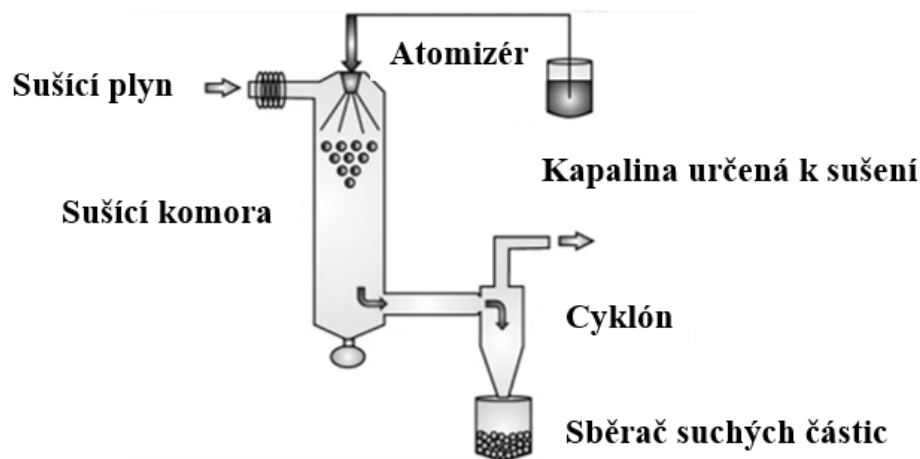
Obrázek 6: Schéma procesu mikroenkapsulace – Emulze (D) je tvořena z kapalně fáze (A), nosiče (B), např. maltodextrin, a filmotvorné látky (C), např. arabská guma. Poté se emulze nastříká na malé kapičky (E) a po odpaření rozpouštědla vzniká pevná matrice [24].

3.2.1 Sprejové sušení

Sprejové sušení je technika, při které se disperze, atomizuje, rozprašuje a suší v komoře proudem ohřátého plynu (obecně vzduch). Tato technika je vhodná pro termolabilní sloučeniny, protože vstupní plynné teplo přichází do kontaktu se vstupním vzorkem, který má vysokou vlhkost, což umožňuje rychlé odpařování rozpouštědla a v důsledku toho ochlazení teploty komory. Sprejová sušárna, jež byla použita v praktické části bakalářské práce, je znázorněna na obrázku 7 a diagram sprejového sušení je zobrazen na obrázku 8 [28].



Obrázek 7: Laboratorní sprejová sušárna Mini Spray Dryer B-290 [26]



Obrázek 8: Diagram sprejového sušení [27]

Prostřednictvím sprejového sušení je možné ovlivnit charakteristiku konečného produktu kalibrací různých parametrů, jako jsou teploty na vstupu a výstupu, rychlost čerpadla, procento aspirace a výběr rozpouštědla. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 3 [28].

Tabulka 3: Účinky parametrů sprejového sušení na částice [28]

Vliv teploty	Vyšší vstupní teploty a malý rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou umožňují získání sušených částic Zvýšení tohoto rozdílu může ovlivnit obsah vody v částicích s vysokou vlhkostí
Čerpadlo	Zvýšení rychlosti čerpadla snižuje výstupní teplotu, což zvyšuje rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou, tudíž se zvyšuje vlhkost produktu
Aspirace	Nízká aspirace snižuje obsah vody v částicích
Rozpouštědla	Rozpouštědla s nízkou teplotou varu se snadno odpařují a umožňují získat sušené částice

Počáteční kapalina přiváděná do postřikovače může být roztok, emulze nebo suspenze. Sušením se produkují velmi jemné prášky (10-50 μm) nebo částice velkých rozměrů (2-3 mm), v závislosti na výchozím vstupním materiálu a provozních podmínkách [4].

Kapacita sušení významně ovlivňuje morfologii částic. Když je odpařování nastříkané kapky dostatečně pomalé, vznikají relativně husté sušené částice, zatímco v případě rychlého odpařování se získají duté částice [25].

Technika sušení rozprašováním má několik aplikací ve farmaceutickém a potravinářském průmyslu. V potravinářském průmyslu se využívá k vytváření nových funkčních potravin, jako jsou nanofunkční potraviny, zapouzdření ovocných vůní a rybího oleje, dále v kosmetice k zapouzdření éterických olejů a parfémů. Sprejové sušení lze použít k získání farmaceutických produktů a formulaci systému pro dodávání léčiva jako pevné disperze pro inhalaci, stabilizaci inzulínu a termolabilní vakcíny [28].

3.2.2 Postup při sprejovém sušení

Aplikace sušení rozprašováním zahrnuje dva základní kroky: přípravu disperze nebo emulze, a následné sušení v sušící komoře. První fází je tvorba jemné a stabilní emulze materiálu jádra ve stěnovém roztoku. Směs, která se má atomizovat, se připraví dispergováním materiálu jádra, který je obvykle hydrofobní povahy, do roztoku potahovacího činidla. Před krokem sušení musí být vytvořena emulze po určitou dobu stabilní, kapičky oleje by měly být spíše malé (1-100 μm) a viskozita by měla být dostatečně nízká, aby zabránila vnikání vzduchu do sušené částice a usnadňovala průchod kapaliny v rozprašovací trysce [4].

3.2.3 Výhody sprejového sušení

Výhod rozprašovacího sušení je mnoho a zahrnuje možnost řídit velikost částic a distribuci velikosti částic, jakož i další charakteristiky částic. Kromě toho je tepelné napětí, kterému jsou proteiny vystaveny během procesu sušení, často zanedbatelné kvůli krátké době pobytu v sušárně. Sprejové sušení je jednostupňovým procesem kontinuálního sušení, při kterém se spotřebuje méně energie než u jiných procesů, což z něj činí atraktivní výrobní proces v průmyslu [29].

4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Pro zapouzdření aktivních látek se v dnešní době používá nejčastěji sprejové sušení. Je to proces, při kterém se kapalný produkt atomizuje proudem horkého vzduchu, a okamžitě získáme prášek. Výhodou této technologie je, že je rychlá a především levná. V potravinářských systémech se používají disperze na bázi vody, proto by měl mít biopolymer vysokou rozpustnost ve vodě [4].

V současné době roste zájem o využití přírodních obalových materiálů k zapouzdřování biologicky aktivních látek. Jedná se zejména o gelotvorné látky, modifikované škroby a proteiny [30]. Výběr vhodného materiálu je v případě sprejového sušení natolik zásadní, že ovlivňuje fyzikálně-chemické vlastnosti výsledného produktu. Vhodný obalový materiál musí být odolný zejména vůči účinkům vnějšího prostředí (vzdušný kyslík, teplota, vlhkost, světlo) [31]. Tyto požadavky se proto odrážejí při testování nových obalových materiálů. Zvláště odpadní proteiny představují v současnosti novou populární skupinu ekologicky šetrných materiálů, které jsou testovány z hlediska enkapsulační schopnosti. Mezi tyto nekonvenční materiály se řadí zejména syrovátkové proteiny, sója, rýže, luštěniny aj. [32].

Konkrétně, Kalusecic a kol. (2017) v rámci své studie použil k enkapsulaci extraktu ze slupek hroznového vína kombinaci maltodextrinu, arabské gumy a odtučněného mléka [33]. Sun-Waterhouse a kol. (2013) použitím čtyř různých vláknitých polymerů jako zapouzdřovacích prostředků (alginát sodný, methylb-cyklodextrin, hydroxypropylmethyl celulóza a inulin) zjistili, že inulin vykazuje vyšší účinnost zapouzdření než kvercetin a vanilin (18,5%; respektive 53,3%) [34]. Belščak-Cvitanović a kol. (2015) použili alginát (5%), pektin (5%), karagenan (2%), modifikovaný kukuřičný škrob (5%), arabskou gumu (2%), guarovou gumu (1%), xanthan (0,5%), kobylkovou gumu (0,5%), syrovátkové bílkoviny (10%), hrachovou mouku (7%), oligofruktózu (10%) nebo inulin (10%) k zapouzdření bioaktivních sloučenin zeleného čaje. Výsledky studie ukázaly, že inulin v kombinaci s pektinem umožnil enkapsulaci až 67,5–82,2 % polyfenolů zeleného čaje [35]. Další aktuální studií představuje práce Navarro-Flores a kol. (2020), kde byly kromě maltodextronu či arabské gumy, použity také nekonvenční obalové materiály. Konkrétně se jednalo o semena *Cajanus*, sójový protein nebo pektin z kakaových slupek [36].

Proto se neustále zkoumají nové materiály a jejich koncentrace, čímž může být účinnost enkapsulace neustále vylepšována. Výsledky ukazují, že směsi zapouzdřovacích látek umožňují vytvoření účinné polymerní matrice s výtěžky mezi 46 a 64 % a účinnost

enkapsulace mezi 65 a 92 %. Právě maltodextrin se sójovým proteinem umožňuje enkapsulační účinnost až 92 %. Na druhé straně maltodextrin a kakaový skořápkový pektin byly účinnějšími ochrannými látkami, vykazujícími větší stabilitu [36].

V rámci předložené bakalářské práce byla otestována enkapsulační schopnost glutenu tvořit modelové mikročástice za využití metody sprejového sušení. Obecně je využití glutenu jako obalového materiálu limitováno jeho omezenou rozpustností ve vodě za neutrálního pH. Toto chování je dáno nedostatkem ionizovatelných skupin v molekule glutenu a jeho molekulovou hmotností. Z výsledků studie van der Schaafa a kol. (2020) je patrné, že pH roztoku má vliv na rozpustnost glutenu. Rozpustnost bílkovin je velmi nízká (<20 %) při hodnotách pH rovných nebo vyšších než 4. Pouze při pH 2 a 3 je rozpustnost vyšší, přibližně 50 %. Rozpustnost bílkovin a tedy i rozpustnost glutenu klesá, když se pH roztoku blíží izoelektrickému bodu proteinu (pH=6,2). Při pH, při kterém je obtížné rozpustit lepek, je však stále stejně účinný při stabilizaci kapiček oleje. Ze studie také vyplynulo, že lepek vykazuje lepší emulgační vlastnosti při nízkém pH [15]. Zmíněné poznatky pak byly využity v rámci praktické části bakalářské práce.

Specifické vlastnosti lepku, zejména jeho nízká rozpustnost ve vodných fázích, omezují jeho dosavadní aplikace. V rámci odborné literatury lze nalézt aplikaci glutenu jako enkapsulačního materiálu za účelem přípravy emulzí [15] a k přípravě částic pomocí emulzní polymerizace [37] a zesíťování [38]. Dalším předmětem odborných studií je samotná enkapsulace glutenu. Ve studii Husniati et al. (2015) je popsána enkapsulace lepku při zachování jeho funkce při zpracování i při vysoké teplotě. Zapouzdření bylo zkoumáno na směsi maltodextrinu (MD) s arabskou gumou (AG) nebo s kaseinem buď sušením rozprašováním, nebo sušením v sušárně. Ze studií vyplynulo, že směs MD s AG je jako zapouzdřovací materiál vhodnější než směs s kaseinem a že rozprašovací sušení poskytuje lepší výsledek ve srovnání se sušením v sušárně. Optimální směsí byla dle výsledků směs MD:AG v poměru 2:1 [39]. Proto bylo v praktické části využito pouze sušení rozprašováním a byly porovnávány různé poměry složek.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRÁCE

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo zhodnotit možné využití odpadních proteinů, zejména pšeničného proteinu glutenu, pro aplikace s vysokou přidanou hodnotou. Konkrétně se jednalo o použití odpadních proteinů jako emulgačních a obalových činidel pro potenciální enkapsulaci biologicky aktivních látek. Jako enkapsulační systémy byly podrobně rozebrány emulze typu olej ve vodě a mikročástice připravené metodou sprejového sušení.

V praktické části byla pozornost věnována nejprve glutenu a jeho schopnosti tvořit stabilní emulze olej ve vodě v prostředích o rozdílné hodnotě pH. Následně byly přichystány emulze o různých poměrech maltodextrinu, glutenu a olejové fáze (n-Dodekan), ze kterých byly připraveny pevné částice metodou sprejového sušení. Byl sledován vliv procesních podmínek na úspěšnost sprejového sušení. Posledním krokem byla charakterizace připravených částic porovnáním jejich morfologických a fyzikálně-mechanických vlastností.

6 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE, ZÁŘÍZENÍ A METODY

6.1 Chemikálie

- Pšeničný gluten, Sigma-Aldrich
- Maltodextrin DE 7-13, DONAUCHEM s.r.o.
- n-Dodekan, Sigma-Aldrich
- Kyselina octová ledová, p, a., mikroCHEM
- Hydroxid sodný, Sigma-Aldrich
- Azid sodný 99%, Janssen Chimica

6.2 Pomůcky a zařízení

- Váhy SI-4002, Denver instrument
- Analytické váhy AS 220.R2, Radwag
- Ultraturrax T18 digital, Ika
- Sprejová sušárna Mini Spray Dryer B-290, Büchi
- Sušárna UN 55, Memmert
- Laserový analyzátor velikosti částic Mastersizer 3000, Malvern
- Skenovací elektronový mikroskop, Phenom PRO
- Centrifuga Microspin 12, Biosan
- Vortex MS 3 basic, Ika
- Běžné laboratorní sklo a pomůcky

6.3 Metody

6.3.1 Příprava emulzí a jejich charakterizace

Nejprve byl gluten rozpuštěn ve vodě, kyselém a zásaditém prostředí při různých hmotnostních koncentracích rozpouštědla (0,05 %; 0,1 %, 0,5 % a 1 %). Jednotlivé koncentrace rozpouštědla odpovídaly různým hodnotám pH prostředí. Jako nejvhodnější byla zvolena pro obě prostředí 0,5% koncentrace rozpouštědla, při které bylo dosaženo

optimálního rozpuštění glutenu, což odpovídalo hodnotě pH 2,7 pro kyselé prostředí a pH 12,8 pro zásadité prostředí.

Poté byly připraveny zkušební emulze o různých poměrech olejové a vodné fáze (10/90, 20/80, 30/70 a 40/60) a také o různých koncentracích glutenu (0,1 %; 0,3 %, 0,5 %, 0,7 % a 1 %). Takto připravené emulze byly homogenizovány při 15 tisících otáčkách (Ultraturrax T18 digital, Ika) po dobu 3 minut a následně byly podrobeny pozorování při laboratorní teplotě.

Účinnost enkapsulace emulzí (EE) byla vypočtena jako podíl množství oleje před centrifugací a množství oleje po centrifugaci (rovnice 1).

$$EE (\%) = \frac{\text{množství zapouzdřeného oleje (ml)}}{\text{celkové množství oleje (ml)}} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

Emulzní index (EI) vyjadřuje, jaké množství oleje je schopen pojmout daný emulgátor, v tomto případě gluten pojmout. Dává tedy informace o jeho emulgační kapacitě. Vypočítá se pomocí rovnice 2, jako podíl množství emulzní vrstvy (mm) a celkové výšky emulze (výška séra, emulzní a olejové vrstvy).

$$EI (\%) = \frac{\text{výška emulzní vrstvy (mm)}}{\text{celková výška emulze (mm)}} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

6.3.2 Příprava glutenových částic a jejich charakterizace

6.3.2.1 Sprejové sušení

Ke sprejovému sušení byly přichystány roztoky se složením:

- Modelová aktivní látka (AL): n-dodekan
- Obalový materiál: maltodextrin (MD), gluten
- Obsah pevné látky: 20 wt. %
- Poměry AL : MD : Gluten – 1:8,5:0,5; 1:8:1; 2:4:4; 3:3:4; 5:3:2

Nejprve byly naváženy jednotlivé složky potřebné k přípravě emulzí o objemu 100 ml. Tyto směsi byly homogenizovány 3 minuty při 15 000 otáčkách na vysokorychlostním homogenizátoru. Takto připravené emulze byly následně sušeny v sušící komoře.

Podmínky sušení:

- Sprejová sušárna BÜCHI Mini Spray Dryer B-290
- Průtok vzduchu: 600 l/hod

- Tlak vzduchu: 7 bar
- Vstupní teplota: 110 °C/130 °C/150 °C
- Výkon pumpy: 20 %
- Výkon aspirátoru: 100 %

6.3.2.2 Stanovení sušiny

Ke stanovení sušiny bylo naváženo 0,5 g vzorku a ten byl následně sušen v sušárně do konstantního úbytku hmotnosti při 105 °C. Sušina byla vypočtena pomocí rovnice 3.

$$\text{sušina (\%)} = \frac{\text{hmotnost vzorku po sušení}}{\text{hmotnost vzorku před sušením}} \cdot 100 (\%) \quad (3)$$

6.3.2.3 Stanovení výtěžnosti sprejování

Nasprejované pevné částice byly zváženy. Výtěžnost sprejování byla dopočítána pomocí rovnice 4, kdy byla hmotnost částic podělena hmotností pevného podílu (20 wt. %) a převedena na procenta.

$$\text{výtěžek (\%)} = \frac{\text{hmotnost výsledného produktu}}{\text{hmotnost pevného podílu}} \cdot 100 (\%) \quad (4)$$

6.3.2.4 Stanovení rozpustnosti nasprejovaných částic

Pro stanovení rozpustnosti bylo naváženo 0,1 g příslušného vzorku a rozpuštěno v 1 ml destilované vody. Pro oddělení pevných částic ze suspenze bylo využito centrifugace (14 500 otáček za 1 minutu/10 minut). Supernatant, který zůstal po centrifugaci na povrchu byl následně odebrán a v Petriho misce sušen v sušárně při 105 °C do konstantního úbytku.

$$\text{rozpustnost (\%)} = \frac{\text{hmotnost vysušeného supernatantu}}{\text{hmotnost vzorku před sušením}} \cdot 100 (\%) \quad (5)$$

6.3.2.5 Stanovení hustoty nasprejovaných částic

Hustota nasprejovaných částic byla stanovena navážením 1 g vzorku do zkumavky. Zkumavky byly vortexovány při výkonu 3000 otáček za minutu po dobu 1 minuty. Hustota byla následně stanovena dle rovnice 6.

$$\text{hustota } \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) = \frac{\text{hmotnost částic (g)}}{\text{objem částic (ml)}} \quad (6)$$

6.3.2.6 Stanovení velikosti nasprejovaných částic

Měření distribuce velikosti částic je důležitou fyzikální vlastností vzorku a často kritickým parametrem při výrobě. Laserová difrakce je široce používaná technika dimenzování částic pro materiály od stovek nanometrů až po několik milimetrů. Měří rozložení velikosti částic měřením úhlové odchylky intenzity světla rozptýleného při průchodu laserového paprsku rozptýleným vzorkem částic. Velké částice rozptylují světlo v malých úhlech vzhledem k laserovému paprsku a malé částice rozptylují světlo ve velkých úhlech. Je využitelná pro mokré i suché disperze. Velikost částic byla v rámci této bakalářské práce stanovena suchou cestou [40].

Nastavené podmínky měření:

- index lomu: 1,6
- absorpční index: 0,1
- obskurance: 0,1–10 %
- stabilizace: 3 s
- rychlost dávkování vzorku: 10–20 %

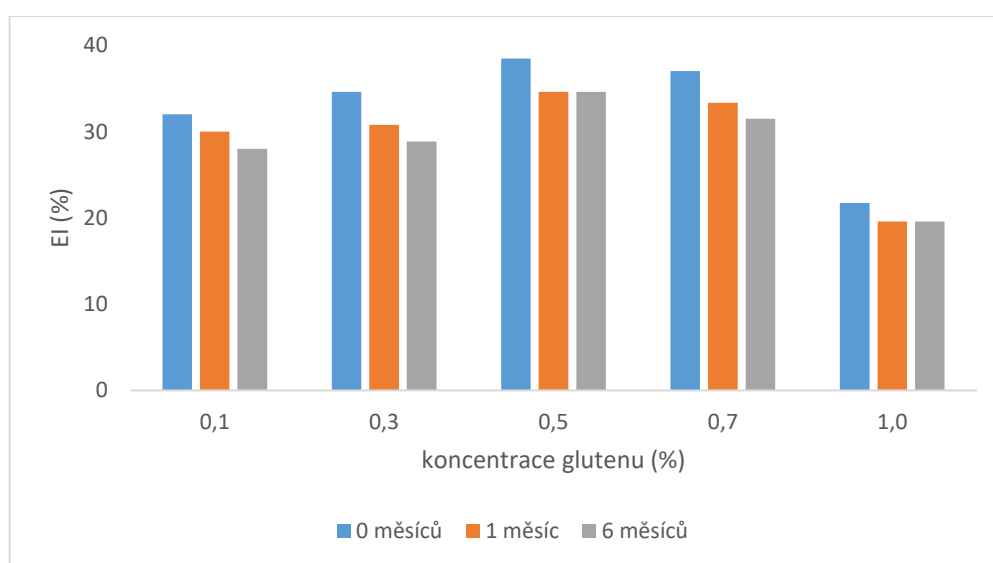
6.3.2.7 SEM analýza

K pozorování morfologie vzorků, které byly umístěny v držáku pro nevodivé vzorky, byl použit skenovací elektronový mikroskop Phenom PRO. Urychlovací napětí bylo nastaveno na 5 kV. Principem SEM analýzy je dopad svazku elektronů namísto dopadu světla na vzorek. Výsledný obraz vzniká odrazem svazku elektronů [41].

7 VÝSLEDKY A DISKUZE

7.1 Enkapsulační účinnost emulzí

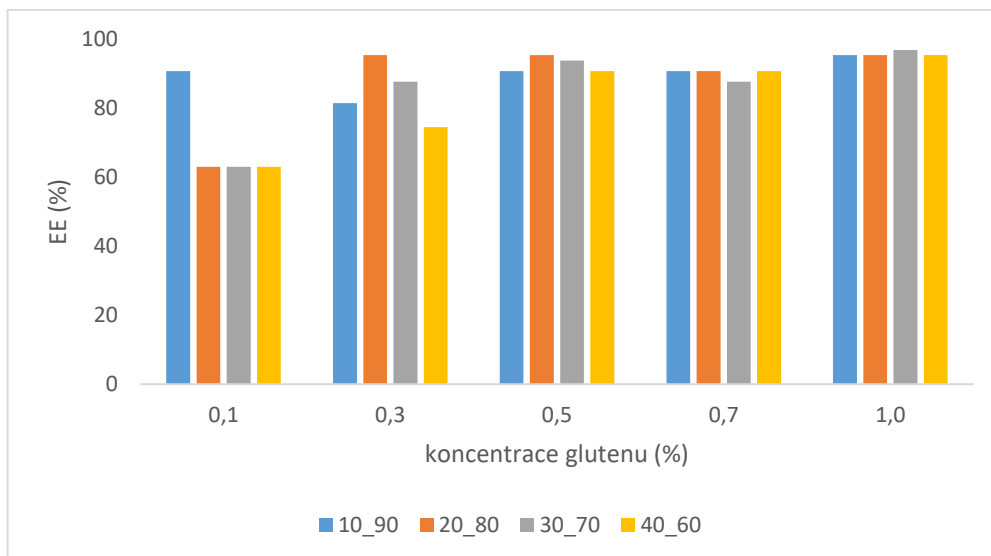
Emulze byly podrobeny pozorování po dobu 6 měsíců. Po celou dobu byly skladovány při laboratorní teplotě. V den přípravy emulzí se emulzní index pohyboval v rozmezí 21 % až 39 % a u všech koncentrací v průběhu skladování se snížil o jednotky procent na 19 % až 35 % (Obrázek 9). K nejvyššímu poklesu došlo hned během prvního měsíce, dále už se emulzní index nesnižoval vůbec nebo pouze minimálně. Emulze obsahující gluten se tedy jeví jako velmi stabilní.



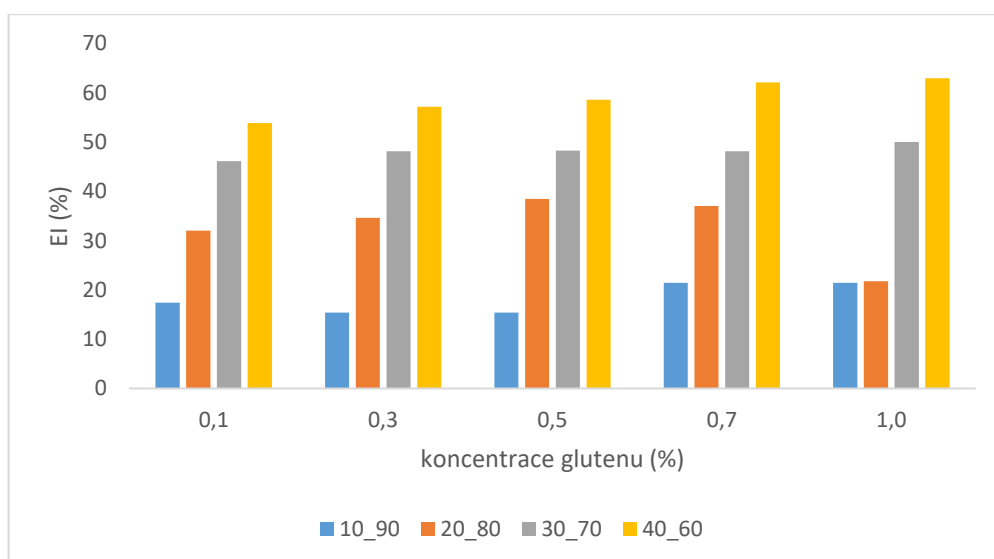
Obrázek 9: Stabilita emulzí v průběhu času

Obrázky 10 až 13 ilustrují hodnoty enkapsulační účinnosti a emulzního indexu jednotlivých emulzí v závislosti na koncentraci glutenu a poměru oleje a vody.

V případě emulzí, u nichž byla vodná fáze alkalická enkapsulační účinnost dosahovala poměrně vysokých hodnot (Obrázek 10). Konkrétně se pohybovala v rozmezí ~63 do ~97 %. Jak je patrné z podrobnější analýzy, významné enkapsulační účinnosti přes 90 % bylo dosaženo již v případě nejnižší použité koncentrace glutenu (poměru oleje a vody 10/90). Toto svědčí o značné emulgační kapacitě glutenu v tomto daném pH prostředí. Emulzní index se napříč vzorky pohyboval v rozmezí od ~17 do ~63 % (Obrázek 11). Nejvyšších hodnot EI bylo zaznamenáno pro nejvyšší obsah oleje (poměr 40/60) a koncentrace glutenu (0,7 a 1 %), což je dáno zvýšenou dostupností oleje i emulgátoru pro tvorbu emulzních kapek.

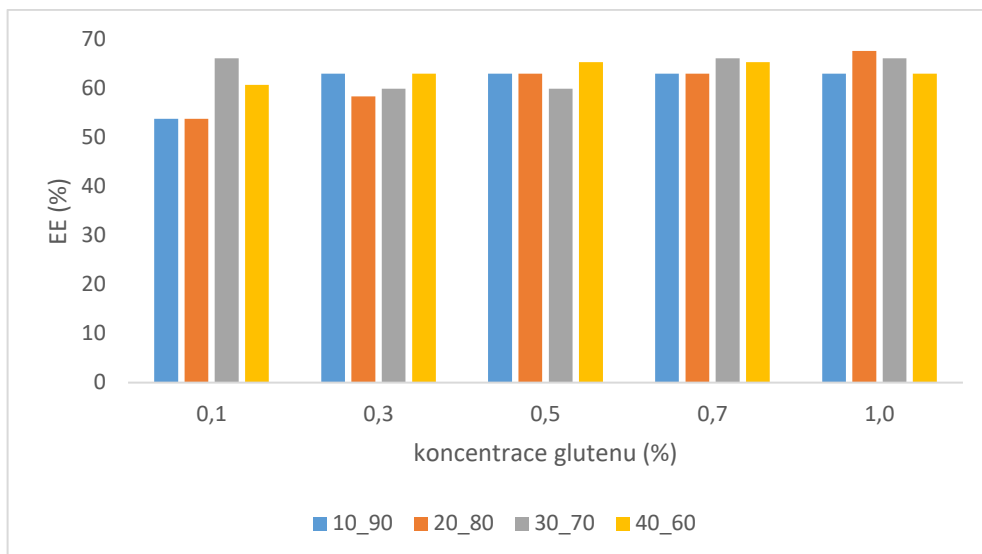


Obrázek 10: Enkapsulační účinnost (EE) emulzí v zásaditém prostředí ($pH=12,8$)

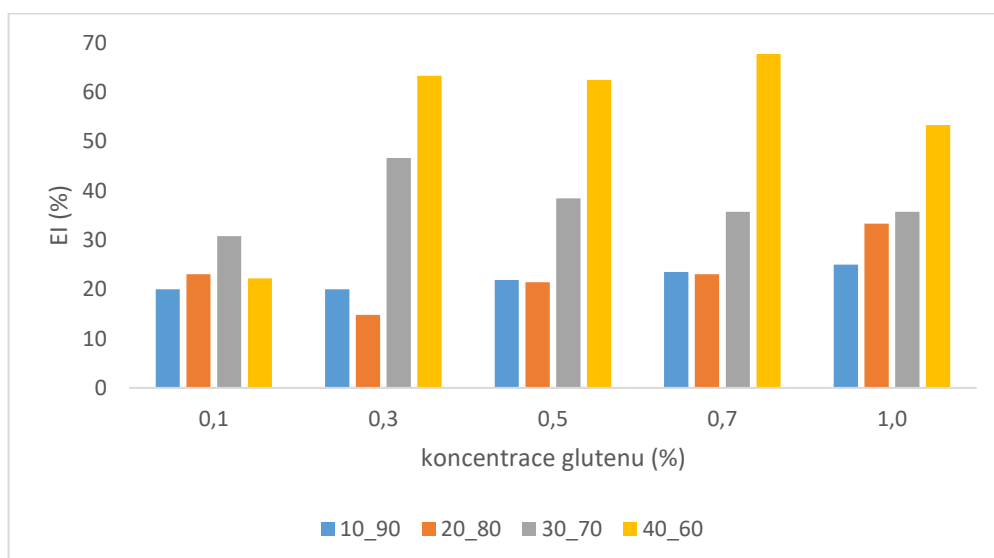


Obrázek 11: Emulzní index (EI) emulzí v zásaditém prostředí ($pH=12,8$)

V případě emulzí v kyselém prostředí, enkapsulační účinnost nedosahovala tak vysokých hodnot jako u emulzí v zásaditém prostředí (Obrázek 12). Pohybovala v rozmezí ~54 do ~68 %, což vypovídá, že emulgační kapacita glutenu v pH prostředí 2,7 není tak vysoká. Emulzní index se pohyboval v rozmezí od ~15 do ~68 % (Obrázek 13). Nejvyšší hodnoty EI byly rovněž naměřeny pro nejvyšší obsah oleje (poměr 40/60) a koncentraci glutenu (0,7 a 1 %).



Obrázek 12: Enkapsulační účinnost (EE) emulzí v kyselém prostředí (pH=2,7)



Obrázek 13: Emulzní index (EI) emulzí v kyselém prostředí (pH=2,7)

Při porovnání vzorků připravených v obou typech prostředí vyplývá, že u emulzí v zásaditém prostředí je enkapsulační účinnost vyšší než u emulzí v kyselém prostředí. Z výsledků je také zřejmé, že se vzrůstající koncentrací glutenu dochází ke zvyšování enkapsulační účinnosti v obou typech pH prostředí. Výsledků měření dále odhalily, že emulzní index se zvyšuje se vzrůstající koncentrací glutenu do koncentrace 0,7 hm. %, kdy poté zůstává stejný nebo mírně poklesne. To značí, že emulgační kapacita glutenu enkapsulovat olej dosáhla svého limitu.

7.2 Fyzikálně-mechanické vlastnosti nasprejovaných částic

V této části práce je pozornost věnována fyzikálně-mechanickým charakteristikám nasprejovaných částic. Jednotlivé metody měření jsou popsány v kapitole 5.3. Naměřené výsledky jsou rozděleny na dvě části podle typu rozpouštědla a jsou uvedeny v tabulkách 4, resp. 5. Všechna měření byla provedena třikrát vedle sebe a směrodatné odchylky byly stanoveny podle Dean-Dixona.

Tabulka 4: Fyzikálně-mechanické vlastnosti částic s NaOH po nasprejování

Teplota sušení (°C)	Typ vzorku	Výtěžnost (%)	Rozpustnost (%)	Sušina (%)	Hustota (g/cm ³)
110	1:8,5:0,5	12,40	32,59±5,10	92,92±0,14	0,45±0,01
	1:8:1	23,80	12,39±0,71	93,80±0,04	0,42±0,03
130	1:8,5:0,5	11,80	4,04±4,04	93,20±0,17	0,45±0,01
	1:8:1	58,80	21,56±9,00	95,77±0,14	0,33±0,04
	2:4:4	49,15	10,44±0,64	93,34±0,43	0,31±0,03
	3:3:4	34,40	10,45±2,09	89,13±0,50	0,34±0,01
	5:3:2	26,20	8,55±0,41	86,84±0,18	0,31±0,03
150	1:8,5:0,5	20,20	10,45±1,00	95,66±0,04	0,43±0,02
	1:8:1	24,15	7,32±0,90	96,54±0,02	0,46±0,02

Tabulka 5: Fyzikálně-mechanické vlastnosti částic s CH₃COOH po nasprejování

Teplota sušení (°C)	Typ vzorku	Výtěžnost (%)	Rozpustnost (%)	Sušina (%)	Hustota (g/cm ³)
110	1:8,5:0,5	11,30	22,14±5,36	93,20±0,04	0,53±0,03
	1:8:1	13,80	18,55±3,44	95,72±0,21	0,46±0,02
130	1:8,5:0,5	12,50	9,79±0,79	94,33±0,03	0,61±0,06
	1:8:1	36,90	13,94±2,69	96,15±0,14	0,42±0,03
	2:4:4	6,35	8,87±0,63	90,55±0,11	-
	3:3:4	8,65	8,54±0,48	87,03±0,38	0,34*
	5:3:2	14,60	8,26±0,56	83,25±0,30	0,29*
150	1:8,5:0,5	15,90	10,74±0,17	96,68±0,23	0,54±0,04
	1:8:1	32,20	13,50±3,04	97,38±0,15	0,50±0,01

Pozn. – * měření nebylo provedeno třikrát z důvodu nedostatku vzorku, - nebylo stanoveno z důvodu nedostatku vzorku

7.2.1 Výtěžnost sprejování

Základní charakteristikou částic je jejich výtěžek. Ze získaných výsledků je zřejmé (Tabulka 4 a 5), že na výtěžnost procesu mělo vliv několik faktorů, zejména vstupní teplota, obsah

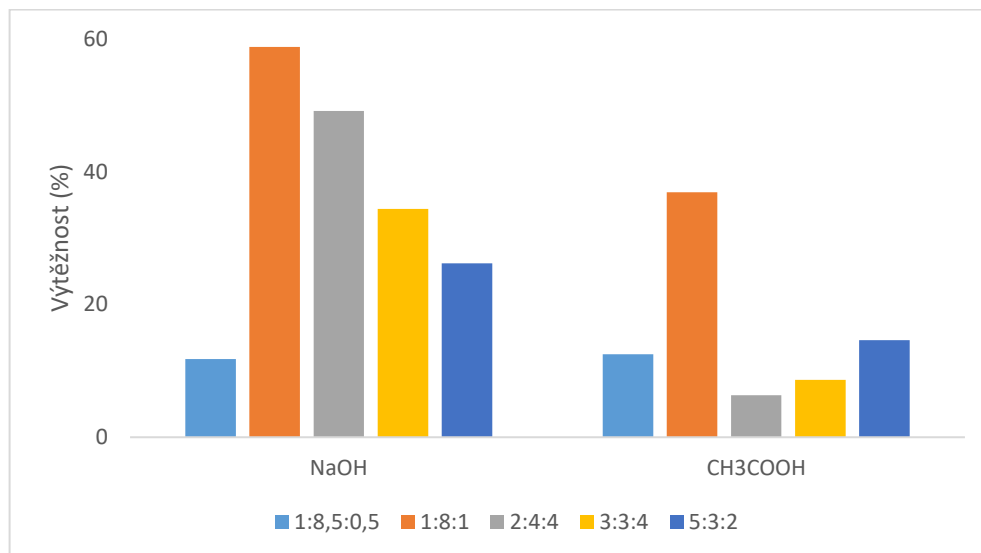
oleje v jádře a poměr obalových složek. V případě sledování vlivu vstupní teploty na výtěžnost sprejování, byly v rámci preexperimentů nasprejovány modelové částice s poměry 1:8,5:0,5 a 1:8:1 při teplotách sušení 110 °C, 130 °C a 150 °C. Porovnáním výtěžnosti sprejování u těchto vzorků se ukázalo, že nejvíce produktu získáme při teplotě 130 °C (12–59 %) a naopak nejméně při nejnižší teplotě, tedy 110 °C (11–24 %). Následně byly i zbylé poměry 2:4:4, 3:3:4 a 5:3:2 sprejovány pouze za teploty 130 °C, abychom dosáhli co nejvyššího možného výtěžku. Vliv vstupní teploty na výtěžnost procesu sprejování je předmětem celé řady výzkumných studií. Zaznamenaný nejvyšší výtěžek pro teplotu 130 °C odpovídá závěrům uváděným v literatuře. Wang a kol. (2015) uvádí, že v případě vzorků mikročástic složených ze sójového prášku a maltodextrinu, existovala optimální vstupní teplota zajišťující nejvyšší výtěžnost produktu. Příliš nízká vstupní teplota vedla k malé efektivitě sprejování, a tedy i výtěžnosti. Naopak příliš vysoká teplota vedla k nadměrnému zahřátí částic, což se pak negativně odrazilo v lepivosti, tendenci tvořit agregáty a tedy i nízkém výtěžku produktu [42]. V případě základní kombinace obalového materiálu složeného z maltodextrinu a arabské gumy se doporučují pracovní vstupní teploty v rozmezí od 120–160 °C [43].

Na množství produktu po nasprejování má patrný vliv i poměr jednotlivých složek. Porovnáním poměrů 1:8,5:0,5 a 1:8:1 vidíme, že větší výtěžnost měl vždy vzorek s vyšším obsahem glutenu a nižším množstvím maltodextrinu napříč testovanými teplotami. Toto zjištění dokládá důležitost glutenu jako obalového materiálu s emulgační funkcí. V případě, že není ve formulaci glutenu dostatek, nelze emulzní kapky účinně zapouzdřit, což se projeví nestabilitou emulzí určených ke sprejování a finálním nedostatečným výtěžkem produktu. Nejvyššího výtěžku, tedy 58,80 %, bylo dosaženo u zásaditého vzorku 1:8:1 při teplotě sušení 130 °C. V případě zbylých poměrů 2:4:4, 3:3:4 a 5:3:2 lze zaznamenat pozvolný pokles výtěžku, značící, že gluten či maltodextrinu nebyly zvoleny v optimálním poměru.

Také si lze všimnout, že se zvyšujícím se obsahem olejové fáze výtěžnost zásaditých vzorků klesá v řádu desítek procent, což značí významný vliv obsahu jádra na úspěšnost sprejování. Největších výtěžků lze dosáhnout při minimálním množství oleje ve vzorku. S navyšujícím se množstvím olejové fáze se výtěžnost produktů pozvolna zmenšuje. Tento trend se však nepotvrdil u kyselých vzorků, u kterých byla obecně výtěžnost velmi nízká oproti ostatním práškům, a se zvyšujícím se obsahem oleje výtěžky spíše vzrůstaly.

Rovněž lze z tabulek 4 a 5 vypožorovat, že výtěžnost je zpravidla vždy vyšší u vzorků rozpuštěných v zásaditém prostředí (pH=2,7), a to při všech různých poměrech. Podrobnější

srovnání chování vzorků za rozdílně adjustovaného pH ilustruje obrázek 14, na němž lze pozorovat významný vliv pH prostředí. K účinnému zapouzdření glutenu dochází za výrazně zásaditého prostředí.



Obrázek 14: Výtěžnost zásaditých vs kyselých vzorků u všech poměrů při teplotě 130 °C

7.2.2 Rozpustnost částic ve vodě

Rozpustnost nasprejovaných částic byla nejprve zjišťována pomocí demineralizované vody (pH=7). Nejčastěji se pohybuje okolo 10 až 15 procent. Obecně lze říct, že přestože je v případě těchto vzorků rozpustnost nízká, v porovnání s nativním glutenem, prakticky nerozpustným ve vodě při neutrálním pH, se jedná o vítané zvýšení rozpustnosti. Zlepšení rozpustnosti bylo ještě více patrné v případě vzorků 1:8,5:0,5 nasprejovaných při teplotě 110 °C, u nichž byla rozpustnost 32,59 % (NaOH), respektive 22,14 % (CH₃COOH). Vliv teploty sušení nebo poměru AL : MD : Gluten na rozpustnost nebyl prokázán. Hodnoty rozpustnosti u vzorků 2:4:4, 3:3:4 a 5:3:2 jsou velmi podobné a pohybují se v rozmezí 8,26–10,45 %.

7.2.3 Rozpustnost částic v prostředí o různém pH

Z důvodu ověření chování nasprejovaných částic v prostředích o odlišném pH, byla rozpustnost nasprejovaných částic stanovena ve dvou typech prostředí s adjustovaným pH – kyselém (CH₃COOH, pH=2,7) a zásaditém (NaOH, pH=12,8). Porovnání rozpustnosti částic bylo provedeno u vzorků, které byly sprejovány při teplotě sušení 130 °C (Tabulka 6). Vzorky 2:4:4 a 3:3:4 rozpuštěné v kyselém prostředí měly tak nízkou výtěžnost, že nebylo možné u nich měření rozpustnosti provést.

Rozpustnost se u všech částic pohybovala v rozmezí $7,10 \pm 0,77$ až $19,45 \pm 1,89$. Jako nejlépe rozpustné vzorky v obou typech rozpouštědel se obecně jeví ty s nejvyšším obsahem aktivní látky, tedy konkrétně poměr 5:3:2.

Z hlediska rozpustnosti v demineralizované vodě a v kyselých/zásaditých rozpouštědlech bylo ve většině případů dosaženo lepší rozpustnosti glutenových částic ve vodném prostředí.

Tabulka 6: Stanovení rozpustnosti nasprejovaných částic při teplotě sušení $130\text{ }^{\circ}\text{C}$

Typ rozpouštědla	Typ vzorku	Rozpustnost (%)
NaOH/NaOH	1:8,5:0,5	$5,00 \pm 5,00$
	1:8:1	$10,03 \pm 0,50$
	2:4:4	$10,57 \pm 0,12$
	3:3:4	$11,09 \pm 1,01$
	5:3:2	$11,19 \pm 0,81$
CH ₃ COOH/NaOH	1:8,5:0,5	$12,71 \pm 2,18$
	1:8:1	$12,22 \pm 0,64$
	2:4:4	-
	3:3:4	14,10
	5:3:2	$17,83 \pm 1,83$
NaOH/CH ₃ COOH	1:8,5:0,5	$14,27 \pm 2,40$
	1:8:1	$19,45 \pm 1,89$
	2:4:4	$19,40 \pm 3,18$
	3:3:4	$12,14 \pm 2,14$
	5:3:2	$16,39 \pm 2,27$
CH ₃ COOH/CH ₃ COOH	1:8,5:0,5	$7,10 \pm 0,77$
	1:8:1	$9,61 \pm 2,16$
	2:4:4	-
	3:3:4	-
	5:3:2	$7,42 \pm 0,05$

Pozn. – - měření nebylo stanoveno z důvodu nedostatku vzorku

7.2.4 Stanovení sušiny

U většiny vzorků bylo zjištěno množství sušiny okolo 90 % (Tabulka 4 a 5). Nejvíce to bylo u vzorků nasprejovaných při teplotě $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, z čehož je jasné že se zvyšující se teplotou sprejování se zvyšuje i množství sušiny. Toto zjištění platí jak pro kyselé, tak i pro zásadité vzorky. Mírně vyšší množství sušiny však dosahují vzorky rozpuštěné v CH₃COOH, konkrétně se jedná o jednotky procent. $97,38 \pm 0,15$ procent sušiny obsahuje vzorek 1:8:1 (CH₃COOH, $150\text{ }^{\circ}\text{C}$), což je prášek s nejvyšším obsahem sušiny. S rostoucím obsahem aktivní látky dochází v řádu jednotek k poklesu množství sušiny, tedy k nárůstu vlhkosti. Při porovnání vzorků 1:8,5:0,5 a 1:8:1 je pravidlem, že s obsahem glutenu a úbytkem maltodextrinu sušina roste.

7.2.5 Stanovení hustoty částic

Naměřené hodnoty hustoty částic se pohybují od 0,29 g/cm³ do 0,61 g/cm³ a jsou uvedeny v tabulce 4 a 5. Vzorek typu 2:4:4 rozpuštěný v kyselém prostředí měl tak malou výtěžnost, že u něj měření hustoty nebylo možné provést. Na první pohled lze pozorovat, že částice rozpuštěné v kyselém prostředí mají hustotu větší, z čehož vyplývá, že zaujímají menší objem a že částice rozpuštěné v zásaditém prostředí mají hustotu menší, a proto zaujímají větší objem. Teplota sušení zřejmě na hustotu částic vliv nemá, jelikož hodnoty se mezi sebou liší jen nepatrně. Se zvyšujícím se množstvím oleje klesá hustota částic, avšak to potvrzují jen částice rozpuštěné v CH₃COOH. U částic rozpuštěných v NaOH jsou hodnoty hustoty srovnatelné a pohybují se okolo 0,325 g/cm³.

7.2.6 Velikost částic

U nasprejovaných částic byla stanovena jejich velikost a distribuce velikosti částic pomocí laserové difrakce na přístroji Mastersizer 3000. V tabulkách 7 a 8 jsou uvedeny výsledné hodnoty, které jsou průměrem tří měření. Výtěžnost vzorku 2:4:4 rozpuštěného v kyselém prostředí byla velmi nízká, a proto nebylo možné zde provést měření.

Z výsledků je patrné, že největší částice jsou charakteristické pro vzorky s nejvyšším množstvím maltodextrinu a naopak s nejnižším obsahem glutenu, tedy typ 1:8,5:0,5. Tento trend platí u částic rozpuštěných v kyselém i v zásaditém prostředí. Avšak při porovnání těchto dvou prostředí vidíme, že částice rozpuštěné v NaOH jsou větší (18,20±0,06 až 22,76±0,07 μm) v porovnání s částicemi rozpuštěné v CH₃COOH (15,68±0,02 až 16,64±0,97 μm). Dále je možné pro velikost částic pozorovat sestupný trend u vzorků s rostoucím množstvím aktivní látky, tedy oleje. Teplota, při které byly částice připraveny ve sprejové sušárně, nemá na velikost částic významnější vliv. Z měření dále vyplynulo, že značný vliv na velikost částic má složení obalové vrstvy, tedy poměr maltodextrinu a glutenu.

Z hlediska distribuce částic vykazovaly všechny vzorky podobný průběh distribučních křivek (Obrázky 15 až 18). Obrázky 15 a 16 srovnávají vliv teploty na průběh distribučních křivek a dokládají, že teplota na průběh křivek vliv nemá, a to ani v případě kyselých, ani v případě zásaditých vzorků. Na průběh distribučních křivek má však vliv složení částic (Obrázek 17 a 18), jak v případě kyselých, tak i zásaditých vzorků. Vzorky byly většinou multimodální, přičemž převahu tvořila populace částic v rozmezí od 1 do 50 μm. Vliv obsahu oleje či teploty na průběh distribučních křivek se nepotvrdil. Naopak jako důležité

parametry ovlivňující velikostní distribuci byly zaznamenány pH prostředí a složení obalového materiálu.

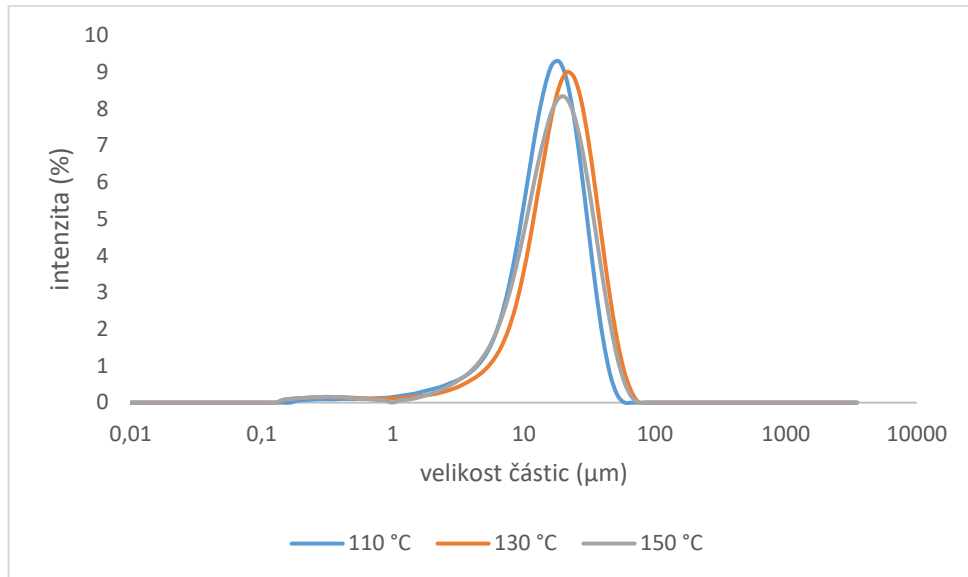
Jako více homogenní vzorky se jevily kyselé vzorky, u kterých míra šířky distribuce (tzv. span) nepřekročila hodnotu 2 a pohybovala se v rozmezí hodnot $1,53 \pm 0,01$ pro kyselé prostředí a $1,98 \pm 0,03$ v případě zásaditého prostředí. Za nejvíce homogenní lze považovat vzorek s nejnižším obsahem glutenu a s nejvyšším množstvím maltodextrinu (1:8,5:0,5), u kterého byly naměřeny hodnoty spanu $1,48 \pm 0,01$ až $1,66 \pm 0,01$. Naopak nejméně homogenní byly vzorky typu 1:8:1, kde se span blížil, nebo dokonce překračoval hodnotu 2.

Tabulka 7: Stanovení velikosti částic s NaOH

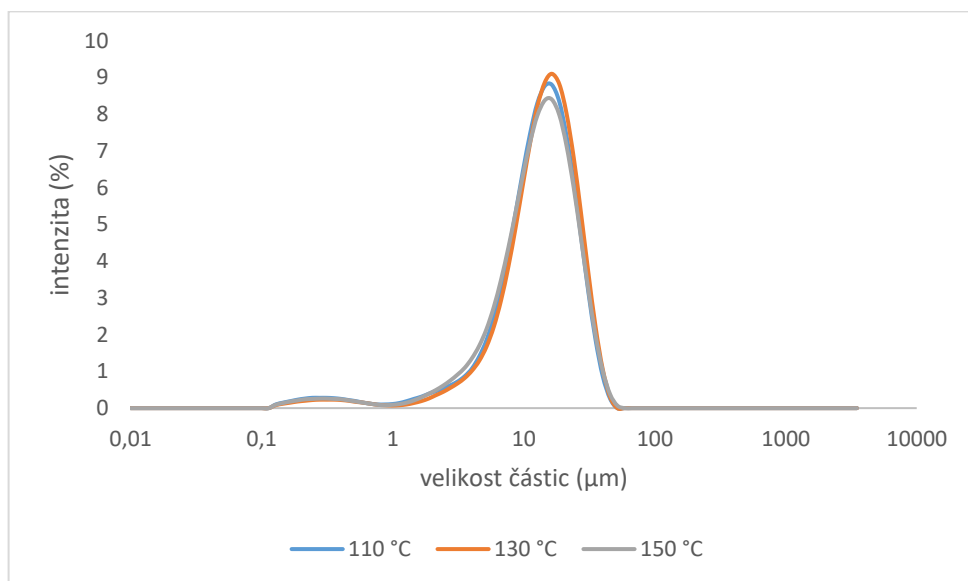
Teplota sušení (°C)	Typ vzorku	Velikost částic (μm)	Span
110	1:8,5:0,5	$18,20 \pm 0,06$	$1,48 \pm 0,01$
	1:8:1	$11,17 \pm 0,29$	$2,06 \pm 0,02$
130	1:8,5:0,5	$22,76 \pm 0,07$	$1,51 \pm 0,01$
	1:8:1	$8,99 \pm 0,09$	$2,18 \pm 0,01$
	2:4:4	$13,70 \pm 0,09$	$1,84 \pm 0,01$
	3:3:4	$13,52 \pm 0,32$	$1,96 \pm 0,01$
	5:3:2	$11,86 \pm 0,15$	$1,91 \pm 0,01$
150	1:8,5:0,5	$20,70 \pm 0,15$	$1,66 \pm 0,01$
	1:8:1	$18,27 \pm 0,34$	$1,59 \pm 0,08$

Tabulka 8: Stanovení velikosti částic s CH₃COOH

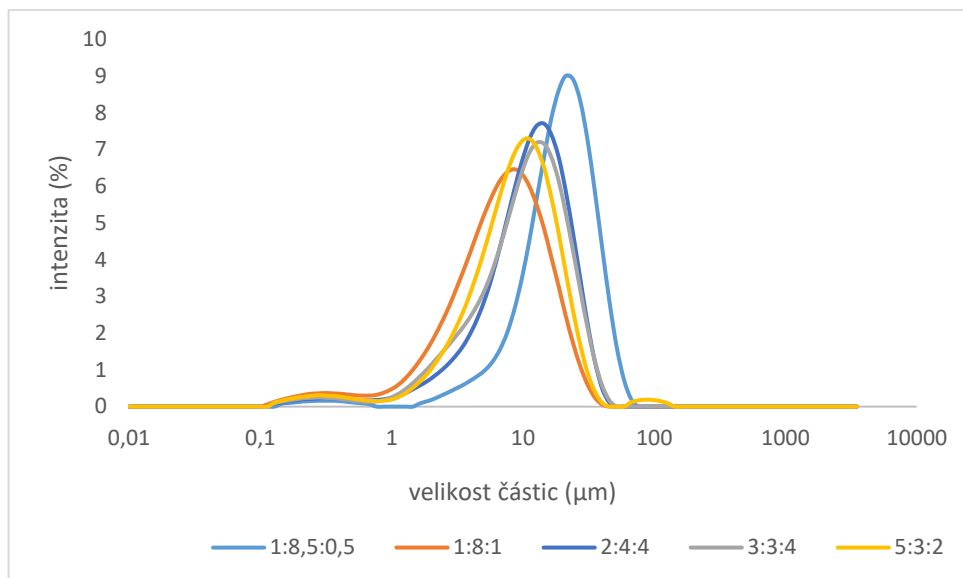
Teplota sušení (°C)	Typ vzorku	Velikost částic (μm)	Span
110	1:8,5:0,5	$15,68 \pm 0,02$	$1,54 \pm 0,01$
	1:8:1	$10,00 \pm 0,07$	$1,82 \pm 0,01$
130	1:8,5:0,5	$16,55 \pm 0,03$	$1,53 \pm 0,01$
	1:8:1	$10,10 \pm 0,57$	$1,98 \pm 0,03$
	3:3:4	$14,63 \pm 0,03$	$1,71 \pm 0,01$
	5:3:2	$11,70 \pm 0,11$	$1,74 \pm 0,01$
150	1:8,5:0,5	$16,64 \pm 0,97$	$1,65 \pm 0,01$
	1:8:1	$14,38 \pm 0,32$	$1,80 \pm 0,01$



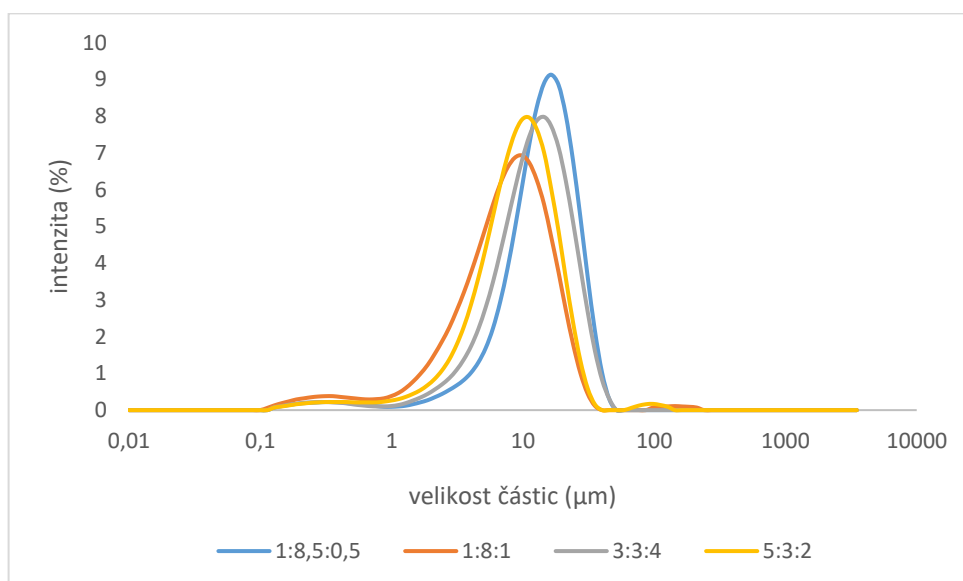
Obrázek 15: Porovnání distribučních křivek podle teploty sušení vzorků typu 1:8,5:0,5 v zásaditém prostředí



Obrázek 16: Porovnání distribučních křivek podle teploty sušení vzorků typu 1:8,5:0,5 v kyselém prostředí



Obrázek 17: Porovnání distribučních křivek podle složení vzorků v zásaditém prostředí nasprejovaných při teplotě 130 °C



Obrázek 18: Porovnání distribučních křivek podle složení vzorků v kyselém prostředí nasprejovaných při teplotě 130 °C

7.3 Morfologické vlastnosti nasprejovaných částic

7.3.1 Vizuální charakteristika

Nasprejované částice měly bílou až slabě nažloutlou barvu v závislosti na typu rozpouštědla. Na obrázku 19 lze pozorovat, že částice s NaOH (A-C) mají slabě žlutý odstín a částice s CH₃COOH jsou bílé, což lze přičítat odlišnému pH prostředí. Teplota sušení ani poměry jednotlivých složek neměly vliv na výslednou barvu po nasprejování, což můžeme pozorovat

na obrázku 20, kde jsou porovnány částice s odlišným složením obalové vrstvy. Nasprejované částice s CH_3COOH byly lepkavé a tudíž se shlukovaly do větších celků.



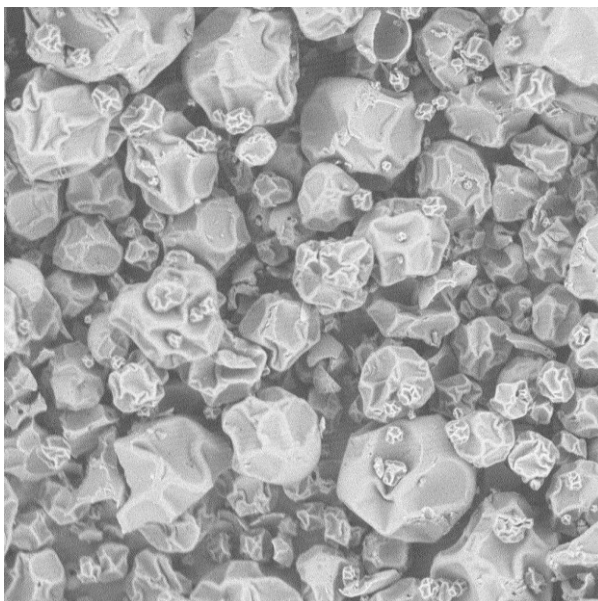
Obrázek 19: Vizuální charakteristika nasprejovaných částic sušených při 130 °C; A-C s NaOH a D-F s CH_3COOH ; A – poměr 2:4:4, B – poměr 3:3:4, C – poměr 5:3:2, D – poměr 2:4:4, E – poměr 3:3:4, F – poměr 5:3:2



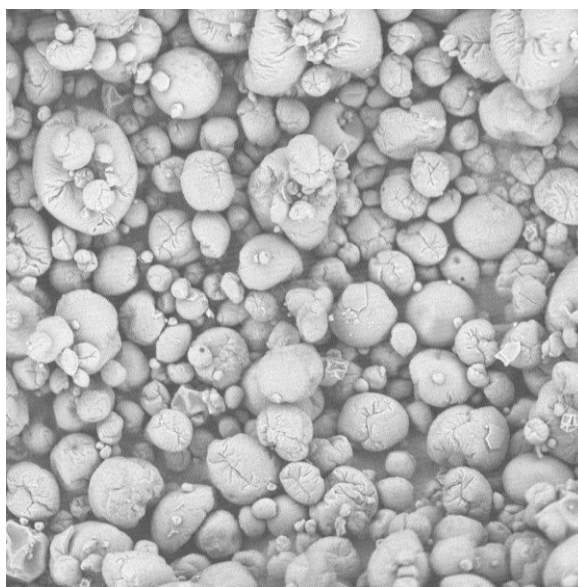
Obrázek 20: Vizuální charakteristika nasprejovaných částic sušených při 130 °C s NaOH; A – poměr 1:8,5:0,5, B – poměr 1:8:1, C – poměr 2:4:4, D – poměr 3:3:4, E – poměr 5:3:2

7.3.2 SEM analýza

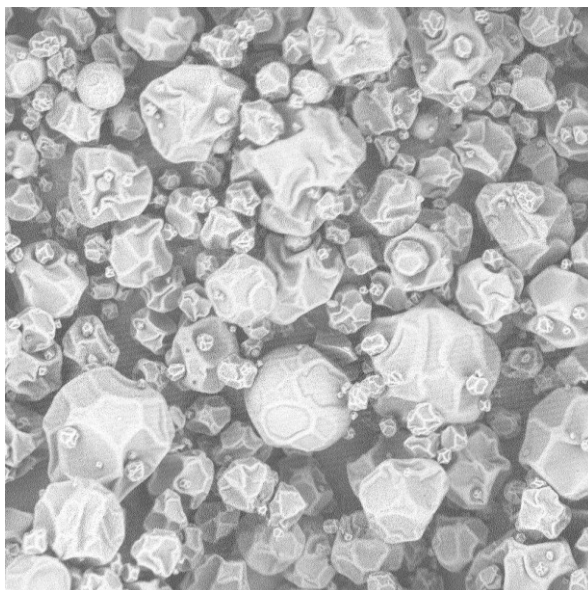
Morfologie částic připravených sprejovým sušením se odvíjí od použitého materiálu, ale také parametrech sušení a rozprašování [44]. Na snímcích z elektronového mikroskopu (SEM) je patrný rozdíl mezi částicemi glutenu rozpuštěnými v NaOH a v CH_3COOH . Na obrázku 21 je zřetelně vidět, že částice, které byly připraveny v zásaditém prostředí nemají kulovitý tvar a v porovnání s částicemi rozpuštěnými v kyselém rozpouštědle (Obrázek 22) jsou zdeformované a obsahují propadliny. Rovněž lze pozorovat, že částice rozpuštěné v NaOH mají větší rozměry (zvětšení 2500x). Toto lze přičítat strukturálním změnám, které nastávají během adjustace vodné fáze na odlišné hodnoty pH. Na obrázku 24, tedy u vzorku typu 5:3:2 v kyselém rozpouštědle sprejovaném při teplotě 130 °C, lze z větší části pozorovat rozpad jednotlivých částic, u kterých tedy nedošlo k zapouzdření aktivní látky. U většiny ostatních vzorků (Obrázek 23) nebyly pozorovány praskliny, což dokazuje velmi dobré zapouzdření aktivní látky, konkrétně oleje (n- Dodekanu) [36].



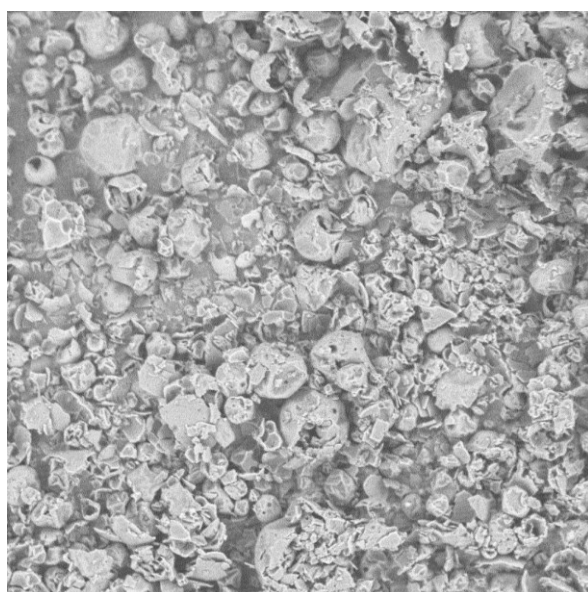
Obrázek 21: SEM nasprejovaných částic 1:8,5:0,5 s NaOH při teplotě 130 °C, zvětšení 2500x



Obrázek 22: SEM nasprejovaných částic 1:8,5:0,5 s CH₃COOH při teplotě 130 °C, zvětšení 2500x



Obrázek 23: SEM nasprejovaných částic 1:8:1 s NaOH při teplotě 150 °C, zvětšení 2500x



Obrázek 24: SEM nasprejovaných částic 5:3:2 s CH₃COOH při teplotě 130 °C, zvětšení 2500x

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zhodnotit využití odpadních biopolymerů, konkrétně glutenu, pro potenciální enkapsulaci biologicky aktivních látek. Konkrétně se jednalo o ověření emulgační schopnosti nativního glutenu v prostředí o různé hodnotě pH a následné použití takto připravených emulzí k tvorbě mikročastic metodou sprejového sušení. Mikročastice byly připraveny o různých poměrech oleje a obalových materiálů, maltodextrinu a glutenu.

Připravené emulze byly podrobeny stabilitní studii po dobu 6 měsíců. Za tuto dobu nedošlo k žádným výrazným změnám z hlediska sledovaných parametrů, tudíž je lze považovat za vysoce stabilní. U emulzí v zásaditém prostředí byly naměřeny vyšší hodnoty enkapsulační účinnosti (~63 do ~97 %) než v kyselém prostředí (~54 do ~68 %), což svědčí o preferenci daného pH prostředí pro dosažení dostatečné emulgační kapacity.

Při porovnání jednotlivých procesních parametrů bylo zjištěno, že na úspěšnost sprejování, morfologické a fyzikálně-mechanické vlastnosti připravených částic, měla především vliv vstupní teplota vzduchu a poměr jednotlivých složek ve směsi.

Zvláště patrný vliv vstupní teploty sušení a poměru jednotlivých složek směsi byl významný v případě výtěžnosti produktu. Nejvyšších výtěžků bylo dosaženo při teplotě sprejování 130 °C a při nejvyšším obsahu glutenu (poměr 1:8:1 při teplotě 130 °C).

Rozpustnost většiny připravených částic ve vodě byla obecně nízká, nejčastěji okolo 10 až 15 procent a nebyl prokázán teplotní vliv. Rozpustnost v prostředích o pH 2,7 a 12,8 byla ještě nižší než ve vodném prostředí. Jako nejlépe rozpustné vzorky v obou typech rozpouštědel se jevily vzorky 1:8,5:0,5 nasprejované při teplotě 110 °C, u nichž rozpustnost dosahovala 32,59 % v zásaditém prostředí a 22,14 % v kyselém prostředí. Je třeba poznamenat, že ačkoliv je zaznamenaná rozpustnost nízká, v porovnání s nativním glutenem, prakticky nerozpustným ve vodě při neutrálním pH, se jedná o určité zvýšení rozpustnosti.

Výsledné hodnoty sušiny se pohybovaly u většiny vzorků okolo 90 %. Bylo zjištěno, že obsah sušiny roste s teplotou sprejování, a vlhkost stoupá s rostoucím obsahem aktivní látky.

V případě hustoty se projevil významný vliv hodnoty pH prostředí, kdy částice rozpuštěné v kyselém prostředí dosahovaly vyšších hodnot. Vliv obsahu oleje či vstupní teploty na výslednou hustotu prokázán nebyl.

Velikost připravených částic se pohybovala v rozmezí 8,99 až 22,76 μm . Největší velikost částic byla prokázána u vzorků rozpuštěných v zásaditém prostředí a s nejnižším obsahem glutenu, tedy lze zde pozorovat značný vliv složení obalové vrstvy na velikost částic. Teplota sušení měla na velikost částic jen nepatrný vliv. Jako nejvíce homogenní vzorek dle hodnoty spanu byl určen ten s nejnižším obsahem glutenu (poměr 1:8,5:0,5 při teplotě 110 °C). Složení obalové vrstvy mělo rovněž prokazatelný vliv i na homogenitu.

Nakonec byly částice posuzovány z hlediska jejich morfologie. Na vzhled mělo vliv pouze pH prostředí, ve kterém byl gluten rozpuštěn. Na snímcích z elektronového mikroskopu byly jasně patrné rozdíly mezi částicemi rozpuštěnými v NaOH, které nebyly kulaté, ale zdeformované, a částicemi rozpuštěnými v CH₃COOH, které měly kulovitý tvar.

Ve výsledku lze tedy shrnout, že na konečné vlastnosti nasprejovaných částic mají vliv především teplota sušení, složení obalové vrstvy a pH prostředí, ve kterém byl gluten rozpuštěn. Téma využití glutenu i dalších vedlejších zemědělských surovin poskytuje široký základ pro další výzkumnou činnost v této oblasti.

V rámci bakalářské práce byly úspěšně připraveny stabilní emulze i částice na bázi odpadního proteinu glutenu. Zvláště pak schopnost glutenu uplatnit se jako obalový materiál k přípravě mikročástic se jeví jako aplikace s možným potenciálem. Výsledky experimentální části ukázaly že, gluten při vhodně adjustované hodnotě pH, může představovat alternativu k nejvíce používanému obalovému materiálu s emulgační schopností, arabské gumě.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] L. A. Bolos, C.-J. Lagerkvist, A. Normann a K. Wendin. *In the eye of the beholder: Expected and actual liking for apples with visual imperfections*. Food Qual. Prefer. [online]. 2021. roč. 87. s. 104065. [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.foodqual.2020.104065.
- [2] G. Cui, F. Lü, H. Zhang, L. Shao, a P. He. *Critical insight into the fate of antibiotic resistance genes during biological treatment of typical biowastes*, Bioresour. Technol. [online]. 2020. roč. 317. s. 123974. [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.biortech.2020.123974.
- [3] FAO. *Food loss and food waste*. [online]. 2019. [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/>
- [4] C. M. Galanakis, *Food waste recovery: processing technologies and industrial techniques*. London. Elsevier. 2015. ISBN: 978-0-12-800351-0.
- [5] V. T. Nguyen. *Recovering bioactive compounds from agricultural wastes*. Hoboken. NJ: Wiley. [online]. 2017.
- [6] M. Schuchová. *Příprava a charakterizace biopolymerních částic s obsahem bioaktivních látek*. [online]. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Zlín. 2020. [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: https://stag.utb.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc_pagenavigationalstate=AAAAAQAEODczMRMBAAAAAQAIc3RhdGVlZXkAAAABABQOTIyMzM3MjAzNjg1NDc3MzUwMQAAAAA*.
- [7] M. Karaaslan, F. Şengün, Ü. Cansu, B. Başığit, H. Sağlam, a A. Karaaslan. *Gum arabic/maltodextrin microencapsulation confers peroxidation stability and antimicrobial ability to pepper seed oil*. Food Chem. [online]. 2021. roč. 337. s. 127748. [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127748.
- [8] K. Waldron, Ed., *Handbook of waste management and co-product recovery in food processing. I.*. Cambridge: Woodhead. 2007.
- [9] A. Tauferová. *Technologie a hygiena potravin rostlinného původu I., II.* Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, Ústav hygieny a technologie vegetabilních potravin. [Online]. 2014. [cit. 2020-2-22]. Dostupné z: https://fvhe.vfu.cz/files/rostliny-technologie_a_hyg._potravin,skripta.pdf

- [10] M. Zgařarová. Obiloviny jako součást lidské stravy. Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín. [Online]. [cit. 2020-2-22]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/6136/zga%C5%BEarov%C3%A1_2008_bp.pdf?sequence=1
- [11] J. Příhoda, M. Hrušková, a P. Skřivan. *Cereální chemie a technologie I: cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. [Online]. 2003. [cit. 2020-2-22]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-530-7/pages-img/001.html
- [12] O. Ogilvie et al. *Proteomic modelling of gluten digestion from a physiologically relevant food system: A focus on the digestion of immunogenic peptides from wheat implicated in celiac disease*. Food Chem. [online]. 2020. roč. 333. s. 127466. [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127466.
- [13] G. Meineri, A. Candellone, F. Dal Bello, D. Gastaldi, C. Medana, a P. G. Peiretti. *Gluten contamination of canned and dry grain-free commercial pet foods determined by HPLC-HRMS*. Ital. J. Anim. Sci. [online]. 2020. roč. 19. č. 1. s. 253–261. [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: doi: 10.1080/1828051X.2019.1705190.
- [14] A. M. Magallanes López, J.-B. Ohm, F. A. Manthey, J. Rao, a S. Simsek. *Gluten extraction from deoxynivalenol contaminated wheat by wet milling*. Food Control. [online]. 2021. roč. 120. s. 107513. [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107513.
- [15] U. S. van der Schaaf, J. Schreck, V. L. Pietsch, a H. P. Karbstein. *Wheat gluten stabilized emulsions: Influence of homogenization process, pH, and ethanol concentration on droplet breakup and stabilization*. J. Food Eng. [online]. 2020. roč. 287. s. 110136. [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110136.
- [16] T. Lu, F. Yu, C. Xue, a B. Han. *Identification, classification, and quantification of three physical mechanisms in oil-in-water emulsions using AlexNet with transfer learning*. J. Food Eng. [online]. 2021. roč. 288. s. 110220. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110220.
- [17] Jana Sedlaříková. *Chemie a technologie tenzidů II*. [online]. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <http://kosmetika.ft.utb.cz/Services/Downloader.ashx?id=134&disposition=inline>

- [18] J. Yang et al. *Effect of diacylglycerol interfacial crystallization on the physical stability of water-in-oil emulsions*. Food Chem. [online]. 2020. roč. 327. s. 127014. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127014.
- [19] M. Stasse, E. Laurichesse, T. Ribaut, O. Anthony, V. Héroguez a V. Schmitt. *Formulation of concentrated oil-in-water-in-oil double emulsions for fragrance encapsulation*. Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp. [online]. 2020. roč. 592. s. 124564. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.colsurfa.2020.124564.
- [20] C. Lin, D. K. Debeli, L. Gan, J. Deng, L. Hu, a G. Shan. *Polyether-modified siloxane stabilized dispersion system on the physical stability and control release of double (W/O/W) emulsions*. Food Chem. [online]. 2020. roč. 332. s. 127381. [cit. 2020-11-17]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127381.
- [21] L. Bartovská a M. Šišková. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. [online]. 2005. [cit. 2020-1-21]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-579-X/pages-pdf/005.html
- [22] E. Flores-Andrade, Z. Allende-Baltazar, P. E. Sandoval-González, M. Jiménez-Fernández, C. I. Beristain a L. A. Pascual-Pineda. *Carotenoid nanoemulsions stabilized by natural emulsifiers: Whey protein, gum Arabic, and soy lecithin*. J. Food Eng. [online]. 2021. roč. 290, s. 110208. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110208.
- [23] D. F. Tirado, A. Latini, a L. Calvo. *The encapsulation of hydroxytyrosol-rich olive oil in Eudraguard® protect via supercritical fluid extraction of emulsions*. J. Food Eng. [online]. 2021. roč. 290. s. 110215. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110215.
- [24] BÜCHI Labortechnik AG, *Training Papers Spray Drying*. [online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: http://static1.buchi.com/sites/default/files/downloads/Set_3_Training_Papers_Spray_Drying_en_01.pdf?996b2db24007502bd69c913b675467cfc63880ba.
- [25] S. Okada, S. Ohsaki, H. Nakamura, a S. Watano. *Estimation of evaporation rate of water droplet group in spray drying process*. Chem. Eng. Sci. [online]. 2020. roč. 227. s. 115938. [cit. 2020-3-28]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ces.2020.115938.

- [26] DONAU LAB Prague. Sprejové sušárny a enkapsulátory. [online]. [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: <https://donaulab.cz/Produkty/Product-Line/productgroup12/1108/productgroup/1064>.
- [27] Diagram sprejového sušení. [online]. [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: <http://www.healthharvestfood.com/spray-dry>
- [28] L. M. De Mohac, B. Raimi-Abraham, R. Caruana, G. Gaetano, a M. Licciardi. *Multicomponent solid dispersion a new generation of solid dispersion produced by spray-drying*. J. Drug Deliv. Sci. Technol. [online]. 2020. roč. 57, s. 101750. [cit. 2020-2-28]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jddst.2020.101750.
- [29] M. J. Maltesen, S. Bjerregaard, L. Hovgaard, S. Havelund, a M. van de Weert. *Quality by design – Spray drying of insulin intended for inhalation*. Eur. J. Pharm. Biopharm. [online]. 2008. roč. 70, č. 3, s. 828–838. [cit. 2020-3-28]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ejpb.2008.07.015.
- [30] Desai KGH, Park HJ. *Recent developments in microencapsulation of food ingredients*. Dry Technol. [online]. 2005. s. 1361–1394. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: doi: 10.1081/DRT-200063478
- [31] Painsi M, Aliakbarian B, Casazza AA, Lagazzo A, Botter R, Perego P. *Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: a study of operative parameters*. LWT Food Sci Technol. [online]. 2015. s. 177–186. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.lwt.2015.01.022
- [32] J. Quintero, A. Naranajo, G. Ciro, a J. Rojas. *Vegetable Proteins: Non-sensitizing Encapsulation Agents for Bioactive Compounds*. [online]. 2017. [cit. 2020-3-28]. Dostupné z: doi: 10.5772/intechopen.70378.
- [33] A. M. Kalušević et al. *Effects of different carrier materials on physicochemical properties of microencapsulated grape skin extract*. J. Food Sci. Technol. [online]. 2017. roč. 54, č. 11, s. 3411–3420. [cit. 2020-5-10]. Dostupné z: doi: 10.1007/s13197-017-2790-6.
- [34] D. Sun-Waterhouse, S. S. Wadhwa, a G. I. N. Waterhouse. *Spray-Drying Microencapsulation of Polyphenol Bioactives: A Comparative Study Using Different Natural Fibre Polymers as Encapsulants*. Food Bioprocess Technol. [online]. 2013. roč. 6. č. 9. s. 2376–2388. [cit. 2020-5-10]. Dostupné z: doi: 10.1007/s11947-012-0946-y.

- [35] A. Belščak-Cvitanović et al. *Efficiency Assessment of Natural Biopolymers as Encapsulants of Green Tea (Camellia sinensis L.) Bioactive Compounds by Spray Drying*. Food Bioprocess Technol. [online]. 2015. roč. 8. č. 12. s. 2444–2460. [cit. 2020-5-10]. Dostupné z: doi: 10.1007/s11947-015-1592-y.
- [36] M. J. Navarro-Flores, L. M. C. Ventura-Canseco, R. Meza-Gordillo, T. del R. Ayora-Talavera, a M. Abud-Archila. *Spray drying encapsulation of a native plant extract rich in phenolic compounds with combinations of maltodextrin and non-conventional wall materials*. J. Food Sci. Technol. [online]. 2020. roč. 57. č. 11. s. 4111–4122. [cit. 2020-5-10]. Dostupné z: doi: 10.1007/s13197-020-04447-w.
- [37] L. Liao, Y. Luo, M. Zhao, a Q. Wang. *Preparation and characterization of succinic acid deamidated wheat gluten microspheres for encapsulation of fish oil*. Colloids Surf. B Biointerfaces. [online]. 2012. roč. 92. s. 305–314. [cit. 2020-5-10]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.colsurfb.2011.12.003.
- [38] C. Duclairoir, A. M. Orecchioni, P. Depraetere, a E. Nakache. *α -Tocopherol encapsulation and in vitro release from wheat gliadin nanoparticles*. J. Microencapsul. [online]. 2002. roč. 19. č. 1. s. 53–60. [cit. 2020-5-10]. Dostupné z: doi: 10.1080/02652040110055207.
- [39] Husniati, E. Mardiyati, a N. M. N. Kaswati. *Encapsulation of Gluten*. Procedia Chem. [online]. 2015. roč. 16. s. 457–464. [cit. 2020-5-10]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.proche.2015.12.079.
- [40] Malvern Panalytical Ltd. [online]. Velká Británie. 2017. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.malvernpanalytical.com/en>
- [41] Klára Šafářová. Skenovací (rastrovací) elektronová mikroskopie. [online]. 2009. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: http://nanosystemy.upol.cz/download/2009/12-ws/safarova_sem.pdf
- [42] W. Wang, C. Dufour, a W. Zhou. *Impacts of spray-drying conditions on the physicochemical properties of soy sauce powders using maltodextrin as auxiliary drying carrier*. CyTA - J. Food. [online]. 2015. s. 1–8. [cit. 2020-5-10]. Dostupné z: doi: 10.1080/19476337.2015.1014430.
- [43] D. Krishnaiah, R. Nithyanandam, a R. Sarbatly. *A Critical Review on the Spray Drying of Fruit Extract: Effect of Additives on Physicochemical Properties*. Crit. Rev. Food

Sci. Nutr. [online]. 2014. roč. 54. č. 4, s. 449–473. [cit. 2020-5-10]. Dostupné z: doi: 10.1080/10408398.2011.587038.

[44] D. Santos, A. C. Maurício, V. Sencadas, J. D. Santos, M. H. Fernandes, a P. S. Gomes. *Spray Drying: An Overview*. in *Biomaterials - Physics and Chemistry - New Edition*. [online]. 2018. [cit. 2020-5-10]. Dostupné z: doi: 10.5772/intechopen.72247.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

°	stupně
%	procenta
AL	aktivní látka
AG	arabská guma
CH ₃ COOH	kyselina octová
cm ³	centimetr krychlový
g	gram
kV	kilo Volt
l/hod	průtok litr za hodinu
MD	maltodextrin
ml	mililitr
mm	milimetr
NaOH	hydroxid sodný
nm	nanometr
O/O	emulze typu olej v oleji
O/W	emulze typu olej ve vodě
O/W/O	emulze typu oleje ve vodě v oleji
s	sekunda
SEM	skenovací elektronová mikroskopie
wt. %	hmotnostní procenta
W/O	emulze typu voda v oleji
W/O/W	složená emulze typu voda v oleji ve vodě
μm	mikrometr

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Potravinový řetězec a fáze ztráty potravin a výskytu potravinového odpadu [4]</i>	12
<i>Obrázek 2: Hlavní zemědělská odvětví při získávání bioaktivních sloučenin [5]</i>	13
<i>Obrázek 3: Potravinový odpad v jednotlivých sektorech vyprodukovaný v Evropě [upraveno podle 8]</i>	15
<i>Obrázek 4: Anatomická stavba obilného zrna: a – oplodí, b – osemení, c – vrstva aleuronových buněk, d – endosperm, e – vrstva palisádových buněk, f – štítek, g – koleoptile, pochva listu, h – základ 1. pravého listu, ch – vzrostný vrchol, i – mezokotyl, j – základ kořínku, k – kořenová pochva [10].</i>	17
<i>Obrázek 5: Mechanismy rozpadu emulze: krémování (a), sedimentace (b), flokulace (c), fázová inverze (d), koalescence (e), Ostwaldovo zrání (f) [17].</i>	22
<i>Obrázek 6: Schéma procesu mikroenkapsulace – Emulze (D) je tvořena z kapalně fáze (A), nosiče (B), např. maltodextrin, a filmotvorné látky (C), např. arabská guma. Poté se emulze nastříká na malé kapičky (E) a po odpaření rozpouštědla vzniká pevná matrice [24].</i>	26
<i>Obrázek 7: Laboratorní sprejová sušárna Mini Spray Dryer B-290 [26]</i>	27
<i>Obrázek 8: Diagram sprejového sušení [27]</i>	28
<i>Obrázek 9: Stabilita emulzí v průběhu času</i>	38
<i>Obrázek 10: Enkapsulační účinnost (EE) emulzí v zásaditém prostředí (pH=12,8)</i>	39
<i>Obrázek 11: Emulzní index (EI) emulzí v zásaditém prostředí (pH=12,8)</i>	39
<i>Obrázek 12: Enkapsulační účinnost (EE) emulzí v kyselém prostředí (pH=2,7)</i>	40
<i>Obrázek 13: Emulzní index (EI) emulzí v kyselém prostředí (pH=2,7)</i>	40
<i>Obrázek 14: Výťažnost zásaditých vs kyselých vzorků u všech poměrů při teplotě 130 °C.</i>	43
<i>Obrázek 15: Porovnání distribučních křivek podle teploty sušení vzorků typu 1:8,5:0,5 v zásaditém prostředí.</i>	47
<i>Obrázek 16: Porovnání distribučních křivek podle teploty sušení vzorků typu 1:8,5:0,5 v kyselém prostředí.</i>	47
<i>Obrázek 17: Porovnání distribučních křivek podle složení vzorků v zásaditém prostředí nasprejovaných při teplotě 130 °C</i>	48
<i>Obrázek 18: Porovnání distribučních křivek podle složení vzorků v kyselém prostředí nasprejovaných při teplotě 130 °C</i>	48
<i>Obrázek 19: Vizuální charakteristika nasprejovaných částic sušených při 130 °C; A-C s NaOH a D-F s CH₃COOH; A – poměr 2:4:4, B – poměr 3:3:4, C – poměr 5:3:2, D – poměr 2:4:4, E – poměr 3:3:4, F – poměr 5:3:2</i>	49
<i>Obrázek 20: Vizuální charakteristika nasprejovaných částic sušených při 130 °C s NaOH; A – poměr 1:8,5:0,5, B – poměr 1:8:1, C – poměr 2:4:4, D – poměr 3:3:4, E – poměr 5:3:2</i>	50
<i>Obrázek 21: SEM nasprejovaných částic 1:8,5:0,5 s NaOH při teplotě 130 °C, zvětšení 2500x.</i>	51

<i>Obrázek 22: SEM nasprejovaných částic 1:8,5:0,5 s CH₃COOH při teplotě 130 °C, zvětšení 2500x.....</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 23: SEM nasprejovaných částic 1:8:1 s NaOH při teplotě 150 °C, zvětšení 2500x</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 24: SEM nasprejovaných částic 5:3:2 s CH₃COOH při teplotě 130 °C, zvětšení 2500x.....</i>	<i>52</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Příklad obilovin s vysokou přidanou hodnotou [upraveno podle 5].....</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka 2: Srovnání průměrných hmotnostních podílů jednotlivých částí zrna pšenice a kukuřice [11].....</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 3: Účinky parametrů sprejového sušení na částice [28]</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 4: Fyzikálně-mechanické vlastnosti částic s NaOH po nasprejování.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 5: Fyzikálně-mechanické vlastnosti částic s CH₃COOH po nasprejování.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 6: Stanovení rozpustnosti nasprejovaných částic při teplotě sušení 130 °C</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 7: Stanovení velikosti částic s NaOH.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 8: Stanovení velikosti částic s CH₃COOH</i>	<i>46</i>