

# **Příprava a charakterizace biopolymerních částic s obsahem bioaktivních látek**

Bc. Markéta Schuchová

---

Diplomová práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

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

Akademický rok: 2019/2020

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Markéta Schuchová**  
Osobní číslo: **T18364**  
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie tuků, detergentů a kosmetiky**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Příprava a charakterizace biopolymerních částic s obsahem bioaktivních látek**

### **Zásady pro vypracování**

1. V rámci teoretické části vypracujte literární rešerši na dané téma. Věnujte se metodám enkapsulace biologicky aktivních látek s důrazem na metodu sprejového sušení.
2. V praktické části připravte částice na bázi biopolymerů s obsahem bioaktivních látek pomocí techniky sprejového sušení.
3. Připravené systémy dále charakterizujte vhodnými metodami.
4. Získané výsledky zpracujte, přehledně uspořádejte a diskutujte.

Forma zpracování diplomové 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. MCCLEMENTS, D. J. Nanoparticle- and microparticle-based delivery systems: encapsulation, protection and release of active compounds. Boca Raton: CRC Press, 2015. ISBN 978-1-4822-3315-5.
3. ANANDHARAMAKRIS, C. a C. ANANDHARAMAKRISHNAN. Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation. Wiley, 2015. ISBN 1-118-86419-0.
4. BHANDARI, Bhesh. Handbook of food powders: processes and properties. Oxford: Woodhead Publishing, 2013. Woodhead Publishing series in food science, technology and nutrition. ISBN 978-0-85709-513-8.

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

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

Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

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

---

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

Ve Zlíně dne 20. února 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- 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 autorského zákona 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 diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá přípravou biopolymerních částic pomocí metody sprejového sušení a následně jejich charakterizací. Teoretická část je věnována popisu metody sprejového sušení, konstrukci sprejové sušárny a průběhu sušení. Dále je vysvětlen pojem enkapsulace a její praktické využití v kosmetice, potravinářství a farmacii. Experimentální část se zabývá přípravou ve vodě rozpustných částic na bázi biopolymerů, jejichž aktivní složku tvoří olej z pšeničných klíčků nebo vitamínu E pomocí metody sprejového sušení. V rámci testovaných formulací je sledován vliv teploty sušení, poměru oleje k obalovému materiálu a složení obalového materiálu na účinnost sprejového sušení. Připravené částice jsou charakterizovány z hlediska různých fyzikálně chemických charakteristik – výtěžnosti, enkapsulační účinnosti, rozpustnosti ve vodě, velikosti a distribuce velikostí částic a morfologie.

Klíčová slova: sprejové sušení, enkapsulace, vitamín E, maltodextrin, arabská guma

## **ABSTRACT**

Diploma thesis focuses on the preparation and characterization of biopolymer-based particles by using the spray drying method. Theoretical part of the theses describes the spray drying procedure, construction of spray dryer and summarizes the drying process. Next part deals with the concept of encapsulation and its practical application in cosmetics, food industry and pharmacy. Experimental part

focuses on the preparation of water-soluble biopolymer-based particles containing the wheat-germ oil or vitamin as an active ingredient, by using of spray drying technique. Production yield of formulations prepared was evaluated in terms of spray drying temperature, oil to core ratio and wall material composition. Particles prepared were characterized by means of various physical and chemical properties such as yield, encapsulation efficiency, water solubility, particle size, particle size distribution and morphology.

Keywords: spray drying, encapsulation, vitamin E, maltodextrine, arabic gum

Ráda bych na tomto místě velmi poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Veronice Mikulcové, PhD. za odborné vedení, poskytnuté konzultace, mnoho cenných rad, ochotu, čas a trpělivost, kterou mi věnovala při vypracování této diplomové práce.

Poděkování patří i mé a manželově rodině, která mi pomáhala s péčí o dceru, a manželovi, který mi byl po celou dobu studia a během psaní diplomové práce velkou oporou.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ENKAPSULACE</b> .....	<b>12</b>
1.1 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO ENKAPSULACI .....	12
1.1.1 Polysacharidy .....	12
1.1.1.1 Arabská guma .....	13
1.1.1.2 Maltodextrin.....	14
1.1.2 Proteiny .....	15
1.1.3 Lipidy .....	15
1.1.4 Syntetické polymery.....	15
1.2 ENKAPSULAČNÍ TECHNIKY .....	15
1.2.1 Emulsifikace.....	16
1.3 ENKAPSULACE AKTIVNÍCH LÁTEK .....	17
1.3.1 Potravinářství .....	17
1.3.1.1 Ochrana aktivních složek.....	18
1.3.1.2 Řízené uvolňování .....	18
1.3.1.3 Maskování chuti.....	18
1.3.1.4 Usnadnění manipulace.....	18
1.3.2 Kosmetika .....	19
1.3.2.1 Enkapsulace polymery .....	19
1.4 ENKAPSULACE LIPOFILNÍCH LÁTEK .....	19
1.4.1 Enkapsulační materiály .....	20
1.4.2 Způsoby enkapsulace lipofilních látek.....	20
1.4.3 Enkapsulace vitaminů .....	21
1.5 VYUŽITÍ ENKAPSULACE .....	23
1.5.1 Kosmetický průmysl .....	23
1.5.1.1 Enkapsulace UV filtrů .....	23
1.5.1.2 Mikrokapsle a mikročástice k exfoliaci a estetickým účelům .....	24
1.5.1.3 Pigmenty měnící barvu pomocí mikroenkapsulace .....	24
1.5.1.4 Duté polymerní částice .....	25
1.5.1.5 Enkapsulační systémy na bázi lipidů .....	25
1.5.2 Potravinářský průmysl .....	26
<b>2 SPREJOVÉ SUŠENÍ</b> .....	<b>27</b>
2.1 VÝZNAM SPREJOVÉHO SUŠENÍ.....	27
2.2 KONSTRUKCE SPREJOVÉ SUŠÁRNY .....	27
2.2.1 Atomizéry.....	27
2.2.1.1 Rotační atomizér .....	28
2.2.1.2 Tryskový atomizér (hydraulická tryska).....	29
2.2.1.3 Pneumatický atomizér (dvouproudová/tříproudová/čtyřproudová tryska) 30	
2.2.1.4 Ultrazvukový atomizér .....	31
2.2.2 Sušící komora.....	32
2.2.3 Podpůrná zařízení.....	33

2.3	PRŮBĚH SPREJOVÉHO SUŠENÍ .....	33
2.3.1	Atomizace .....	34
2.3.2	Kontakt kapiček s horkým vzduchem .....	34
2.3.2.1	Souproudé sušárny .....	35
2.3.2.2	Protiproudé sušárny .....	35
2.3.2.3	Kombinované sušárny.....	36
2.3.2.4	Otevřený cyklus .....	37
2.3.2.5	Uzavřený cyklus .....	37
2.3.2.6	Polouzavřený cyklus .....	37
2.3.2.7	Aseptické sušení .....	37
2.3.3	Odpařování rozpouštědla .....	37
2.3.4	Regenerace .....	38
2.3.5	Přídavné procesy .....	39
2.4	PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ SPREJOVÉ SUŠENÍ .....	39
2.4.1	Vstupní teplota sušícího plynu .....	40
2.4.2	Rychlost průtoku sušícího plynu .....	41
2.4.3	Tlak atomizovaného plynu.....	41
2.4.4	Rychlost přísunu a koncentrace surovin .....	41
2.4.5	Volba rozpouštědla.....	42
2.4.6	Výstupní teplota sušícího plynu .....	42
2.5	VYUŽITÍ SPREJOVÉHO SUŠENÍ .....	42
2.5.1	Medicínské aplikace .....	43
2.5.2	Aseptické sušení .....	43
2.5.3	Sprejové sušení mikroorganismů .....	44
2.5.4	Rostlinné extrakty .....	44
2.5.5	Čisticí prostředky, mýdla a povrchově aktivní látky .....	44
2.5.6	Potravinářství .....	45
<b>3</b>	<b>SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>47</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>48</b>
<b>4</b>	<b>CÍL PRÁCE .....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>POUŽITÉ CHEMIKÁLIE, ZAŘÍZENÍ A POSTUPY .....</b>	<b>50</b>
5.1	CHEMIKÁLIE.....	50
5.2	POMŮCKY A ZAŘÍZENÍ .....	50
5.3	METODY.....	51
5.3.1	Stanovení sušiny vitamínu E a oleje .....	51
5.3.2	Sprejové sušení.....	51
5.3.3	Stanovení enkapsulační účinnosti pomocí sušiny .....	52
5.3.4	Stanovení výtěžnosti sprejování.....	52
5.3.5	Stanovení rozpustnosti nasprejovaných částic .....	52
5.3.6	Stanovení velikosti částic .....	53
5.3.7	SEM analýza .....	53
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE.....</b>	<b>55</b>
6.1	STANOVENÍ VÝTĚŽNOSTI SPREJOVÁNÍ .....	55
6.1.1	Částice s obsahem oleje .....	55
6.1.2	Částice s obsahem vitamínu E.....	57



6.2	VIZUÁLNÍ CHARAKTERISTIKA.....	58
6.3	STANOVENÍ ENKAPSULAČNÍ ÚČINNOSTI POMOCÍ SUŠINY .....	59
6.3.1	Částice s obsahem oleje .....	59
6.3.2	Částice s obsahem vitamínu E.....	61
6.4	STANOVENÍ ROZPUSTNOSTI NASPREJOVANÝCH ČÁSTIC .....	62
6.4.1	Částice s obsahem oleje .....	62
6.4.2	Částice s obsahem vitamínu E.....	64
6.5	STANOVENÍ VELIKOSTI ČÁSTIC .....	65
6.5.1	Částice s obsahem oleje .....	65
6.5.2	Částice s obsahem vitamínu E.....	69
6.6	SEM ANALÝZA.....	71
6.6.1	Částice s obsahem oleje .....	71
6.6.2	Částice s obsahem vitamínu E.....	71
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>76</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>87</b>

## ÚVOD

Metoda sprejového sušení patří mezi nejstarší techniky enkapsulace. Tento proces je jednofázový, dochází k rychlému a šetrnému odstranění rozpouštědla, čímž vzniká suchý prášek. Jednou z hlavních výhod metody sprejového sušení je možnost využití i u látek citlivých na vysoké teploty. Velikost vzniklých částic je možné ovlivnit koncentrací roztoku, typem sprejové sušárny nebo průměrem trysky. Výsledné částice mají různou morfologii, mohou být kulovité, duté, porézní nebo mohou obsahovat enkapsulovaný materiál. Vzniklý prášek se po kontaktu s vodou dobře smáčí a rozpouští. Tato metoda neslouží pouze k enkapsulaci, je vhodná také k modifikaci velikosti částic, potahování, aglomeraci nanočástic nebo krystalizaci.

V kosmetickém a potravinářském průmyslu je často využíván vitamín E pro své silné antioxidační účinky, chrání organismus před oxidačním stresem a volnými radikály. Vlivem světla, oxidace vzdušným kyslíkem a dlouhodobého skladování dochází k jeho degradaci, a tedy i ztrátám. Začlenění do polymerní matrice je jedním ze způsobů, jak tyto nevýhody překonat a zároveň zlepšit jeho rozpustnost ve vodě.

Nosiče bioaktivních látek musí splňovat několik kritérií. Zejména musí být dobře rozpustné v používaném rozpouštědle, výhodou je i nízká viskozita a kompatibilita s jinými složkami. Volba ochranného materiálu ovlivňuje samotnou přípravu i výsledný charakter částic [24]. Jako vhodné materiály k zapouzdření se jeví biopolymerní látky. Biopolymery jsou materiály běžně se vyskytující v přírodě pocházející z živočišných i rostlinných zdrojů ale i bakterií. Biopolymery se těší velké oblibě v řadě odvětví pro svou dobrou biologickou rozložitelnost a biokompatibilitu. Využívají se v kosmetickém, potravinářském a textilním průmyslu nebo ve zdravotnictví atp.

Předkládaná diplomová práce se zabývá přípravou ve vodě rozpustných biopolymerních částic na bázi maltodextrinu a arabské gumy s obsahem vitamínu E metodou sprejového sušení pro využití v potravinářském a kosmetickém průmyslu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ENKAPSULACE

Enkapsulaci lze definovat jako proces zachycení jedné látky (aktivní látky) v jiné látce (nosiči), která tvoří fyzikální bariéru aktivní látky proti nežádoucím účinkům (vlhko, teplo, extrémní podmínky), čímž zvyšuje stabilitu a zlepšuje životaschopnost aktivní látky. V makro měřítku si lze představit enkapsulaci na vejci, kdy skořápka zapouzdří žloutek. Látka, která zapouzdřuje je nazývána potah, membrána, obal, kapsle, nosič či matrice. Zachyceným materiálem bývá obvykle kapalina, ale může to být také plyn či pevná látka. Aktivními látkami mohou být konkrétně antimikrobní látky, nutraceutika, a léčiva, vitamíny, minerály, antioxidanty, barvivy, pufrý, enzymy a další látky. Enkapsulované látky bývají obvykle ve formě částic s průměrem v rozmezí od několika nanometrů až po milimetry [1 (str. 229–250), 2, (str. 37–43), 3 (str. 3–14)].

Enkapsulace se využívá v mnoha odvětvích jako je potravinářský, farmaceutický, chemický či kosmetický průmysl. Obalové materiály používané k enkapsulaci musejí splňovat určitá kritéria, v návaznosti na jejich konečném použití. Mezi důležité parametry se řadí biologická rozložitelnost, potravinářská či dermatologická nezávadnost [1 (str. 229–250), 2 (str. 37–43), 3 (str. 3–14)].

### 1.1 Materiály používané pro enkapsulaci

Obalové materiály používané pro potravinářský průmysl musejí splňovat přísná kritéria. Musejí být certifikovány a zařazeny mezi aditiva patřící do skupiny “všeobecně považovaných za bezpečné“ (GRAS – Generally Recognised As Safe). K nejdůležitějším parametrům patří potravinářská nezávadnost, biodegradabilita a také schopnost tvořit bariéru mezi vnitřní fází a jejím okolí. Vhodný obalový materiál by dále měl být přírodního původu, poskytovat maximální ochranu aktivní látce před vnějšími podmínkami a zachovat vlastnost aktivní látky během zpracování nebo skladování. V neposlední řadě je nutné, aby použitý materiál chemicky neinteragoval s enkapsulovanou látkou a měl dobré reologické vlastnosti i při vysokých koncentracích. Většinu materiálů používaných v potravinářském sektoru představují biopolymery [1 (str. 229–250), 2 (str. 88–91)].

#### 1.1.1 Polysacharidy

Polysacharidy představují nejrozšířenější skupinu látek používaných v potravinářství. Při enkapsulaci se využívá jejich dobré schopnosti absorbovat těkavé látky z prostředí. Nejpou-

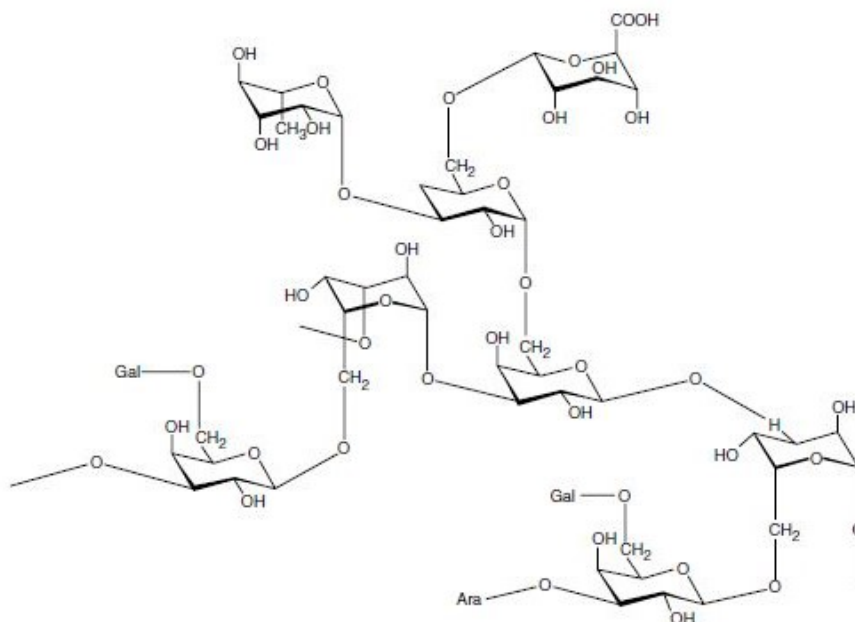
živanějšími zástupci jsou škrob a jeho deriváty (amylosa, amylopektin, dextriny, maltodextrin, polydextrosa) a dále celulosa a její deriváty. Za zmínku stojí také sacharid inulin a trehalosa. Inulin slouží jako prebiotikum, čímž příznivě ovlivňuje činnost probiotických bakterií. Trehalosa slouží naopak jako podpůrná výživa pro kvasinky. Další z polysacharidů, ethylcelulosa, se díky své dobré rozpustnosti ve vodě hodí k enkapsulaci ve hydrofilních vitamínů [1 (str. 229–250), 2 (str. 88–91)].

Exsudáty (látky vylučované rostlinami na povrch v důsledku poranění) a rostlinné extrakty jsou k enkapsulaci využívány též. Jedná se konkrétně o arabskou, tragantovou, karaya a karobovou gumu, dále galaktomanany, pektin anebo karagenany či algináty. Zvláště arabská guma je v průmyslu oblíbeným materiálem., např. běžně pokrývá různé tobolky. Její nevýhodou je však vysoká cena. Dalšími oblíbenými materiály k enkapsulaci jsou algináty, jež se extrahují z řas a díky reakci s ionty vápníku tvoří stabilní gely [1 (str. 229–250), 2 (str. 88–91)].

Za zmínku stojí i mikrobiální a živočišné polysacharidy jako je dextran, chitosan, xanthan nebo gellan. Ve farmaceutickém průmyslu je především studován chitosan pro své potenciální využití při vývoji systémů na dodávání léčiv. Je to materiál velmi dobře biologicky rozložitelný, biokompatibilní a gelotvorný [1 (str. 229–250), 2 (str. 88–91)].

#### ***1.1.1.1 Arabská guma***

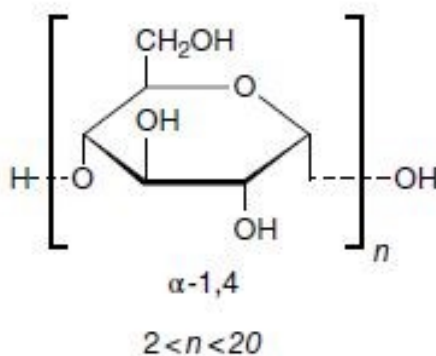
Arabská guma (dále jen AG, Obr. 1) je vysoce rozvětvený komplexní biopolymer, jehož hlavními jednotkami jsou D-galaktosa, L-arabiosa, 4-O-methyl-D-glukuronát a L-ramnosa v poměru 4:2:2:1. AG také obsahuje 1–2 % bílkovin. Používá se nejčastěji jako enkapsulační materiál pro lipofilní látky. Má výborné emulgační vlastnosti (připisované obsaženým bílkovinám), schopnost tvořit film a má také nízkou viskozitu. AG chrání lipidy před lipooxygenázou a volnými radikály, tím že se sorbuje na povrch lipidových kapiček. Tvoří emulze stabilní v širokém rozmezí pH. Mezi negativa řadíme omezenou ochranu proti oxidačním reakcím, protože působí jako polopropustná membrána, což může ohrozit skladovatelnost enkapsulovaného produktu. AG má také vysokou cenu [2 (str. 88–91), 8].



Obr. 1 Struktura arabské gumy [2].

### 1.1.1.2 Maltodextrin

Maltodextrin (Obr. 2) se skládá z jednotek glukosy spojené  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  4) glykosidickou vazbou. Počet jednotek glukosy je proměnný a pohybuje se od 2–20. Maltodextrin se získává částečnou enzymatickou hydrolýzou škrobu. Jedná se o krémově bílý hygroskopický prášek s nevýraznou nebo mírně nasládlou chutí. Je vysoce rozpustný ve vodě a vykazuje nízkou viskozitu i u koncentrovaných roztoků. Tyto vlastnosti pak umožňují zvýšení obsahu pevných látek v emulzi, což je výhodné pro zachování jádra při sprejovém sušení. Maltodextrin vykazuje špatnou emulgační kapacitu, proto je vhodná kombinace s AG. Maltodextrin působí ve formulaci jako hydrofilní tmel, který omezuje difúzi jádra směrem ke stěně [2 (str. 88–91)].



Obr. 2 Struktura maltodextrinu [2].

### 1.1.2 Proteiny

Kromě přírodních a modifikovaných polysacharidů jsou jako materiály vhodné k enkapsulaci také proteiny. Zejména mléčné a syrovátkové proteiny např. kaseiny, dále i želatina nebo lepek. Tyto materiály jsou schopny tvořit stabilní emulze s těkavými aromatickými molekulami. Omezujícím faktorem je však jejich špatná rozpustnost ve studené vodě [1 (str. 229–250), 2 (str. 88–91)].

### 1.1.3 Lipidy

Mezi lipidové materiály používané v potravinářském průmyslu pro zapouzďování aktivních látek se řadí mastné kyseliny a mastné alkoholy, vosky (včelí, karnaubský, kandelitový), dále glyceridy a fosfolipidy. Přírodní vosky s teplotou tání mezi 60–80 °C jsou nejvhodnější pro enkapsulaci aromat. Mezi benefity těchto materiálů patří jejich stabilita a snadná manipulovatelnost. Navíc jsou přírodní vosky ať už živočišné nebo rostlinné, povolené doplňkové látky v EU [1 (str. 229–250), 2 (str. 88–91)].

### 1.1.4 Syntetické polymery

Kromě výše zmíněných zástupců přírodních polymerů se mohou k enkapsulaci používat i syntetické polymery. Mezi ty patří například polyvinylpyrrolidon, parafin, polypropylen, polyvinylacetát, polystyren nebo polybutadien [1 (str. 229–250), 2 (str. 88–91)].

## 1.2 Enkapsulační techniky

Enkapsulace aktivních látek do ochranného obalu je společný cíl všech enkapsulačních technik. Proces zapouzďení může probíhat v zásadě dvěma způsoby – mechanickou (fyzikální) a chemickou cestou [2 (str. 43–58)].

Mechanické procesy jsou charakterizovány srážením polymerního roztoku, přičemž dochází k fyzikálním změnám. Chemické procesy naopak zahrnují polymerační reakce. V Tab. 1 jsou uvedeny příklady různých metod enkapsulace v rámci zmíněných dvou kategorií [2 (str. 43–58)].

Tab. 1 Enkapsulační metody [upraveno podle 2].

<b>Mechanické procesy</b>	<b>Chemické procesy</b>
sprejové sušení	jednoduchá koacervace
sprejové chlazení	komplexní koacervace
sprejové vymrazování	iontová želatinace
lyofilizace	odpařování rozpouštědla
emulsifikace	
tlaková extruze	

Výběr enkapsulační techniky se řídí jak fyzikálními i chemickými vlastnostmi jádra, tak i obalem částice. Často dochází ke kombinaci dvou technik, aby bylo dosaženo úspěšné enkapsulace. Jako příklad kombinace dvou technik lze uvést emulsifikaci a následné sprejové sušení, které bylo také použito v rámci praktické části předkládané práce [2 (str. 43–58)].

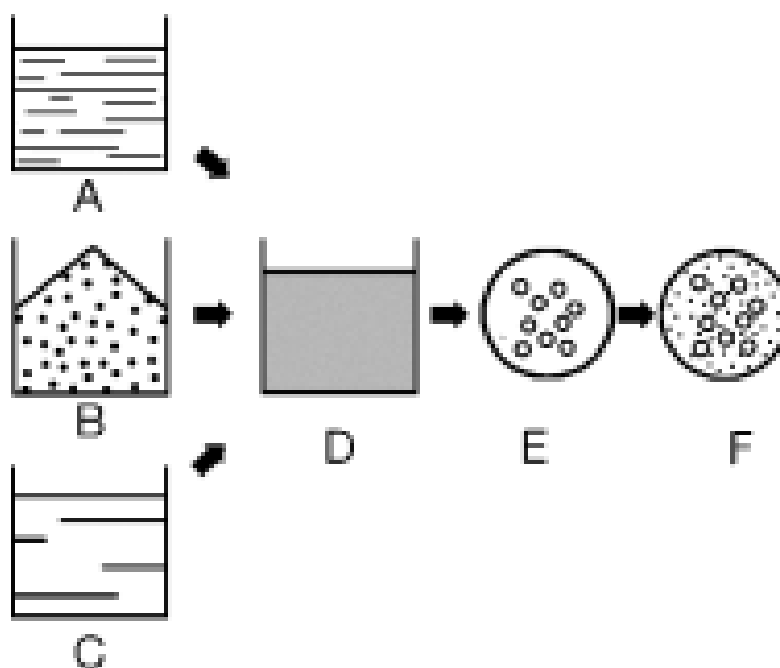
### 1.2.1 Emulsifikace

Vzhledem k zaměření praktické části diplomové práce je níže rozvedena jako enkapsulační metoda emulsifikace, která byla použita v experimentální části.

Emulze představuje systém dvou nemísitelných kapalin, nejčastěji oleje a vody, přičemž jedna kapalina je rozptýlená ve formě malých kapiček (0,1–100  $\mu\text{m}$ ) v druhé kapalině. Velikost kapiček je ovlivněna různými faktory, ať už je to rychlost míchání nebo koncentrace povrchově aktivní látky. Emulze se klasifikují dle prostorové organizace olejové a vodné fáze na emulze typu W/O – kapičky vody rozptýlené v oleji a O/W – kapičky oleje rozptýlené ve vodě. Mimo tyto jednoduché emulze existují i složitější typy W/O/W nebo O/W/O. K získání kineticky stabilního roztoku je nutné použít stabilizátory, v tomto případě emulgátory nebo modifikátory textury, které potahují kapičky emulze a brání jejich koalescenci nebo agregaci mezi sebou. Získání stabilní emulze je rozhodující pro následující sprejové sušení a získání stabilních mikrokapslí [2 (str. 43–58), 26, 27].

Emulsifikace představuje oblíbenou metodu enkapsulace bioaktivních látek hydrofilního i lipofilního charakteru (Obr. 3). Takto připravené emulze mohou být použity v kapalném stavu nebo mohou být sušeny (např. sprejová sušárna, lyofilizace). K enkapsulaci lipofilních biomolekul se více hodí koncept vícevrstevných emulzí. Více vrstev kolem aktivní látky vede ke zvýšení stability emulze, zvýšení chemické stability enkapsulované látky a je možné lépe kontrolovat rychlost uvolňování aktivní látky z matrice, díky schopnosti ovlivnit tloušťku obalové vrstvy [2 (str. 43–58)].





Obr. 3 Schéma procesu mikroenkapsulace pomocí emulze – emulze (D) tvořená z kapalně fáze (A), nosiče (např. maltodextrin B) a filmotvorné látky (např. arabská guma C). Tato emulze je rozprášena na malé kapičky (E), po odpaření rozpouštědla vzniká pevná matrice (F). [upraveno podle 12].

### 1.3 Enkapsulace aktivních látek

Enkapsulace je metodou široce využívanou mnoha průmyslovými odvětvími – potravinářským, kosmetickým, textilním, chemickým průmysl, v zemědělství či farmacii i v biomedicině [1 (str. 229–250)].

Enkapsulace je používána k řízenému uvolňování aktivních látek na požadovaném místě či v určitém čase, a to v požadované koncentraci. Aktivní látka bývá uvolněna z ochranného pouzdra díky změně pH, teploty, mechanického napětí aj. [29]

#### 1.3.1 Potravinářství

V potravinářském průmyslu se enkapsulace aktivních látek používá nejčastěji z důvodu ochrany a řízeného uvolňování aktivních látek, maskování chuti a snadnější manipulace s produktem [1 (str. 229–250), 2 (str. 37–43)].

### ***1.3.1.1 Ochrana aktivních složek***

Ochrana aktivních složek patří mezi primární cíl enkapsulace. Enkapsulovaná látka si zachovává stabilitu během zpracovávání, skladování a spotřeby [1 (str. 229–250)].

Zvláště bioaktivní sloučeniny, jako vitaminy, minerály, polyfenoly a další nutraceutika, jsou velmi citlivé na okolní prostředí a mohou rychle degradovat (oxidace, hydrolyza). Jejich zapouzdření však tyto procesy může zpomalit nebo jim úplně zabránit. Tímto způsobem lze tedy zabránit ztrátám barvy, chuti, zhoršení textury a zachovat kvalitu konečného produktu [1 (str. 229–250), 2 (str. 37–43)].

### ***1.3.1.2 Řízené uvolňování***

Enkapsulace bývá využívána také k řízenému uvolňování bioaktivních látek (např. antioxidanty, minerály, vitamíny, fytosteroly atd.) a probiotických kultur. Řízené uvolňování existuje ve dvou základních podobách, a to zpožděné a prodloužené. U zpožděného uvolňování jsou účinné látky uvolněny z matrice až na cílovém místě. Příkladem mohou být zapouzdřené probiotické bakterie chráněné před žaludečními šťávami a cíleně uvolněny až v tenkém střevě. Druhým typem je prodloužené uvolňování. Jde o mechanismus navržený pro udržování konstantní koncentrace látek v cílovém místě. Příkladem jsou zapouzdřené příchutě a sladidla u žvýkaček, kdy je rychlost jejich uvolňování redukována pro udržení požadované chuti po dobu žvýkání [1 (str. 229–250), 2 (str. 37–43)].

### ***1.3.1.3 Maskování chuti***

Mnoho ingrediencí používaných v potravinářství je nepoživatelných skrze spotřebitelsky nežádoucí chuť. Tuto chuť je tedy nutné maskovat. Jako příklad lze uvést polyfenoly, vitaminy či minerály, které se do potravin přidávají za účelem zlepšení nutričních vlastností. Maskování chuti se také používá v krmivářském průmyslu [1 (str. 229–250), 2 (str. 37–43)].

### ***1.3.1.4 Usnadnění manipulace***

Enkapsulační technologie jsou také používány ke snadnější manipulaci se zapouzdřenou látkou během výroby potravin. Manipulace může být zjednodušena použitím jednotného umístění zapouzdřené látky, zavedením jednoduchého míchání a přeměny tekuté formy na pevnou (např. v případě rostlinných výtažků a esenciálních olejů) [1 (str. 229–250), 2 (str. 37–43)].

### 1.3.2 Kosmetika

Kosmetické přípravky a výrobky osobní hygieny často obsahují biologicky aktivní látky, které jsou nestabilní, citlivé na teplotu, pH a světlo. Tyto látky způsobují nežádoucí reakce, které vedou ke snížení nebo ztrátě účinnosti kosmetického přípravku. Proto byly navrženy enkapsulační technologie, které vedou ke zvýšení stability enkapsulované látky a k ochraně proti degradaci, ale také k řízenému uvolňování aktiv [4 (str. 11–13)].

Formulační systémy používané k dodání aktiv na kůži a v některých případech i transdermálně jsou velmi složité, a proto byly vyvinuty nové metody ochrany těchto senzitivních molekul před vnějšími účinky. Ke stabilizaci aktivních materiálů se používají liposomy, niosomy, vícenásobné emulze a mikro a nanoenkapsulace [5 (str. 278–280)].

#### 1.3.2.1 Enkapsulace polymery

Polymer vhodný pro enkapsulaci musí mít tyto vlastnosti:

1. polymer musí být do určité míry hydrolyticky nebo enzymaticky labilní,
2. výsledné vedlejší produkty hydrolýzy musí být biokompatibilní.

Mnoho přírodních polymerů tato kritéria splňuje, zejména pak přírodní polysacharidy. Syntetické polymery nejsou obecně hydrolyticky labilní, a proto se obvykle k enkapsulaci nepoužívají [5 (str. 278–280)].

V okamžiku, kdy je zapouzdřený materiál uvolněn, obalová částice se rozkládá a vedlejší produkty jsou tělem zpracovány a zlikvidovány [5 (str. 278–280)].

Jakmile je aktivní materiál zapouzdřen, může být začleněn do suspenze kosmetického nebo terapeutického vehikula, kde však nesmí být ovlivňováno komponenty [5 (str. 278–280)].

### 1.4 Enkapsulace lipofilních látek

Lipofilní aktivní látky představují rozmanitou skupinu biologických sloučenin. Vyznačují se širokou škálou biologických vlastností, jako například antimikrobiální, antioxidační, protizánětlivou, zlepšující zdraví a kondici kůže. Do třídy lipofilních látek lze konkrétně zařadit triglyceridy živočišného, rybího nebo rostlinného původu, mastné kyseliny, fosfolipidy, karotenoidy, fytosteroly, vitaminy rozpustné v oleji a esenciální oleje s jejich jednotlivými složkami. Společným znakem těchto lipofilních látek je jejich špatná rozpustnost ve vodě. Výběr aktivních složek pak závisí na místě použití a konečné aplikaci přípravku [4 (str. 11–13), 27].

V potravinářském průmyslu se využívají lipofilní složky pro své příznivé zdravotní účinky a tohoto důvodu jsou přidávány do nutraceutik a funkčních potravin [4 (str. 11–13)].

V kosmetickém průmyslu jsou lipofilní látky součástí přípravků pečující o pokožku, vlasy, nehty, sliznice či zuby [4 (str. 11–13)].

#### **1.4.1 Enkapsulační materiály**

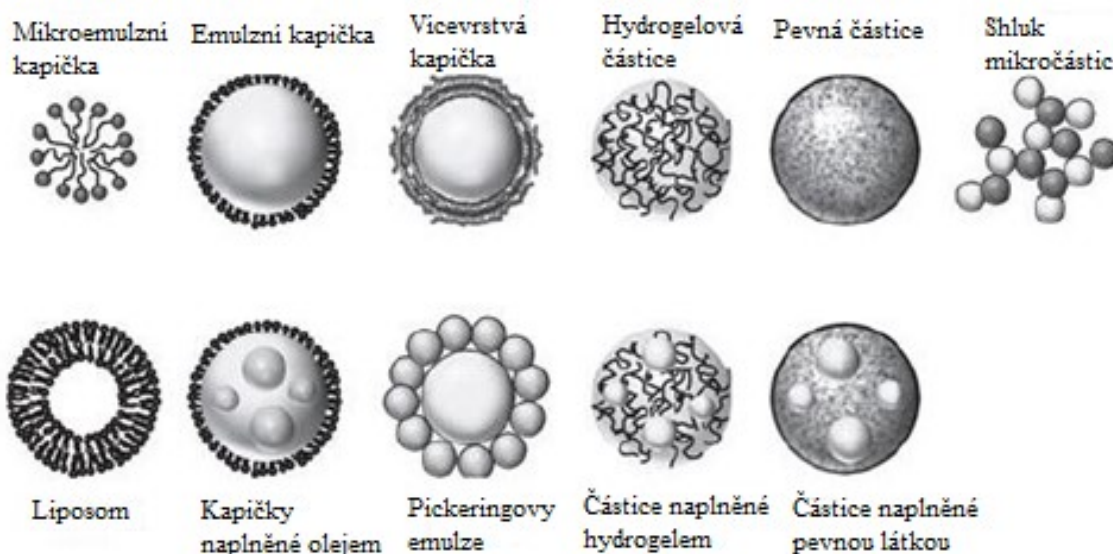
Mezi nejpoužívanější materiály vhodné k zapouzdření lipofilních látek patří zejména arabská guma a anhydrid kyseliny n-oktenyljantarové, jež oba vykazují dobré emulgační schopnosti. Dále bývá k enkapsulaci využíván maltodextrin, který tvoří stabilní ochrannou bariéru proti ztrátám aroma během sprejového sušení. Povrchově aktivní látky jsou přidávány za účelem stabilizace emulze, nicméně mohou mít nepříznivý vliv na fyzikální vlastnosti konečného produktu a výtěžek [27].

#### **1.4.2 Způsoby enkapsulace lipofilních látek**

Existuje několik způsobů, jak lipofilní látku zapouzdřit. Každá z těchto technik má své specifické výhody i nevýhody, a to zejména pokud se jedná o ochranu účinné látky, dodání na požadované místo, náklady, snadnost použití, biologickou rozložitelnost a biokompatibilitu [4 (str. 11–13)].

Vývoj vhodných systémů může vést ke zlepšení stability, dispergovatelnosti ve vodě a účinnosti aktivní látky v produktu, uchování jejich biologické aktivity. Mezi nejběžnější formy pro enkapsulaci lipofilních aktiv řadíme systémy založené na emulzi [4 (str. 11–13)].

Na Obr. 4 jsou znázorněny příklady koloidních systémů používaných k enkapsulaci lipofilních bioaktivních látek [4 (str. 11–13)].



Obr. 4 Koloidní systémy použitelné k enkapsulaci lipofilních bioaktivních látek [upraveno podle 4].

### 1.4.3 Enkapsulace vitamínů

Vitamíny mají v kosmetice a potravinářském průmyslu důležité postavení. Působí jako katalyzátory biochemických reakcí a tím přispívají ke správnému fungování organismu. Člověk si není schopen vytvořit v těle dostatek vitamínů, a proto je musí získávat z potravy. Vitamíny se dělí do dvou skupin, a to na rozpustné ve vodě (vitamíny skupiny B a vitamín C) a vitamíny rozpustné v tucích A, D, E a K. Do kosmetických přípravků jsou vitamíny přidávány zejména pro své antioxidační vlastnosti, jimiž disponují zejména vitamín E, A, P, B<sub>3,5</sub> nebo C. Vitamíny mají různé účinky na kůži, přispívají k blednutí hyperpigmentací, zmírňují zánět, pomáhají při léčbě akné aj. [33, 34].

Hlavní nevýhodou vitamínů je však značná nestabilita a citlivost k degradaci. Enkapsulace tak slouží jako důležitý prostředek k zpomalení degradačních procesů [2 (str. 161–163)].

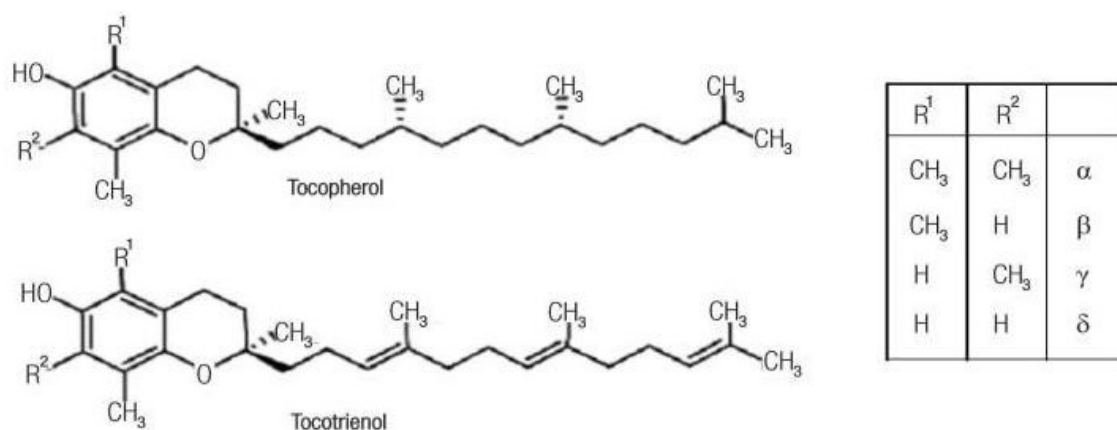
#### Vitamin E ( tokoferol)

Vitamín E je přírodní antioxidant obsahující postranní řetězec, který se váže na chroman. Existuje v několika formách  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tokoferol (s nasyceným postranním řetězcem) a tokotrienol (s nenasyceným postranním řetězcem) (Obr. 5). Vyskytuje se ve všech rostlinných olejích, přičemž nejvyšší obsah vitamínu E má olej z pšeničných klíčků (Tab. 2) [6, 35].

Tab. 2 Obsah tokoferolu v rostlinných olejích [upraveno podle 35]

Olej	$\alpha$ -tokoferol (mg/100 g)
kokosový	0,5
kukuřičný	11,2
palmový	25,6
olivový	5,1
arašídový	13,0
sójový	10,1
z pšeničných klíčků	133,0
slunečnicový	48,7

Vitamín E má široké využití v kosmetickém, potravinářském i farmaceutickém průmyslu. Jeho biologická dostupnost je, podle některých zdrojů vyšší, pokud je podáno v koloidní formě [36].



Obr. 5 Tokoferol a tokotrienol [35].

V kosmetice se do formulací přidává samotný vitamín E ale i jeho deriváty. Kvůli špatné stabilitě vůči působení vzduchu, světla a tepla je na místě enkapsulace do různých typů maticí, které vitamín E před těmito vlivy chrání [35].

Vitamín E, jak už bylo uvedeno výše, je silný antioxidant. Bylo zjištěno, že  $\alpha$ -tokoferol inhibuje především produkci nových volných radikálů, zatímco  $\gamma$ -tokoferol zachycuje a neutralizuje stávající volné radikály. Vitamín E také zvyšuje uspořádanost lipidové membrány, což má za následek větší stabilitu buňky [35].

V kosmetickém průmyslu se vitamín E používá z následujících důvodů:

- antioxidační účinky a vlastnosti, vychytávání radikálů – nutná volba vhodné koncentrace (příliš vysoká koncentrace spouští prooxidační vlastnosti vitamínu E),
- v kombinaci s vitamínem C má protektivní účinek na vitamín A,
- přirozené snížení stresu způsobeného UV zářením,
- stimulace tvorby buněk (epitelizace),
- lepší zadržování vlhkosti pokožkou [34].

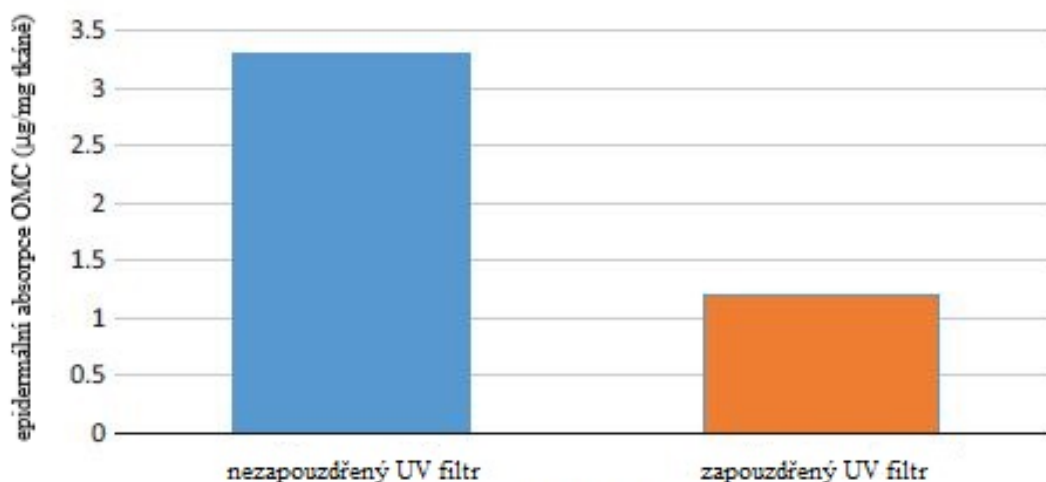
## 1.5 Využití enkapsulace

### 1.5.1 Kosmetický průmysl

#### 1.5.1.1 Enkapsulace UV filtrů

Opalovací krémy s obsahem UV filtrů jsou důležitými výrobky v péči o pokožku. V závislosti na typu použitého filtru pohlcují a/nebo odrážejí UV záření, které způsobuje photoaging a potenciálně i rakovinu kůže.

Některé UV filtry mohou být navzájem nekompatibilní. Příkladem nežádoucí interakce je použití oktylmethoxycinamátu (dále jen OMC) v kombinaci s avobenzenem, čímž se může urychlit degradace avobenzenem. Pomocí zapouzdření lze dosáhnout menší absorpce OMC pokožkou v porovnání s nezapouzdřeným UV filtrem (Obr. 6), čímž se sníží riziko možných nežádoucích interakcí [37 (str. 213–224)].



Obr. 6 Srovnání epidermální absorpce zapouzdřeného a nezapouzdřeného UV filtru [upraveno podle 37].

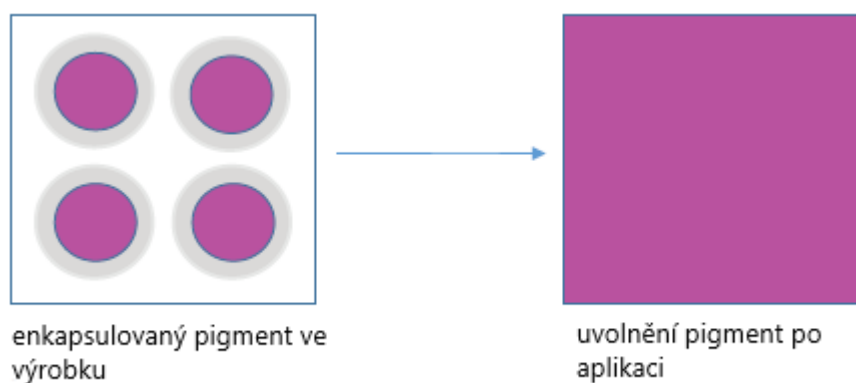
### 1.5.1.2 Mikro kapsle a mikročástice k exfoliaci a estetickým účelům

Mikro kapsle a mikročástice jsou využívány také v široké škále přípravků pro osobní péči. Mezi funkce těchto částic patří exfoliace, vytváření atraktivního vzhledu a řízené uvolňování aktivních látek. Mikročástice a mikro kapsle mohou být dodány v široké škále barev i rozměrů. V zásadě by měly vykazovat dostatečnou tvrdost, aby při kontaktu s pokožkou fungovaly jako abrazivní činidla. Rovněž je také důležité, aby byly do určité míry křehké, aby se jemným drhnutím a třením deformovaly a mohly být uvolněny enkapsulované aktivní látky různého charakteru [37 (str. 213–224)].

Mikročásticemi na bázi triglyceridů se zabýval Kleiman a kol. (2013). Tvrdost částic je dána teplotou tání triglyceridů. Během lokální aplikace se měkké částice snadno deformují a uvolňují kosmetickou přísadu, zatímco triglyceridy mají zvláčňující účinek na kůži a vlasy [37 (str. 213–224)].

### 1.5.1.3 Pigmenty měnící barvu pomocí mikroenkapsulace

Mikro kapsle obsahující pigmenty jsou známé například u BB a CC krémů. Pigment (nejčastěji oxidy železa) je enkapsulován uvnitř polymerního obalu. Při aplikaci se uvolňuje pigment a zajišťuje rovnoměrný vývoj barvy na pleti (Obr. 7) [37 (str. 213–224)].



Obr. 7 Schéma uvolnění pigmentu z mikro kapsle [upraveno podle 37].

V rámci studie Kim a kol. (2013) byla vyvinuta dvouvrstvá pigmentová mikro kapsle, která kombinuje obalové materiály s různou tvrdostí a rozpustností ve vodě. Dobu pro uvolnění pigmentu lze optimalizovat tak, aby bylo dosaženo požadované barvy a barevné gradace [37 (str. 213–224)].



Mikrokapsle měnící barvu mohou být využívány také v čistících výrobcích. Například v prášcích na praní slouží změna barvy pěny jako indikátor pro spotřebitele, že bylo dosaženo dostatečného vyprání a prádlo splňuje hygienický standard [37 (str. 213–224)].

#### **1.5.1.4 Duté polymerní částice**

Duté částice se běžně používají v průmyslových odvětvích jako lehká plniva. Je-li však použit homogenní polymer ve tvaru duté koule (Hollow Sphere Polymer–HSP), kde je enkapsulován vzduch, dostává tato částice jedinečné optické vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou založeny na rozdílných indexech lomu mezi skořepinou a vzduchem. Přítomnost HSP ve formulaci opalovacích krémů zvyšuje účinnost rozptylu UV záření [37 (str. 213–224)].

#### **1.5.1.5 Enkapsulační systémy na bázi lipidů**

Enkapsulační systémy na bázi lipidů v kosmetickém průmyslu můžeme rozdělit do tří skupin:

1. Emulzní systémy (jednoduché i vícenásobné emulze, mikroemulze a emulze vytvářející tekuté krystaly)
2. Vezikulární systémy (liposomy, niosomy a nanotopy)
3. Lipidové částicové systémy

V poslední době se k často používaným nosičům lipidů v kosmetice řadí zejména tzv. pevné lipidové nanočástice (solid lipid nanoparticles – SLN) a nanostrukturované lipidové částice (nanostructured lipid carriers – NLC) [37 (str. 213–224)].

SLN jsou podobné emulzním systémům, s tím rozdílem, že lipidy použité do těchto systémů zůstávají v pevném skupenství. V závislosti na složení a podmínkách přípravy mohou být aktivní látky dispergovány v matici částice, obalu nebo v jádře. Uvolnění aktivních látek z částice má v zásadě dvě fáze. Na počátku dochází k intenzivnímu uvolnění aktivní látky, následované uvolňováním postupným. Množství uvolněné látky v první a v druhé fázi závisí na teplotě a na obsahu povrchově aktivní látky v receptuře [37 (str. 213–224)].

NLC se vyskytují v nedokonalé krystalické formě nebo amorfní formě. Tyto nepravidelné morfologie pomáhají NLC minimalizovat vylučování aktivních látek [37 (str. 213–224)].

SLC a NLC jsou komerčně dostupné pod obchodním názvem Nanopearls. Jsou dodávány ve formě krémové disperze s obsahem pevných látek 35–45 % nebo po přidání gelotvorného činidla ve formě gelu. Tyto produkty jsou začleňovány do krémů a plet'ových vod na konci

výrobního procesu, a to zejména pokud jsou obsaženy aktivní látky citlivé na teplotu [37 (str. 213–224)].

### 1.5.2 Potravinářský průmysl

V posledních letech je v potravinářství kladen důraz na tzv. funkční potraviny, které obsahují aktivní látky a tím tedy mají pozitivní dopad na zdraví člověka. Cílem funkčních potravin je prevence civilizačních chorob, jako je obezita, vysoký krevní tlak, cukrovka, osteoporóza aj. Aby mohla být potravina prohlášena za „funkční“, musí prokazatelně ovlivňovat jednu nebo více funkcí v lidském těle, což má za následek zlepšení zdravotního stavu nebo snížení rizika onemocnění. Tyto účinky musí být prokazatelné v množství, jež člověk běžně zkonzumuje. Za funkční potraviny lze tedy označit potraviny vyráběné novou technologií nebo potraviny obsahující aktivní látky ve vyšších koncentracích, než je u dané potraviny běžné [30].

Enkapsulaci lze zařadit mezi nové technologie, díky které se v potravine zachovávají přirozeně vyskytující se aktivní látky a tím jsou ovlivněny výživové vlastnosti potraviny, bezpečnost potraviny ale i celková kvalita [30].

Jeden z hlavních motivů zavedení enkapsulace aktivních látek v potravinářství je bezpochyby lepší stabilita aktivní látky v průběhu zpracování a skladování, maskování nežádoucích chutí, zvýšení biologické dostupnosti a řízené uvolňování aktivních látek [1 (str. 229–250)].

## 2 SPREJOVÉ SUŠENÍ

Sprejové sušení je téměř 150 let stará a prosperující technika sušení původem ze Spojených států, kde byl zkonstruován a patentová první přístroj v roce 1872 [2 (str. 1–2)].

Je to jednostupňový proces, při kterém se převádí kapalina do pevné formy – prášku, pomocí sušícího média, nejčastěji vzduchu, ale lze použít i inertní plyn jako např. dusík. Tato metoda je široce využívaná v potravinářství pro výrobu potravinových prášků a aglomerátů. Má však také využití v kosmetickém průmyslu ve farmacii a jiných odvětvích [2 (str. 1–2), 7, 8].

### 2.1 Význam sprejového sušení

Sprejové sušení je považováno za nejúspornější techniku sušení vzhledem k nízkým provozním výdajům. Dle studie Hammami a René (1997) je sprejové sušení přibližně 4x ekonomičtější, kvůli spotřebě elektřiny, než sušení mrazem tzv. lyofilizace [7].

Sprejové sušení má navíc výhodu v relativně krátkém kontaktu materiálu se sušícím médiem, a proto se uchovávají citlivé atributy kvality, mezi které patří zejména živiny, barva i chuť. Produkt sprejového sušení je vysoce stabilní prášek, který má nízký obsah vlhkosti a nízkou aktivitu vody, a dále je také odolný vůči mikrobiologickému růstu, oxidační degradaci a enzymatickým aktivitám. Mezi výhody sušení také patří nižší náklady na skladování a přepravu. Výsledek sprejového sušení je prášek se specifickými vlastnostmi, o definovaných rozměrech částic, vysokou objemovou hmotností a dobrou rozpustností. Přiváděná kapalina k rozprašovači může být roztok, emulze nebo suspenze [2 (str. 1–2), 7, 8].

### 2.2 Konstrukce sprejové sušárny

Základní součásti sprejové sušárny jsou atomizér, rozprašovač vzduchu, sušící komora, cyclonový separátor a sběrná nádoba. Dále jsou součástí konstrukce i podpůrná zařízení jako např. ohřívače sušícího média, systém pump, zařízení pro odstranění usazenin ze stěn komory [12, 13, 17].

#### 2.2.1 Atomizéry

Atomizér je srdcem sprejové sušárny a atomizace je prvním transformačním procesem, který sytí během sušení rozprašovač. Atomizéry tříští kapalinu na velký počet malých kapiček, ze kterých je následně odváděna vlhkost pomocí sušícího média. Díky zvětšení povrchu je pro-

ces sušení rychlejší, zkrátí se doba kontaktu produktu se sušicím médiem a tím se minimalizuje ztráta sloučenin citlivých na teplo. Atomizace je pro proces sušení ústřední, má vliv na tvar, strukturu, distribuci rychlost a velikosti kapiček a tím ovlivňuje povahu [9,17].

Existuje několik druhů atomizérů:

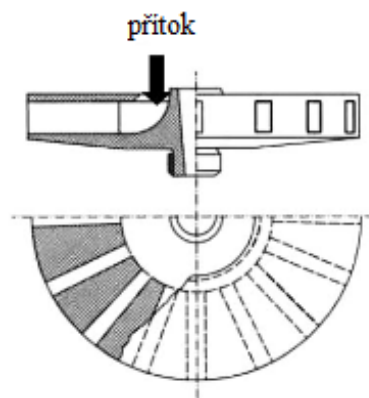
- Rotační atomizér
- Tryskový atomizér (hydraulická tryska)
- Pneumatický atomizér (dvouproudová/tříproudová/čtyřproudová tryska)
- Ultrazvukový atomizér [9]

### **2.2.1.1 Rotační atomizér**

Rotační atomizér (Obr. 8) je sestaven z horizontálně uloženého disku, k němuž je přiváděna surovina. Disk je uveden do pohybu pomocí elektrického motoru, a to buď přímo, nebo pomocí různých hnacích zařízení. V důsledku odstředivé síly je surovina přiváděná ke středu disku katapultovaná k okraji, kde přepadá přes okraj disku a je roztržena na malé kapičky. Vlastnosti prášku lze ovlivnit tvarem drážky na disku. Produkt s vysokou sypnou hustotou získáme pomocí zakřivené drážky, a naopak na dobře tekoucí prášky jsou doporučovány drážky rovné s úseky bez drážek [2 (str. 2–11), 10].

Rotační atomizéry patří mezi nejúčinnější ze všech typů atomizérů, mají vysokou účinnost, snadno se ovládají a jsou flexibilní. Pro přísun suroviny není potřeba vysoký tlak a příliš se neucpávají. Velikost kapiček je snadno nastavitelné upravením rychlosti disku [9].

Přesto používání rotačního atomizéru nese i určité nevýhody. Mezi ty se řadí vyšší operační a instalační náklady. Je nevhodný pro drahé farmaceutické materiály, kvůli vyšší tvorbě usazenin na stěnách sušící komory [2 (str. 2–11), 9, 10].



Obr. 8 Rotační atomizér [upraveno podle 9]

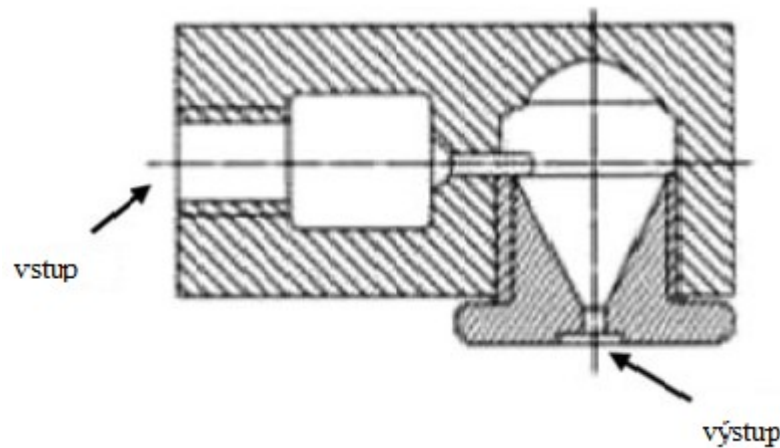
### 2.2.1.2 Tryskový atomizér (hydraulická tryska)

Tryskový atomizér (Obr. 9) se složen ze zařízení pro rotaci suroviny uvnitř tryskové hlavy a otvoru, který slouží pro rozprášení materiálu. Princip fungování tryskového atomizéru spočívá v proudění kapaliny pod tlakem potrubím, které se směrem k otvoru zužuje. Průměr otvoru u výstupu má v okolo 0,4–4 mm. V momentě výstupu materiálu z trysky tlak klesá a zvyšuje se rychlost proudící kapaliny [9, 10].

Na rozdíl od rotačního atomizéru lze u tryskového atomizéru použít úzkou sušící komoru, jelikož k atomizaci dochází pod úhlem 40–160°, dle zařízení [9].

Nevýhodou používání tohoto druhu atomizéru je nižší efektivnost, hůře kontrolovatelný nástřik, sklon k ucpávání trysky při použití viskóznějších roztoků. Tryskový atomizér se v potravinářském průmyslu používá při sušení nápojů, mléka nebo doplňků stravy [9, 10].

Získaný prášek má vysokou sypnou hustotu a úzkou distribuci velikosti částic (50–400  $\mu\text{m}$ ), které jsou ve formě dutých kuliček. Mezi pozitiva této metody dále patří nízké provozní a instalační náklady a jednoduchá konstrukce [9, 10].



Obr. 9 Tryskový atomizér [upraveno podle 9]

### 2.2.1.3 Pneumatický atomizér (dvouproudová/tříproudová/čtyřproudová tryska)

Pneumatický atomizér (Obr. 10) rozprašuje kapalinu v proudu stlačeného nosného plynu. K atomizaci dochází v důsledku velkých třecích sil nad povrchem kapaliny, což způsobuje rozpad kapaliny na kapičky. Tento proces je ovlivněn jednak vlastnostmi vstupní suroviny – viskozita, hustota, povrchové napětí, ale také na vlastnostech nosného plynu – rychlosti a hustotě [9, 10].

Nosný plyn je s kapalinou smísen, a to buď externě, nebo interně. V případě externího míchání je sušící plyn s kapalinou smíchán ihned po jejím výstupu z trysky. Proud kapaliny a plynu se kříží v tzv. centrálním bodu srážky a kapalina je atomizovaná v nosném plynu. V druhém případě – při vnitřním míchání nosného plynu a kapaliny, plyn rotuje uvnitř trysky a ke křížení s kapalinou dochází uvnitř trysky. Tento proces je možný, ale není příliš využíván, protože způsobuje provozní potíže. Produktem atomizace pomocí pneumatické trysky bývají disperzní kapaliny s nízkou viskozitou a velikost kapiček závisí na poměru nosného plynu a kapaliny. Výhodou používání pneumatického atomizéru je schopnost práce s viskózními kapalinami a produkce velmi malých kapiček. K dalším výhodám také patří možnost snadno upravovat parametry částic a vyrobit tak homogenní disperze [2 (str. 2–11), 9, 10].

#### Dvouproudová tryska

Dvouproudová tryska je náchylná k ucpávání, ale na rozdíl od hydraulické trysky se snadněji čistí. Slouží k tomu jehla, která je poháněná stlačeným vzduchem. Nicméně jehla snižuje

plochu pro tok kapaliny a tím dochází k předčasnému vysušení kapaliny. Tím se mění atomizační podmínky a následuje zanášení trysky. Tomuto problému lze předejít zavedením systému chlazení trysek [9].

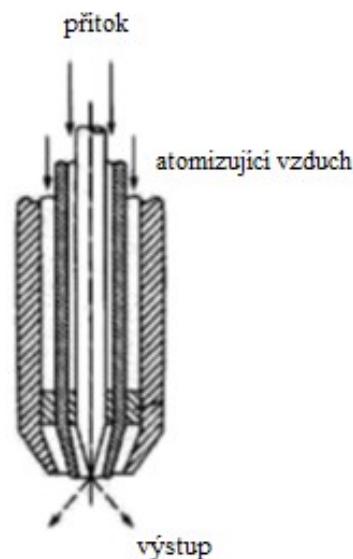
Dvou Proudové trysky se nejvíce využívají pro farmaceutické účely, k výrobě proteinových prášků, pevných disperzí nebo prášků pro inhalaci, protože provoz tohoto zařízení je poměrně nákladný [9].

Tříproudová tryska

Princip fungování tříproudové atomizační trysky spočívá v přísunu dvou navzájem nezávislých atomizačních plynů k atomizaci jedné kapaliny [9].

Čtyřproudová tryska

Na rozdíl od tříproudové trysky, čtyřproudová umožňuje atomizaci dvou nezávislých kapalin. Slouží k výrobě částic s průměrem menším jak 1  $\mu\text{m}$  a s velmi úzkou distribucí. Používá se k výrobě polymerních částic s řízeným uvolňováním nebo částic se zpožděným uvolňováním [9, 10].



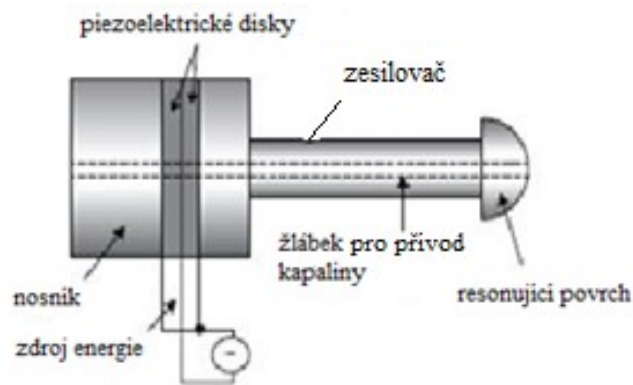
Obr. 10 Pneumatický atomizér [upraveno podle 9].

#### 2.2.1.4 Ultrazvukový atomizér

Ultrazvukový atomizér (Obr. 11) je elektromechanické zařízení, které k atomizaci využívá vibrace o velmi vysoké frekvenci (ultrazvukovou energii). Odlišuje se tak od výše uvedených atomizérů, které využívají odstředivou sílu nebo tlak [9].

Ultrazvukový atomizér se skládá ze dvou elektrod, které jsou umístěny mezi piezoelektrickými transduktory, kam je přiváděn signál o vysoké frekvenci, což má za následek vibrace. Kapalina je přiváděna na hrot kmitající na ultrazvukové frekvenci. Když dosáhne požadované amplitudy, stane se kapalina nestabilní, začne se šířit a vytvoří velmi malé kapičky o rozměrech menších než 50  $\mu\text{m}$ . Velikost kapiček lze ovlivnit frekvencí zařízení. Atomizovaná kapalina se dále pohybuje malou rychlostí, což slouží jako prevence proti jejímu usazování na stěnách sušicí komory [2 (str. 2–11), 9, 10].

Nespornou výhodou ultrazvukového atomizéru je jeho samočisticí schopnost, úzká distribuce velikosti částic a také možnost kontroly velikosti částic [2 (str. 2–11), 9, 10].



Obr. 11 Ultrazvukový atomizér [upraveno podle 2]

### 2.2.2 Sušicí komora

Po atomizaci jsou kapičky vystaveny působení sušícího plynu, většinou to bývá atmosférický vzduch, který je nasáván z okolí, prochází přes systém filtru a je ohříván. Inertní plyny se k sušení používají zřídka, zvyšují provozní náklady. Používají se jen k sušení nestabilních látek [2 (str. 11–17), 11].

V sušicí komoře se kapičky pohybují v proudu předehřátého vzduchu. Teplota a vlhkost sušícího vzduchu ovlivňují výsledný obsah rozpouštědla v konečném produktu, přičemž teplotu lze regulovat. Vlhkost přiváděného vzduchu má dopad na účinnost sušícího procesu, čím menší je vlhkost tím rychleji probíhá sušení a tím nižší může být teplota sušícího vzduchu. Sušení suchým vzduchem také výrazně zlepšuje vlastnosti produktu, jeho hustotu a rozpustnost [2 (str. 11–17), 10, 11].

Nejčastěji se používají vertikální komory ve tvaru válce sbíhající se ve spodní části do kužele. Tvar a velikost dále závisí na typu použitého atomizéru a na vlastnostech produktu.



Sušicí komory dělíme podle poměru výšky k průměru na vysoké (5:1) a nízké (2:1). Nízké jsou využívány častěji, jelikož umožňují použití jak tryskového, tak rotačního atomizéru [11].

Tvar sušicí komory je především důležitý u velkých kapiček, které potřebují více času na usušení než malé kapičky. Velké kapičky díky vysoké hybnosti snadno unikají sušicímu vzduchu a ulpívají na stěně komory. Malé kapičky jsou usušeny neprodleně po kontaktu se sušicím vzduchem [2 (str. 11–17), 10, 11].

### 2.2.3 Podpůrná zařízení

Podpůrná zařízení jsou součástí všech sprejových sušáren, liší se jen výběrem v závislosti na typu sušárny [2 (str. 11–17), 10].

Ohřívače sušicího vzduchu

Výběr tohoto zařízení je podmíněn cílovou teplotou sušicího média. V laboratorních podmínkách se používají ohřívače elektrické, které se ale nehodí do průmyslu z důvodu vysoké spotřeby elektrické energie [2 (str. 11–17), 10].

Systém pump

Úkolem pump je transport kapaliny do atomizéru. Důležité vlastnosti pump představují vysoká účinnost, schopnost čerpat kapalinu a opětovné používání pumpy. Nejčastěji se lze setkat s peristaltickou pumpou [2(str. 11–17), 10].

Zařízení k odstranění usazenin

Zařízení k odstranění usazenin ze stěn komory jsou využívána spíše u průmyslových sprejových sušáren. Slouží k tomu různé stříkací pistole a proudy vzduchu o nízké průtokové rychlosti. Odstraňují usazeniny ze stěn a nijak neovlivňují provozní podmínky sušárny [2 (str. 11–17), 10].

## 2.3 Průběh sprejového sušení

Principem sprejového sušení je roztržení kapaliny na malé kuličky za přístupu horkého vzduchu, čímž dojde k rychlému vysušení. Kapalina vstupující do sprejové sušárny může být ve formě suspenze, emulze nebo roztoku. Při kontaktu kapiček s předehřátým vzduchem

nebo inertním plynem roste teplota kapiček a v určitém momentě dochází k odpaření rozpouštědla a vzniku pevné částice. Ty jsou zachyceny proudem vzduchu a sbírány do sběrné nádoby [11].

Podrobněji se sprejové sušení skládá z atomizace (roztříštění kapaliny na malé kapičky), dále přichází kapičky do kontaktu se sušícím médiem, poté dochází k odpaření rozpouštědla. Poslední fází je regenerace neboli separace pevných částice pomocí filtrů. Každá fáze a podmínky za kterých probíhají, ovlivňuje vlastnosti konečného produktu ale i efektivnost celého procesu [9, 10, 11].

### 2.3.1 Atomizace

Nejdůležitějším a zároveň prvním krokem sprejového sušení je atomizace, kdy surovina vstupuje do atomizéru, tam je atomizována a dispergována do malých kapiček. Principem je zmenšení velikosti kapiček za současného zvětšení povrchu, aby mohlo efektivně proběhnout sušení. Po dosažení určité teploty se z kapiček odpařuje rozpouštědlo a dochází k ochlazení a přenosu vlhkosti z kapiček do sušícího vzduchu [9,17].

Atomizace je důležitá proto, že snižuje náklady na provoz a zvyšuje kvalitu výrobku, dále usnadňuje sušení termolabilních látek, a umožňuje získat částice s definovanými fyzikálně-chemickými vlastnostmi a morfologií [12, 13].

### 2.3.2 Kontakt kapiček s horkým vzduchem

Po atomizaci procházejí rozprášené kapičky do kontaktu s horkým sušícím médiem, který usnadňuje odpařování rozpouštědla a dává vzniknout suchým částicím. Cílem tohoto procesu je zajistit, aby byl konečný produkt dostatečně suchý dříve, než přijde do kontaktu se stěnou sušící komory, a tak mohl všechen přejít do sběrné nádoby [9].

Sušícím médiem se rozumí převážně atmosférický vzduch, který je nasáván přímo z vnějšího prostředí, prochází přes filtry a je zahříván. Je možné použít i inertní plyn jako například dusík, ale kvůli vysoké ceně je využíván pouze v případě nestabilních látek [10, 17].

Proud sušícího vzduchu v komoře je nelaminární, to způsobuje pohyb kapiček v různých směrech a kapičky jsou tedy vystaveny různým teplotám a vlhkosti. U každé kapičky dojde k odpaření rozpouštědla za jiných podmínek, čímž se vytvoří charakteristický typ částice [9, 17].

Stěžejní pro odstranění kapaliny z disperze je vstupní teplota a vlhkost sušicího média. Teplota musí být dostatečně vysoká, ale nesmí dojít ke spálení produktu. Nízká vlhkost sušicího plynu zase významně zlepšuje vlastnosti produktu [9, 17].

Existuje několik druhů sušáren, rozlišují se dle vzájemné orientace atomizéru a proudu sušicího plynu. Dělí se na souprroudé, protiproudé a kombinované. Dále rozlišujeme otevřený, uzavřený, polouzavřený cirkulační systém a aseptické sušení podle operačních podmínek, ve kterých sušení probíhá [9, 10].

### **2.3.2.1 Souproudé sušárny**

Souproudé sušárny (Obr. 12–A) jsou používány nejčastěji pro svou univerzálnost. V průmyslu jsou používány k sušení látek při vysokých teplotách bez rizika znehodnocení produktu. Souproudé sušení je charakteristické tím, že surovina a sušící médium se v komoře pohybují souběžně. Přívod sušicího média je umístěn v horní části sušárny u atomizéru. Kapičky jsou unášeny proudem vzduchu ke spodní části komory, kde jsou sbírány do sběrné nádoby. V takto uspořádané komoře je surovina vystavena nejvyšší teplotě, kapalina je ihned v kontaktu se sušícím plynem, který si ještě nestihl vyměnit teplo s okolím. Odpařováním během procesu sušení dochází k ochlazení plynu. Teplota plynu při vstupu dosahuje 150–200 °C, na konci procesu se pohybuje kolem 50–80 °C. Konečný produkt je tedy v kontaktu s nejchladnějším vzduchem [9,17].

K atomizaci se u souprroudých sušáren používají nejčastěji rotační nebo tryskové atomizéry. Nevýhodou rotačních atomizérů představují vyšší ztráty a tvorba usazenin na stěnách komory [9,17].

### **2.3.2.2 Protiproudé sušárny**

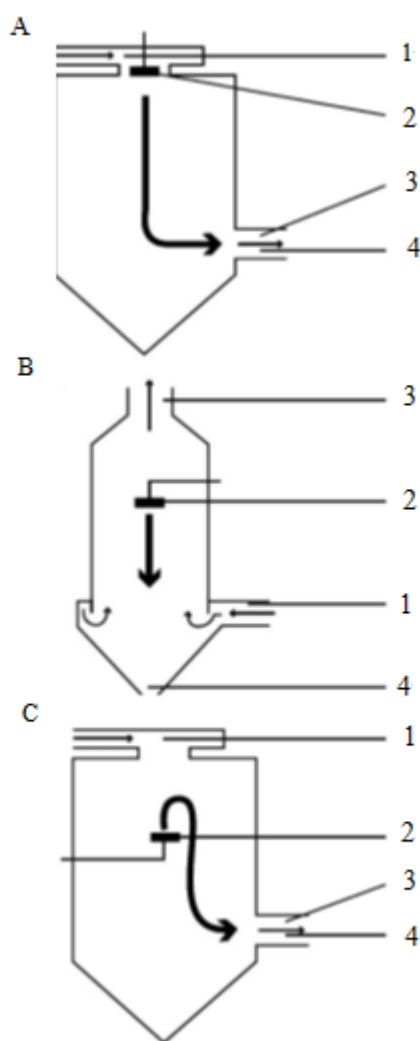
V protiproudé sušárně (Obr. 12–B) je kapalina vstříkována proti proudícímu sušícímu plynu. Atomizované částice padají ke dnu komory a ze dna je vháněn proud sušicího plynu. Kapičky obsahující nejvyšší podíl rozpouštědla se střetávají se sušícím plynem v okamžiku, když ztratil velkou část svého tepla. Nejvíce suché částice zase přichází do kontaktu s nejteplejším vzduchem. Teplota konečného produktu je tedy vyšší než teplota výstupního plynu. Zejména u termolabilních látek tento typ sušárny není žádoucí [9].

Výhodou protiproudého sušení je nízká spotřeba elektrické energie a možnost použití všech typů atomizéru. Nicméně sušení v protiproudé sušičce není příliš používané, jen asi v 5 %

případů. Je nevhodné pro potravinářské i farmaceutické účely, protože vznikají porézní prášky s nízkou hustotou a velkým průměrem [9].

### 2.3.2.3 Kombinované sušárny

V tomto typu sušárny je surovina atomizována od spodní části komory směrem k horní části, a naopak sušící plyn je přiváděn z horní části sušárny směrem dolů (Obr. 12–C). Dochází tak k mísení vlhkého produktu s usušeným práškem padajícím na dno nádoby. Konečný produkt je prášek s částicemi stejné velikosti a vysokou kvalitou. Zároveň je tento typ sušárny velmi ekonomický [9].



Obr. 12 Kontakt kapiček s horkým vzduchem – souproutá sušárna (A), protiproudá sušárna (B), kombinovaná sušárna (C).

1 – vstup sušícího vzduchu; 2 – rozprašovací zařízení; 3 – výstup vzduchu; 4 – příjem suchého prášku [upraveno podle 9].

#### **2.3.2.4 Otevřený cyklus**

U tohoto procesu prochází sušící plyn zařízením jen jednou. Vzduch je nasáván z okolí, je ohříván, projde komorou, je přečištěn a vypuštěn zpátky do okolí. Čištění odpadního vzduchu probíhá pomocí textilních filtru, elektrostatického odlučovače a pomocí vlhkého čističe plynu. Otevřený cyklus je efektivní a nejčastěji se používá při sušení vodných roztoků [9].

#### **2.3.2.5 Uzavřený cyklus**

Tento typ uspořádání je založen na recyklaci a opakovaném použití sušícího média. Používá se k sušení materiálu s hořlavými rozpouštědly a vysoce toxických produktů a látek citlivých na kyslík. Sušicím plynem je dusík, který slouží k zamezení výbuchu. Uzavřený cyklus také brání znečištění ovzduší. Sušící plyn je ohříván nepřímo [10].

#### **2.3.2.6 Polouzavřený cyklus**

Toto uspořádání kombinuje otevřený a uzavřený cyklus. Existuje několik variant tohoto provedení. Například rozlišujeme režim s částečnou recyklací, u něhož je kolem 60 % odpadního plynu znovu použito k sušení a přispívá tak k efektivnímu využití tepla. Další varianta je samo-inertizující režim, kde je sušící médium zahříváno pomocí topného tělesa spalujícího vzduch. Tento systém je využíván u látek, které nemohou přijít do kontaktu s kyslíkem kvůli riziku výbuchu nebo degradaci produktu, protože obsahuje velmi nízké procento kyslíku [10].

#### **2.3.2.7 Aseptické sušení**

U aseptického sušení je nejdůležitější konstrukce přístroje, kvalita použitých materiálů, provozní podmínky a rychlý sběr konečného produktu. Sušící plyn prochází přes HEPA filtr, surovina přes sterilní kapalinové filtry. Je uplatňován ověřený postup pro čištění (CIP) a sterilizaci (SIP). Tento typ sušení se používá pro přípravu vakcín, antibiotik, hormonů a parenterálních léčiv, které nesmí být exponovány vysokým teplotám a radiaci [10,16].

### **2.3.3 Odpařování rozpouštědla**

Odpařování vlhkosti z rozprašených kapiček je hnáno rozdílným tlakem par rozpouštědla a jeho parciálními tlaky v plynné fázi. V průběhu odpařování se teplotní a tlakový gradient mezi kapičkami a sušicím plynem ustálí a vznikne rovnováha mezi kapalnou a plynnou fází. Rychlost odpařování určuje rovnováha, která vzniká mezi množstvím energie přenesené k povrchu kapiček a energie potřebné k odpaření rozpouštědla [8, 13].

Odpařování rozpouštědla má tři fáze:

1. Nепrodleně po kontaktu kapaliny s horkým vzduchem nastane přenos tepla, který zapříčiní nárůst teploty kapiček, která se ustálí na konstantní hodnotě. Při této teplotě se odpaří téměř většina rozpouštědla.
2. V druhé fázi se odpařuje rozpouštědlo za konstantní teploty a parciálního tlaku vodních par. Rychlost odpařování rozpouštědla z povrchu kapiček se rovná rychlosti difúze rozpouštědla z jádra na povrch kapičky.
3. V poslední fázi dosáhne obsah pevných látek v kapičce hodnoty, která se shoduje s kritickým obsahem vlhkosti. Na povrchu kapičky se vytvoří křusta, která zpomaluje sušení. Sušení je poté závislé na rychlosti difúze rozpouštědla skřze křustu. Když se teplota částic konečného produktu rovná výstupní teplotě sušicího plynu, sušení je ukončeno [8].

Doba trvání odpařování rozpouštědla závisí na charakteru produktu, vstupní a výstupní teplotě sušicího plynu. Kapalina bude vysušena rychleji, pokud vstupní teplota plynu bude vysoká. Dojde tak k rychlému odpaření rozpouštědla a vytvoření křusty na povrchu. Rychlost sušení je také ovlivněna poměrem mezi množstvím rozprášených kapiček a velikostí povrchu částic. Větší kapičky mají menší povrch a tím pádem budou usušeny pomaleji a naopak. Sušení probíhá prakticky okamžitě (5–100 s), hned jak horký vzduch přijde do kontaktu s rozprášenými kapičkami. Odpařování rozpouštědla chrání kapičky během sušení až do vytvoření suchých částic [8, 12, 13].

#### 2.3.4 Regenerace

V závěrečné fázi sprejového sušení dochází k regeneraci produktu. Je to proces zahrnující oddělení suchého produktu od sušicího plynu. Produkt během sušení klesá ke dnu komory a opouští sušicí komoru spolu s plynem. Separace se děje pomocí cyklonu a textilního filtru mimo sušicí komoru. Náročnost tohoto procesu záleží na rychlosti usazování částic v cyklonu a jejich velikosti. Druhou možností oddělení je nechat usadit částice na dně komory a následně je setřít pomocí speciálního zařízení. To se děje v případě, že se komora ve své spodní části nesbíhá do kužele nebo její zdi svírají tupý úhel znemožňující přirozený tok materiálu. Jako stírací zařízení fungují mechanické kartáče, proud vzduchu nebo vibrační zařízení. Problémem použití těchto zařízení je míchání suchého produktu a neusušených kapiček [8, 12, 13].

Běžně se k separaci používají cyklony. Ty pracují na principu odstředivé síly. V cyklonu rotuje sušící plyn s částicemi kolem osy zařízení. Částice se díky odstředivé síle orientují ke stěně zařízení a oddělují se od vzduchového jádra. Cyklony mohou být opatřeny speciální vrstvou redukující hromadění produktu [8].

Textilní filtry zachycují konečný produkt a výstupní plyn filtrem prochází dál. Ke zvýšení efektivity je možné použít filtry s klesající velikostí pórů. Tak lze oddělit i částice menší než  $1\mu\text{m}$  [8, 12].

Existují i další separační zařízení, například pracující na principu elektrostatického pole. To se ale díky vysokým provozním nákladům běžně nepoužívá [8, 13].

### 2.3.5 Přídavné procesy

V případech, kdy nejde získat konečný produkt jednostupňovým procesem, dochází ke kombinaci s dalšími procesy, které probíhají před samotným sušením, v průběhu nebo po sprejovém sušení [10].

Nejčastěji se upravuje roztok do podoby suspenze nebo koloidu. Tyto dvoustupňové systémy se používají převážně pro svou omezenou rozpustnost aktivních a pomocných látek, a také pro snadný přenos strukturních vlastností do suchých částic konečného produktu. Sušit lze i suspenze pevných látek nebo vícenásobné emulze [8, 10, 13].

Sprejové sušení je možné obohatit i o další kroky během atomizace a sušení. Například mísením kapaliny před nebo během atomizace pomocí atomizačních trysek, či použití multi-zónových sušících komor. U těchto procesů následuje po vypařování druhotné sušení nebo spalování, které ovlivňuje morfologii a dává vzniknout porézním produktům [8, 13].

Mezi přídavné procesy, které následují po sušení, se řadí sekundární sušení, kdy je upravována vlhkost konečného produktu, nebo složitější proces mikroenkapsulace [8, 10, 13].

## 2.4 Parametry ovlivňující sprejové sušení

Sprejové sušení patří mezi nejkomplikovanější typy sušení umožňující nastavení mnoha proměnných. Je důležité porozumět vztahům mezi měnícími se parametry, jež ovlivňují fyzikálně-chemické vlastnosti konečného produktu. Aby se předešlo nežádoucím problémům (seskupování částic, nežádoucí obsah vlhkosti nebo nízký výtěžek), je potřeba parametry správně nastavit a kontrolovat. Jde převážně o vstupní teplotu sušícího plynu, rychlost jeho průtoku, rychlost přísunu materiálu, koncentrace suroviny, výběr vhodného rozpouštědla,

tlak a objem plynu. Další parametry závisí na vztazích výše uvedených parametrů a vlastnostech použitého materiálu (např. velikost kapiček a efektivnost sušení nebo teplota sušícího plynu u výstupu). Vztahy jednotlivých parametrů jsou shrnuty v Tab. 3. [9, 17].

Tab. 3 Parametry ovlivňující sprejové sušení [upraveno podle 17].

	Výstupní teplota	Velikost částic	Vlhkost konečného produktu	Účinnost
<b>Průtok sušícího plynu</b>	Nižší tepelné ztráty vstupní energie	-----	Nižší parciální tlak odpařené vody	Lepší separace v cyklonu
<b>Vlhkost vzduchu</b>	Více energie obsažené ve vlhkosti	-----	Vyšší parciální tlak sušícího vzduchu	Vlhkost vede k ulpívání produktu na stěnách komory
<b>Vstupní teplota</b>	Přímý rozměr	-----	Nižší relativní vlhkost vzduchu	Sušší konečný produkt, menší ulpívání na stěnách
<b>Průtok atomizovaného vzduchu</b>	Větší množství vzduchu, který má být ohříván	Větší množství dostupné energie pro atomizaci	-----	-----
<b>Rychlost přítoku</b>	Odpařování více rozpouštědla	Více kapaliny k rozptýlení	Větší množství vody vedoucí k vyššímu parciálnímu tlaku	Záleží na aplikaci
<b>Podíl pevných částic</b>	Menší množství vody k odpaření	Více pevného podílu pro tvorbu částic	Méně vody k odpaření, nižší parciální tlak	Větší částice se lépe oddělují v cyklonu
<b>Organické rozpouštědlo (mimo vodu)</b>	Méně energie potřebné k odpařování	Nižší povrchové napětí, více dostupné energie ke štěpení částic	Nedostatek vody, velmi suchý produkt	Nizká hygroskopicit, snadnější sušení
	Mírné zvýšení		Střední zvýšení	
	Velké zvýšení		Mírný pokles	
	Střední pokles		Velký pokles	

### 2.4.1 Vstupní teplota sušícího plynu

Vstupní teplotou plynu se rozumí teplota v okamžiku styku plynu se surovinou. Je to velmi důležitá veličina, která hraje významnou roli při sušení a ovlivňuje vlastnosti konečného produktu. Teplota je měřena ještě před vstupem plynu do sušící komory. Při vysoké vstupní teplotě se ve vznikajících kapičkách utváří vlhkostní a teplotní gradient, které ovlivňují tvorbu pevných částic, jejich strukturu a vlastnosti a v neposlední řadě také zbytkový obsah



rozpouštědla. Při příliš vysoké teplotě však hrozí přehřátí v důsledku snížení difúzního koeficientu. Vytvoří se na povrchu tvrdá křusta, která znesnadní difúzi vody. Rychlost vypařování rozpouštědla je pak téměř nulová [7, 9, 17].

#### **2.4.2 Rychlost průtoku sušícího plynu**

Rychlost průtoku plynu je definována jako objem sušícího plynu přicházejícího do sušárny za jednotku času. Přívod sušícího plynu může probíhat dvěma způsoby, tzv. režimem sání nebo injekčně. V režimu sání je do sušárny plyn nasáván díky nízkému podtlaku. Při nízké rychlosti průtoku sušícího plynu se kapičky v komoře pohybují pomalu a díky tomu na ně déle působí sušící médium. Aby byl účinek cyklu maximální, volí se průtoková rychlost plynu na nejvyšší hodnotu [7, 17].

#### **2.4.3 Tlak atomizovaného plynu**

Sušící plyn je do komory přiváděn pod tlakem a je závislý na konstrukci atomizéru. Tlak ovlivňuje hustotu produktu a velikost částic. Čím vyšší je atomizační tlak, tím vyšší je i hodnota sypné hustoty produktu díky malé velikosti vznikajících kapiček. U malých kapiček pak také dochází k rychlejšímu odpařování rozpouštědla a roste objemová hustota. Malé kapičky mají nízký obsah vlhkosti, a to vede ke vzniku trhlin na povrchu produktu [9, 17].

#### **2.4.4 Rychlost přísunu a koncentrace surovin**

Přísun surovin do sprejové sušárny je ovlivněn vlastnostmi surovin, čerpacím mechanismem a hadičkami, kterými surovina protéká do zařízení. Aby byl proces stabilní je nutná neustálá kontrola rychlosti přísunu surovin [9, 17].

Rychlost přísunu je pro sprejové sušení klíčová, ovlivňuje vlastnosti částic a účinnost sušení. Čím rychlejší je rychlost čerpání surovin, tím méně efektivní je sušení a částice jsou hrubé [9].

I koncentrace vstupní suroviny je důležitá veličina. Příliš vysoká koncentrace snižuje účinnost sušení a má vliv na krystalinitu a krystalickou formu produktu. Vysoká koncentrace vstupní suroviny má za následek vysoký podíl krystalické formy produktu. Výsledkem měnící se koncentrace suroviny v průběhu sušení je produkt s různým podílem amorfni a krystalické formy [10,17].

### 2.4.5 Volba rozpouštědla

Zvolené rozpouštědlo musí splňovat určité podmínky procesu, aby byl průběh sušení efektivní. Mezi hlavní podmínky patří zejména dostatečná koncentrace sušené látky pro vznik částic s dobrými mechanickým vlastnostmi a vysokou hustotou. Také by měla být látka v rozpouštědle dobře rozpustná, protože se tím zkracuje doba sušení a tím pádem i energie potřebná na odpaření rozpouštědla. Nízká viskozita roztoku suroviny je podstatná pro homogenní rozprašování. Nízký bod varu a nízká entalpie rozpouštědla vedou ke snížení nákladů na energii a urychlení sušení. Mezi nejčastěji používaná rozpouštědla řadíme vodu, metanol, etanol, isopropylalkohol, aceton, methylenchlorid, ethylacetát a jejich směsi [7, 9, 17].

### 2.4.6 Výstupní teplota sušícího plynu

Výstupní teplotu sušícího plynu měříme před vstupem do separačního zařízení a je to nejvyšší teplota, na kterou lze zahřát produkt. Z teoretického hlediska je výstupní teplota derivace vstupní teploty sušícího plynu, rychlosti průtoku plynu, měrného skupenského tepla rozpouštědla a pevné látky v proudu kapaliny [9].

Mezi parametry ovlivňující teplotu výstupního média patří zvýšení přísunu suroviny pumpou, což vede k většímu odpařování rozpouštědla, a tedy i snížení teploty výstupního plynu. Dále je teplota ovlivněna vstupní teplotou a kapacitou aspirátoru. Celkově má vysoká výstupní teplota plynu dopad na nižší zbytkový obsah rozpouštědla [9, 10].

## 2.5 Využití sprejového sušení

Sprejové sušení má široké pole využití, a to zejména kvůli efektivnímu a rychlému převedení kapalné látky na prášek. Díky krátké době působení horkého vzduchu na surovinu se hodí i k sušení termolabilních látek, a proto své uplatnění nachází nejen ve farmaceutickém, kosmetickém, potravinářském a chemickém průmyslu, ale také při výrobě keramiky nebo v agrochemii. V Tab. 4 jsou přehledně shrnuty potravinářské a nepotravinářské aplikace sprejového sušení. V podkapitolách níže jsou některé nepotravinářské aplikace podrobněji popsány [2 (str. 31–32), 17].

Tab. 4 Potravinářské a nepotravinářské aplikace sprejového sušení [upraveno podle 2].

Potravinářské aplikace	Nepotravinářské aplikace
sušené mléko	detergenty, mýdla, povrchově aktivní látky
sušená smetana	pesticidy, herbicidy, fungicidy, insekticidy
sušená syrovátka	hnojiva
kojenecká výživa	antibiotika, vakcíny, vitamíny, taniny
káva a čaje	enzymy, hormony, aminokyseliny
kasein a kaseináty	barviva, pigmenty
zmrzlinové směsi	keramické materiály
nutraceutika	

### 2.5.1 Medicínské aplikace

Sprejové sušení je v medicíně převážně používáno na výrobu mikročastic navržených pro enkapsulaci a řízené uvolňování léčiv. Díky skutečnosti, že sprejovým sušením lze zpracovat i látky citlivé na teplo, jako jsou enzymy, proteiny, vitamíny, aj., aniž by byla ohrožena jejich biologická aktivita, je produkce takových systémů možná. Tablety potažené těmito mikročasticemi jsou více odolné vůči kyselým žaludečním šťávám a uvolňují svůj obsah se zpožděním na požadovaném místě. Tímto mechanismem se redukuje počet denních dávek podaných léků, což je pro zdraví pacienta velmi příhodné. Takto vyrobené léčivo se může podávat orálně, parenterálně, oftalmologicky i nazálně. Dochází ke snížení vedlejších účinků u chronických nemocí [17].

Sprejové sušení má také vliv na rozpustnost léčiv. Ta bývají často v krystalické formě, která má špatnou rozpustnost, a tím i nižší disoluci. To vede ke snížení terapeutického účinku kvůli nízké biologické dostupnosti. Sprejovým sušením dochází ke zvýšení rozpustnosti léčiv ve vodě díky snížení velikosti částic a současnému zvětšení povrchu, který přichází do kontaktu s rozpouštědlem. K urychlení disoluce a lepší rozpustnosti je jaké možné připravit sprejovým sušením nanočástice, nebo společným sušením ve vodě nerozpustného léčiva s ve vodě rozpustnou látkou [15, 16].

### 2.5.2 Aseptické sušení

Aseptické sprejové sušení nabízí oproti tradičním metodám aseptického sušení řadu výhod. Sprejové sušení dovoluje větší kontrolu nad sušicím procesem, důsledkem je požadovaný produkt (tvar, hustota, morfologie). Dalším kladem jsou nižší náklady na provoz. Výroba sterilních lékových forem zahrnuje smíchání farmaceuticky aktivních látek s jednou nebo více pomocnými látkami a usušení na sterilní částice o daných vlastnostech [15,16].

### 2.5.3 Sprejové sušení mikroorganismů

Ve farmaceutickém průmyslu jsou mikroorganismy hojně využívány například jako producenti biologicky aktivních látek nebo meziproductů k výrobě účinných látek. Příkladem takových organismů jsou kvasinky, ty se používají jako biokatalyzátory pro různé chemické reakce. Jejich dostupnost ve formě prášku pozitivně ovlivňuje jejich aplikaci, skladování a prodlužuje jejich životaschopnost [16].

Chování bakterií během sprejového sušení nám poskytuje důležité informace, které nám usnadňují předcházet kontaminaci surovin patogenními mikroorganismy. Během procesu sušení může dojít k poškození bakteriální buňky, ta spustí ochranné mechanismy, jednak na buněčné úrovni a také na úrovni DNA a ribozomů a buňka začne rychle ztrácet vodu [16].

### 2.5.4 Rostlinné extrakty

Sprejovým sušením jsou běžně získávány i rostlinné extrakty. Takto získané částice jsou však typické svými špatnými reologickými vlastnostmi, vysokou hygroskopicitou a viskozitou. Proto nejsou vhodné pro enkapsulaci ani výrobu tablet. Proces tabletování vyžaduje použití vysokého tlaku, což vede při použití rostlinných extraktů k příliš tvrdým tabletám a dlouhým dobám rozpadu [16].

Vysoká hygroskopicita má vliv na zhoršenou fyzikální a chemickou stabilitu. Špatné reologické vlastnosti jsou dány malou velikostí částic, což je problémem zejména v průmyslu, kde jsou požadovány speciální podmínky na přísun surovin ze zásobníku a skladování [16].

### 2.5.5 Čisticí prostředky, mýdla a povrchově aktivní látky

Prací prášky se velmi často připravují metodou sprejového sušení. Vhodné jsou protiproudé sušárny s atomizační tryskou, díky které lze připravit prášek s vysokou sypanou hmotností. Pro čisticí prostředky s nízkou objemovou hmotností jsou naopak vhodné soupravidelné sušárny [13].

Parfémy, které se přidávají do čisticích prostředků, jsou během procesu sušení rozprašovány na malé kapičky parfémového oleje obalené ochranným koloidem, který brání odpařování vonných složek [13].

### 2.5.6 Potravinářství

#### Mléčné produkty

V mlékařském průmyslu je používání metody sprejového sušení velmi frekventované. Nesuší se jen mléka s různými obsahy tuku, ale také kaseináty, kasein, různé druhy syrovátek, využívá se při výrobě zmrzlin, sýrů a másel. K sušení mléka je nejvhodnější rotační atomizér nebo tlaková tryska. U sušených mlék je důležitá schopnost opětovného rozpuštění. Tu ovlivňuje vlhkost prášku, velikost částic, objemová hustota, smáčitelnost a dispergovatelnost, dále rychlost hydratace, tokové vlastnosti a hygroskopičnost [13].

#### Vaječné produkty

Před samotným sušením se vejce rozbijí, oddělí se žloutek od bílku (pokud nejsou zpracovávána celá) a vaječná hmota se pasterizuje. Samotné sušení probíhá v souprroudých sušárnách pomocí rotačního atomizéru. Konečným produktem potom jsou sušené bílky, žloutky nebo celá vejce [13].

#### Rostlinné produkty

Instantní kávové prášky byly vyráběny již před 50. lety, nicméně v posledních letech došlo k velkému pokroku, který má za následek mnohem lepší chuťové vlastnosti instantní kávy. Kávová zrna se čistí, smíchají, opraží a granulují. Takto upravená zrna se extrahují v alkoholu a následně se suší. Sušení se děje v souprroudých sušárnách s tryskovým atomizérem [13].

Suší se také rostlinné bílkoviny získané ze sójových bobů, arašíd, slunečnicových semínek, pícein a brambor. Například protein v prášku izolovaný ze sóji obsahuje až 92 % bílkovin. Proteinový prášek z arašídů je přidáván do vegetariánských jídel, polévek, párků a jiných masných výrobků [13].

Při zpracovávání brambor na škrob je použito množství vody. Ta je bohatá na proteiny z brambor, které jsou z ní izolovány díky sprejovému sušení [13].

#### Ovoce a zelenina

Sprejovým sušením jsou také zpracovávány ovocné a zeleninové dužiny, džusy a pasty. Proces sušení je jednodušší u zeleniny než u ovoce, a to díky vyššímu obsahu cukru u většiny druhů ovoce [13].

### Masné výrobky

Poražené zvíře je z asi 25 % procent složeno z krve, vnitřností a žláz. A právě tyto produkty lze zpracovávat sprejovým sušením, čímž se prodlouží jejich trvanlivost. Krev je sušená buď jako celek nebo je rozdělena na plazmu a albumin. Krevní produkty se suší při nízké teplotě, aby se zabránilo koagulaci [13].

### 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Využití tokoferolů a tokotrienolů ve vitamínu E v běžné praxi je velmi omezené, jelikož jsou labilní vůči teplu a světlu a jsou rychle degradovány v přítomnosti kyslíku. Při vystavení těmto podmínkám jsou přeměněny na chinon prostřednictvím tvorby epoxidu [19].

Tuto jeho nestabilitu lze částečně překonat výběrem vhodné technologie enkapsulace, umožňující ochranu vitamínu E před nepříznivými vlivy, čímž se zvýší jeho stabilita, biologická dostupnost a dojde i k solubilizaci ve vodném prostředí [19].

V rámci praktické části diplomové práce byla jako metoda enkapsulace vitamínu E zvolena sprejové sušení. Sprejové sušení emulzí je obecně doporučováno pro vitamíny rozpustné v tucích ( $\beta$  karoten, A, D a E). Již od konce 50. let se v potravinářském průmyslu se tato technika používala za cílem výroby dochucovacích olejů s ochranou proti jejich degradaci a oxidaci, a současně tvorby prášků z tekutých surovin. Výsledný produkt sprejového sušení představují částice. Částice složené z vitamínu E a biopolymerních materiálů byly testovány a charakterizovány v řadě publikací [24, 23, 53, 54]. Ze všech těchto studií vyplývá, že vlastnosti připravených částic jsou výrazně ovlivněny, jak charakterem aktivní látky, tak rovněž použitým obalu a jejich vzájemným poměrem. Tento ochranný obal je konkrétně v této práci předložené diplomové práci složen z polysacharidů maltodextrinu a arabské gumy. Ve studii Reineccius (1991), kde byl používán maltodextrin je uvedeno, že ačkoliv neposkytuje výraznou ochranu těkavým látkám během sprejového sušení, má dobrou schopnost chránit zapouzdřené lipofilní látky proti oxidaci. Maltodextrin je však také nutné použít k zapouzdření lipofilních látek spolu s dalším emulgačním činidlem, jinak není schopen tvořit stabilní emulze o částicích malé velikosti.

Z dostupné literatury je také zřejmé, že na parametry výsledného produktu mají vliv také procesní parametry sprejového sušení. Zvláštní pozornost aktuálního výzkumu je věnována problematice teploty sušicího média. Ve studii Carmo a kol. (2017), byl testován vliv sušicího plynu na sprejování částic obsahujících vitamín E enkapsulovaný v obalu tvořeném zeinem a cyklodextrinem. Bylo zjištěno, že použitá teplota sušení měla vliv na výtěžnost, anti-oxidační kapacitu i enkapsulační účinnost připravených částic [20].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 4 CÍL PRÁCE

Cílem teoretické části bylo vypracování literární rešerše na téma přípravy biopolymerních částic s obsahem biologicky aktivních látek. Pozornost byla věnována metodám enkapsulace lipofilních látek pro potravinářské a kosmetické aplikace. Důraz byl kladen na metodu sprejového sušení.

Cílem praktické části diplomové práce bylo připravit ve vodě rozpustné částice na bázi biopolymerů s obsahem aktivní látky (vitamínu E), metodou sprejového sušení. Připravené formulace obsahující různé poměry aktivní látky vůči obalu tvořeného maltodextrinem a arabskou gumou, byly v prvním kroku emulzifikovány a následně sprejově sušeny. V rámci metody sprejového sušení byl sledován vliv procesních parametrů (teplota sušení, rychlost přísunu surovin, koncentrace surovin) na výsledný charakter částic. Dalším krokem bylo připravené částice charakterizovat z hlediska fyzikálně-chemických vlastností. Konkrétně byla sledována výtěžnost, rozpustnost částic, enkapsulační účinnost, velikost částic a jejich morfologie pomocí SEM analýzy.

## 5 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE, ZAŘÍZENÍ A POSTUPY

### 5.1 Chemikálie

- Olej z pšeničných klíčků s vysokým obsahem vitamínu E, Rila rinatura
- Arabská guma MP Biomedicals, LLC
- Maltodextrin DE 7-13, DONAUCHEM s.r.o.
- ( $\pm$ )- $\alpha$ -Tocopherol, syntetický,  $\geq 96\%$ , HPLC kvalita, Sigma-Aldrich

### 5.2 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
- Laserový analyzátor velikosti částic Mastersizer 3000, Malvern
- Sušárna UN 55, Memmert
- Stříkačkové filtry s PTFE membránou, 0,22  $\mu\text{m}$ , VWR
- Skenovací elektronový mikroskop, Phenom PRO
- Centrifuga Microspin 12, Biosan
- Vortex MS 3 basic, Ika
- Mikrometr, Somet
- Běžné laboratorní sklo a pomůcky

## 5.3 Metody

### 5.3.1 Stanovení sušiny vitamínu E a oleje

Sušina byla stanovena navážením příslušných množství vitamínu E, popř. oleje a sušením do konstantní hmotnosti při 105 °C. Sušina byla stanovena dle:

$$x = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

Kde  $m_1$  je navážka suchého nebo předsušeného vzorku [g]

$m_2$  je hmotnost vysušeného (při 105°C) vzorku [g]

### 5.3.2 Sprejové sušení

Pro sprejové sušení byly připraveny roztoky o složení

- Aktivní látka (AL): olej z klíčků s vysokým obsahem vitamínu E/(±)- $\alpha$ -Tocopherol
- Obalový materiál: maltodextrin DE 7-13 (MD)
- Filmotvorný materiál: arabská guma (AG)
- Obsah pevné látky: 20 wt. %, 30 wt %.
- Poměry AL : MD : AG – 1:3:6; 1:4,5:4,5; 2:3:5; 2:4:4; 3:3:4; 3:4:3; 5:2:3; 6:1:3; 6:2:2, 7:1:2

V prvním kroku byly aktivní látka, maltodextrin a arabská guma naváženy a doplněny destilovanou vodou do hmotnosti 100 g. V dalším kroku byla připravena emulze pomocí vysokorychlostního homogenizátoru Ultraturrax při otáčkách 10 000 za minutu po dobu 3 minut. V případě použití vitamínu E jako aktivní látky byla doba homogenizace prodloužena na 6 minut kvůli jeho vysoké viskozitě.

Připravená emulze byla uchovávána v lednici. Ve finálním kroku, byla připravená emulze sušena ve sprejové sušárně. Nasušené částice byly uchovávány v uzavíratelných miskách v exsikátoru.

Experimentální 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: 30 %
- Výkon aspirátoru: 100 %

### 5.3.3 Stanovení enkapsulační účinnosti pomocí sušiny

Enkapsulační účinnost je důležitým parametrem pro systémy dodávající léčiva či jiné aktivní látky na požadované místo. Své využití nachází v potravinářském, kosmetickém či farmaceutickém průmyslu. Enkapsulační účinnost lze popsat jako procentuální obsah aktivní látky zachycené v matici [52].

Vzorky částic o hmotnostech v rozmezí 0,5–1 g zváženy s přesností na 1 mg byly sušeny do konstantního hmotnostního úbytku při teplotě  $103 \pm 2$  °C. Obsah vody byl určen z hmotnostního úbytku po vysušení a byl přepočten na obsah aktivní látky (rovnice 2).

$$w(N) + w(T) = 1$$

$$w(N) = 1 - w(T)$$

$$w_v = \frac{m(A)}{m(N)}$$

$$w_v(A) = \frac{w(A)}{w(N)} = \frac{w(A)}{1-w(T)} \quad (2)$$

### 5.3.4 Stanovení výtěžnosti sprejování

Částice získané sprejovým sušením byly přeneseny do předem zvážené misky a byla určena jejich hmotnost. Pro získání výtěžku byla hmotnost částic dána do podílu s hmotností pevného podílu před sprejovým sušením a vynásobena 100 pro získání procentuální hodnoty (rovnice 3)

$$\text{výtěžek (\%)} = \frac{\text{hmotnost produktu}}{\text{hmotnost pevného podílu}} \cdot 100 \quad (3)$$

### 5.3.5 Stanovení rozpustnosti nasprejovaných částic

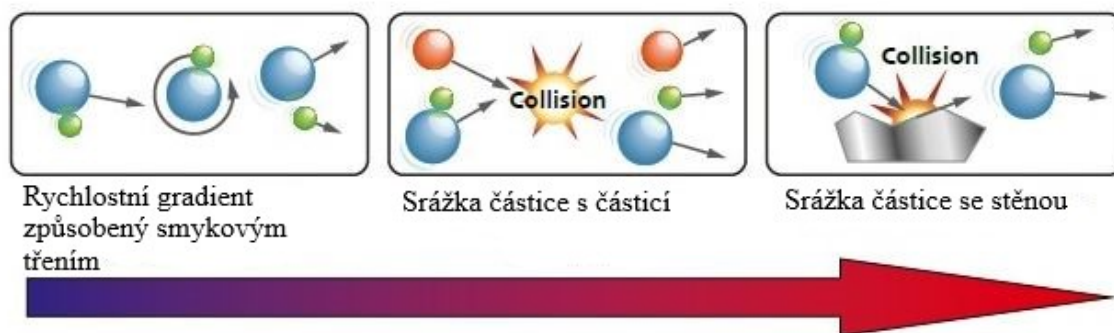
Rozpustnost nasprejovaných částic byla určena rozpuštěním 0,1 g vzorku v 1 ml destilované vody za laboratorní teploty. Směs pak byla centrifugována při 14 500 otáčkách za minutu po dobu 10 minut. Supernatant byl přelit do předem zvážené kádinky a sušen do konstantního úbytku. Rozpustnost pak byla stanovena dle rovnice 4 [39]:

$$\text{rozpustnost (\%)} = \frac{\text{hmotnost sušeného supernatant}}{\text{hmotnost vzorku před usušením}} \cdot 100 \quad (4)$$

### 5.3.6 Stanovení velikosti částic

Metoda stanovení velikosti částic pomocí laserové difrakce má široké spektrum aplikací a je běžně používanou technikou i v průmyslových odvětvích, protože je velmi rychlá a snadno reprodukovatelná. Pomocí laserové difrakce dochází k hromadnému měření částic, výsledek je tedy vytvořen pro celý vzorek. Částice kontinuálně proudí měřicí celou a laserový svazek na nich difraktuje. Výsledkem jsou informace o velikosti částic obsažené v difrakčním obraze, odkud jsou pomocí Fourierovy transformace transponovány do distribuční křivky [49 (str. 8–9), 50 (str. 52–53)]

Velikost částic D[4;3] byla stanovena pomocí laserového analyzátoru velikosti částic (Mastersizer 3000, Malvern). Měření bylo provedeno suchou cestou pomocí dispergační jednotky Aero MV. Parametry měření byly následující: index lomu – 1,673; absorpční index – 0,1. Vzorek byl do měřicí cely dávkován v závislosti na typu vzorku 10 až 30% rychlostí v rozmezí obskuracy 0,5–10% za tlaku 3 bar. Každý vzorek byl podroben třem opakováním. Zařízení Mastersizer 3000 používá k měření velikosti částic a distribuce velikosti částic materiálů princip laserové difrakce. Laserový paprsek prochází rozptýleným vzorkem a je měřena intenzita rozptýleného světla. Dispergace částic je řízena třemi proměnnými – tlakem vzduchu, rychlostí plnění vzorku a geometrií dispergátoru (Obr. 13) [38].



Obr. 13 Ilustrace tří mechanismů dispergace částic se zvyšující se energií [upraveno podle 38]

### 5.3.7 SEM analýza

Morfologie vzorků byla studována pomocí stolního rastrovacího elektronového mikroskopu Phenom PRO při použití urychlovacího napětí 5 kV. Vzorek byl umístěn do držáku pro nevodivé vzorky.

Principem skenovací elektronové mikroskopie je dopad tenkého svazku elektronu na všechna místa vzorku. Paprsek je odražen a převeden na viditelný obraz. [51].

## 6 VÝSLEDKY A DISKUZE

V rámci preexperimentální části byly sprejovým sušením z důvodu nalezení vhodného poměru enkapsulovaného jádra ku obalu připraveny nejprve prášky/částice, kde aktivní látku tvořil olej z pšeničných klíčků s vysokým obsahem vitamínu E. V následujícím kroku byly na základě preexperimentů připraveny částice se samotným vitamínem E.

### 6.1 Stanovení výtěžnosti sprejování

Výtěžek nasprejovaných částic představuje jeden ze základních parametrů hodnocení úspěšnosti sprejového sušení. Z hlediska použité sušárny Mini Spray Dryer B290 Büchi lze očekávat výtěžky produktů v rozmezí 40 až 60 % v závislosti na použitém materiálu [22].

#### 6.1.1 Částice s obsahem oleje

V rámci přípravy částic s obsahem oleje z pšeničných klíčků byly testovány následující poměry oleje ku obalu: 1:3:6; 1:4,5:4,5; 2:3:5; 2:4:4; 3:3:4; 3:4:3; 5:2:3; 6:1:3; 6:2:2; 7:1:2. Tyto poměry byly připraveny v rámci preexperimentů s 20% a 30% podílem pevné složky v emulzi. Rozdíl ve výtěžnosti zde však nebyl zaznamenán, a proto byly zvoleny pro další práci vzorky s 20 % podílem pevné látky pro jejich snadnější a rychlejší sušení.

Na výtěžnost sprejového sušení mělo vliv několik faktorů. Jedním z nich byl obsah oleje, přičemž bylo zjištěno, že se zvyšujícím se obsahem oleje klesala výtěžnost (tabulky 5 a 6). Nejnižší výtěžek byl pak zaznamenán u vzorku s poměrem surovin 6:2:2 a to necelé jedno procento. Zřetelný pokles výtěžnosti lze nicméně zaznamenat u všech vzorků s poměrem oleje ku obalu 5:2:3, 6:1:3, 6:2:2 a 7:1:2. Tento nízký výtěžek byl pravděpodobně způsoben tím, že maltodextrin jakožto obalový materiál spolu s arabskou gumou sloužící jako emulgační činidlo, nebyly obsaženy ve vhodném poměru. Během emulzifikace tedy nedošlo k dostatečně stabilnímu zapouzdření oleje, který během sprejového sušení odtékal do odpadní nádoby. Naopak nejvyšších výtěžků bylo dosaženo u vzorků s poměrem oleje ku obalu 1:3:6; 1:4,5:4,5; 2:3:5; 2:4:4; 3:3:4; 3:4:3 a to 8–48 %. Zde byl poměr maltodextrinu i arabské gumy dostačující a olej byl enkapsulován v matrici. Na výtěžnost má sice malý, ale pozorovatelný vliv i obsah maltodextrinu samotného. Tento jev je potvrzen studií Jafari a kol. [39] a Tonon a kol. [44], které poukázali, že zvýšení koncentrace maltodextrinu snížila výtěžnost kvůli zvýšené viskozitě směsi, což mělo za následek větší ulpívání částic na stěnách sušící komory.

Teplota sušení je dalším faktorem ovlivňující výtěžnost produktu. Nejvyšší výtěžek byl dosažen u vzorků sušených při teplotě 150 °C (u vzorku s poměrem surovin 1:4,5:4,5 činil až 48 %). Studie Fazaeli a kol. [43] potvrdila vliv teploty na výtěžnost. Jako důvod uvedli, že vyšší výtěžnosti produktu za vyšších teplot je dosaženo díky větší efektivitě tepla a větších objemů transformačních procesů, které za této zvýšené teploty vznikají. K tomu současně přispívá také snížená pravděpodobnost nárazů padajících částic do stěn nádoby.

*Tab. 5 Výtěžnost sprejového sušení u částic s 20% podílem pevné látky a obsahem oleje*

<b>Poměr</b>	<b>T[°C]</b>	<b>Produkt [g]</b>	<b>Výtěžek [%]</b>
1:3:6	150	7,19	35,95
	130	6,94	34,7
	110	6,6	33
1:4,5:4,5	150	9,67	48,35
	130	6,45	32,25
	110	6,14	30,7
2:4:4	150	4,13	20,65
	130	4,12	20,6
	110	3,72	18,6
2:3:5	150	5,06	25,3
	130	3,78	18,9
	110	3,67	18,35
3:3:4	150	3,33	16,65
	130	2,92	14,6
	110	1,15	5,75
3:4:3	150	2,96	14,8
	130	1,76	8,8
	110	1,69	8,45
7:1:2	150	0,35	1,75
5:2:3	150	0,20	1,00
6:1:3	150	0,27	1,35
6:2:2	150	0,19	0,95



*Tab. 6 Výtěžnost sprejového sušení u částic s 30% podílem pevné látky a obsahem oleje*

<b>Poměr</b>	<b>T[°C]</b>	<b>Produkt [g]</b>	<b>Výtěžek [%]</b>
1:4,5:4,5	150	12,52	41,70
2:4:4	150	9,31	31,03
3:3:4	150	7,7	25,66
3:4:3	150	7,7	25,66
2:3:5	150	2,9	9,66
1:3:6	150	2,89	9,63

### 6.1.2 Částice s obsahem vitamínu E

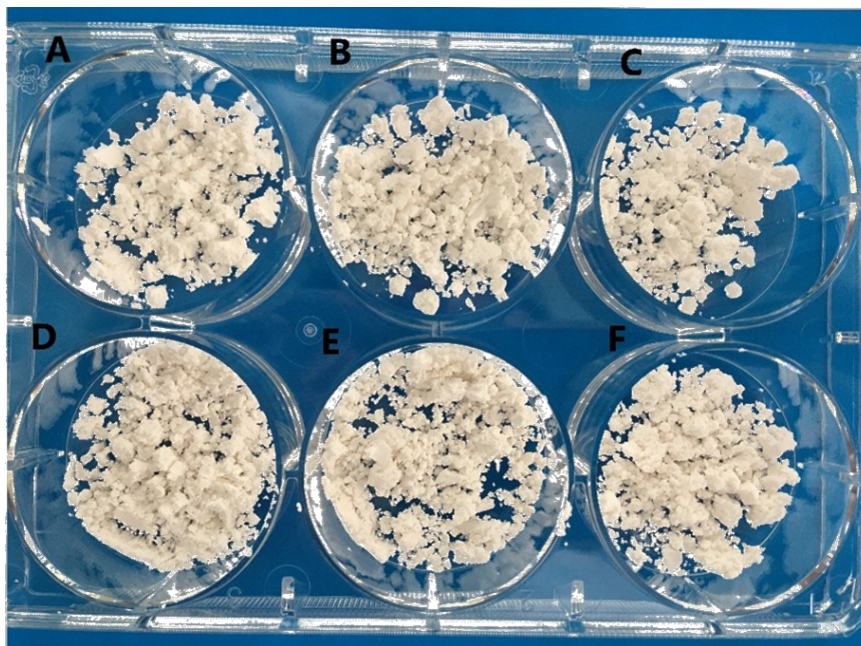
V rámci přípravy částic s vitamínem E byly testovány poměry obalu ku jádru, které byly vyhodnoceny na základě experimentů s olejem jako nejvíce účinné. Podobně jako v případě enkapsulace oleje z pšeničných klíčků, vliv teploty sušení na výtěžnost byl zaznamenán i u těchto s obsahem vitamínu E (Tab. 7). Výtěžnost u vzorků sušených při 150 °C byla nad 40 %, u vzorků sušených při 130 °C výtěžnost činila do 40 %. Nejnižší výtěžnost byla pozorována u vzorků sušených při 110 °C, kde se výtěžnost konkrétně pohybovala do 38 %. Jako optimální poměr surovin na výtěžek je pak dle výsledků poměr 1:4,5:4,5. K podobnému závěru, tedy že se výtěžek částic obsahujících vitamín E značně odvíjí od typu a obsahu obalových materiálů, dospěla také studie Selamat a kol. (2018) [21].

*Tab. 7 Výtěžnost sprejového sušení u částic s 20% podílem pevné látky a obsahem vitamínu E*

<b>Poměr</b>	<b>T[°C]</b>	<b>Produkt [g]</b>	<b>Výtěžek [%]</b>
1:4,5:4,5	150	8,51	42,55
	130	8,19	40,95
	110	7,25	36,25
1:3:6	150	8,38	41,19
	130	7,77	38,85
	110	7,69	38,45

## 6.2 Vizuální charakteristika

Připravené prášky měly bílou až lehce krémovou barvu (Obr. 14 Obr. 15). Teplota sušení ani poměr látek neměl zásadní vliv na strukturu a vzhled. Mírně odlišná struktura byla zaznamenána pouze u prášku, který obsahoval vyšší poměr oleje. Tento prášek neměl tendenci se shlukovat do větších celků a byl také více sypký (Obr. 15: prášky A–E s vyšším obsahem oleje, F–poměr 1:4,5:4,5 pro srovnání).



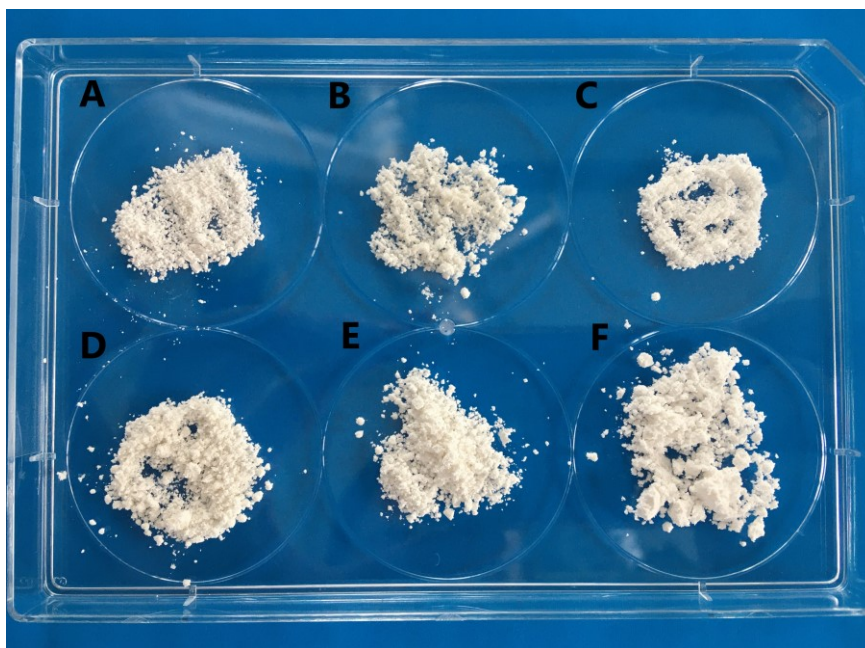
*Obr. 14 Vzhled a struktura částic s obsahem vitamínu E*

*A–poměr 1:4,5:4,5 sušeno při 150 °C, B–poměr 1:4,5:4,5 sušeno při 130 °C,*

*C–poměr 1:4,5:4,5 sušeno při 110 °C*

*D–poměr 1:3:6 sušeno při 150 °C, E–poměr 1:3:6 sušeno při 130 °C, F–po-*

*měr 1:3:6 sušeno při 110 °C*



Obr. 15 Vzhled a struktura částic s olejem, sušeno při 150 °C

A–poměr 5:2:3, B–poměr 6:1:3, C–poměr 6:2:2

D–poměr 7:1:2, E–poměr 3:3:4, F–pro srovnání poměr 1:4,5:4,5

### 6.3 Stanovení enkapsulační účinnosti pomocí sušiny

Postup stanovení enkapsulační účinnosti pomocí sušiny je popsán v kapitole 5.3.3. V tabulkách 8–10 jsou shrnuty výsledky enkapsulační účinnosti u částic s obsahem aktivních látek–oleje, popř. vitamínu E.

#### 6.3.1 Částice s obsahem oleje

Jak je patrné z tabulek 8 a 9, enkapsulační účinnost byla u částic s nižším obsahem oleje (1:3:6, 1:4,5:4,5, 2:3:5, 2:4:4, 3:3:4, 3:4:3) poměrně vysoká. Konkrétně se pohybovala v rozmezí 65–89 %. U částic s vyšším obsahem oleje (5:2:3; 6:1:3; 6:2:2; 7:1:2) se enkapsulační účinnost pohybovala pod hranicí 50 %. Nejnižší enkapsulační účinnost byla zaznamenána u částic s poměrem surovin 7:1:2 a to 27 %. Ve studii Norina Selamat a kol. [54] byl vitamín E enkapsulován v matrici matlodextrin a kaseinát sodný. Enkapsulační účinnost se zde pohybovala od 52–70 %, přičemž zvýšení poměru jádra ku stěně z 0,6 na 1,0 mělo efekt snížení enkapsulační účinnosti. Toto snížení může být způsobeno nestabilitou olejových kapek, které se nacházejí v emulzi před procesem sušení. Dalším možným důvodem je tenčí vrstva materiálu stěny mezi enkapsulovanými olejovými kapkami. Tento fakt je potvrzen i v předkládané diplomové práci.

Z prezentovaných výsledků je nicméně zřejmé, že vybraná matrice složená z maltodextrinu a arabské gummy je dostatečná pro zapouzdření lipofilní aktivní látky. U vzorků s obsahem oleje nebyl zaznamenán vliv teploty sušení na enkapsulační účinnost.

Tab. 8 Výsledky enkapsulační účinnosti v případě použití oleje, 30 % obs. pevné látky, a sprejového sušení při 150 °C.

%	T[°C]	Poměr	Sušina [%]	wA (hm. zlomek akt. látky ve vysušeném vzorku)	EE přepočtená na sušinu [%]
30	150	1:3:6	95,08	0,11	88,94
30	150	1:4,5:4,5	94,85	0,11	88,88
30	150	2:3:5	95,68	0,21	78,15
30	150	2:4:4	94,97	0,21	77,83
30	150	3:3:4	96,05	0,31	67,48
30	150	3:4:3	95,88	0,31	67,37

Tab. 9 Výsledky enkapsulační účinnosti při použití oleje, 20 % obs. pevné látky a sprejového sušení při 110,130,150 °C.

T[°C]	Poměr	Sušina [%]	wA (hm. zlomek akt. látky ve vysušeném vzorku)	EE přepočtená na sušinu [%]
110	1:3:6	93,45	0,11	88,55
	1:4,5:4,5	93,10	0,11	88,46
	2:4:4	93,08	0,21	76,92
	2:3:5	93,02	0,22	76,89
	3:3:4	93,61	0,32	65,77
	3:4:3	93,31	0,32	65,54
130	1:3:6	94,64	0,11	88,84
	1:4,5:4,5	94,27	0,11	88,75
	2:3:5	95,08	0,21	77,88
	2:4:4	94,65	0,21	77,68
	3:3:4	95,09	0,32	66,82
	3:4:3	94,63	0,32	66,50
150	1:4,5:4,5	94,00	0,11	88,68
	1:3:6	93,81	0,11	88,64
	2:4:4	94,80	0,21	77,75
	2:3:5	93,12	0,21	76,94
	3:4:3	95,61	0,31	67,18
	3:3:4	94,85	0,32	66,66
	5:2:3	94,02	0,53	43,43
	6:1:3	98,02	0,61	37,55
	6:2:2	94,96	0,63	33,46
7:1:2	98,37	0,71	27,67	

### 6.3.2 Částice s obsahem vitamínu E

Enkapsulační účinnost byla stanovena i u částic s obsahem vitamínu E (Tab. 10). Získané výsledky byly srovnatelné s částicemi s obsahem oleje ve stejných poměrech. Pohybovaly se nad hranicí 88 %. Ve studii Mujica-Álvarez a kol. [53] se zabývali enkapsulací vitamínu A a E do matrice složené z maltodextrinu, Capsul<sup>®</sup> a Tween 80. Vitamín A byl v této matrici enkapsulován ze 100 % a vitamín E pouze v množství 48 %. V diplomové práci bylo dosaženo vyšší enkapsulační účinnosti vitamínu E do matrice složené z maltodextrinu a arabské gumy. Nicméně je třeba podotknout, že v rámci studie byla použita jiná metodologie stanovení enkapsulační účinnosti než v této diplomové práci. Dále pak ve studii Tarigan a kol. (2018) [24] byl vitamín E enkapsulován v matrici složené z galaktomananu ze semen rostliny *Arenga pinnata* (GAP) a arabské gumy. Bylo zjištěno, že efektivita enkapsulace je vyšší při použití těchto dvou ochranných materiálů. Vyšší enkapsulační účinnosti bylo také dosaženo s vyšším obsahem GAP. Dále jak dokládá tabulka 10, na enkapsulační účinnost sprejového sušení měla vliv i použitá teplota sušení vzorků. Tento jev je zde však nepatrný, což naznačuje, že použité teploty byly již tak vysoké, že se tento trend na enkapsulační účinnosti nijak neodrazil.

Tab. 10 Enkapsulační účinnost u částic s obsahem vitamínu E.

%	T [°C]	Poměr	Sušina [%]	wA	EE
				(hm. zlomek akt. látky ve vysušeném vzorku)	přepočtená na sušinu [%]
20	150	1:4,5:4,5	94,47	0,11	88,79
20	150	1:3:6	93,63	0,11	88,59
20	130	1:3:6	93,08	0,11	88,46
20	130	1:4,5:4,5	92,84	0,11	88,40
20	110	1:4,5:4,5	92,32	0,11	88,27
20	110	1:3:6	91,80	0,11	88,13

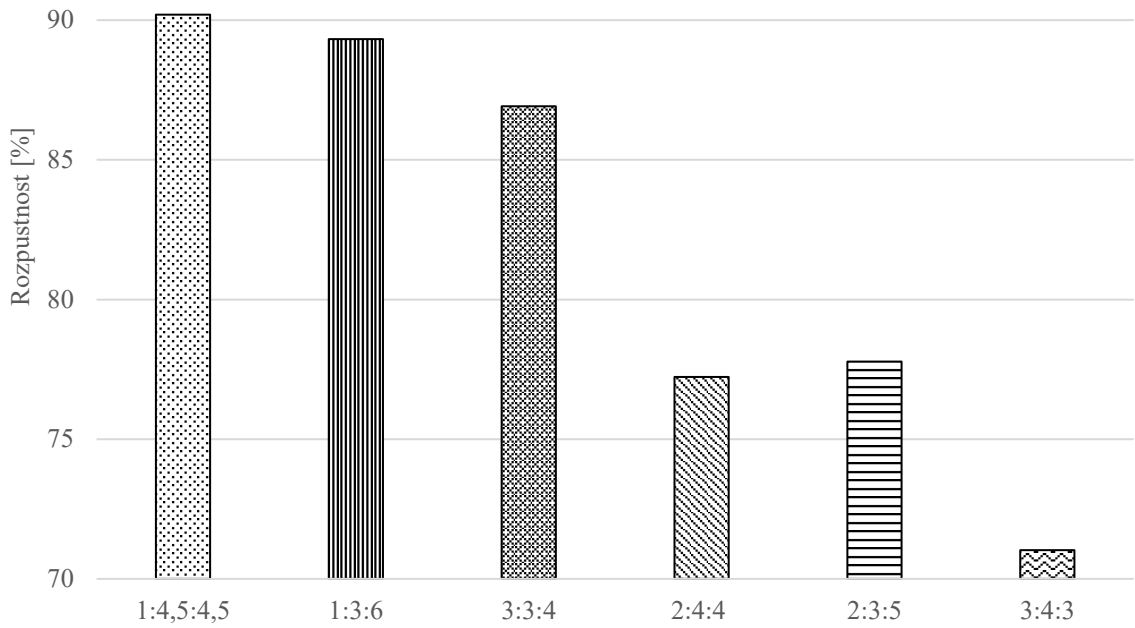
## 6.4 Stanovení rozpustnosti nasprejovaných částic

Index rozpustnosti ve vodě je klíčovým ukazatelem chování produktu ve vodném prostředí a obecné kritérium pro stanovení kvality rekonstituce prášku. Rozpustnost prášku je ovlivněna mnoha parametry, mezi které patří počáteční složení surovin, typ nosiče, rychlost sušení atd.

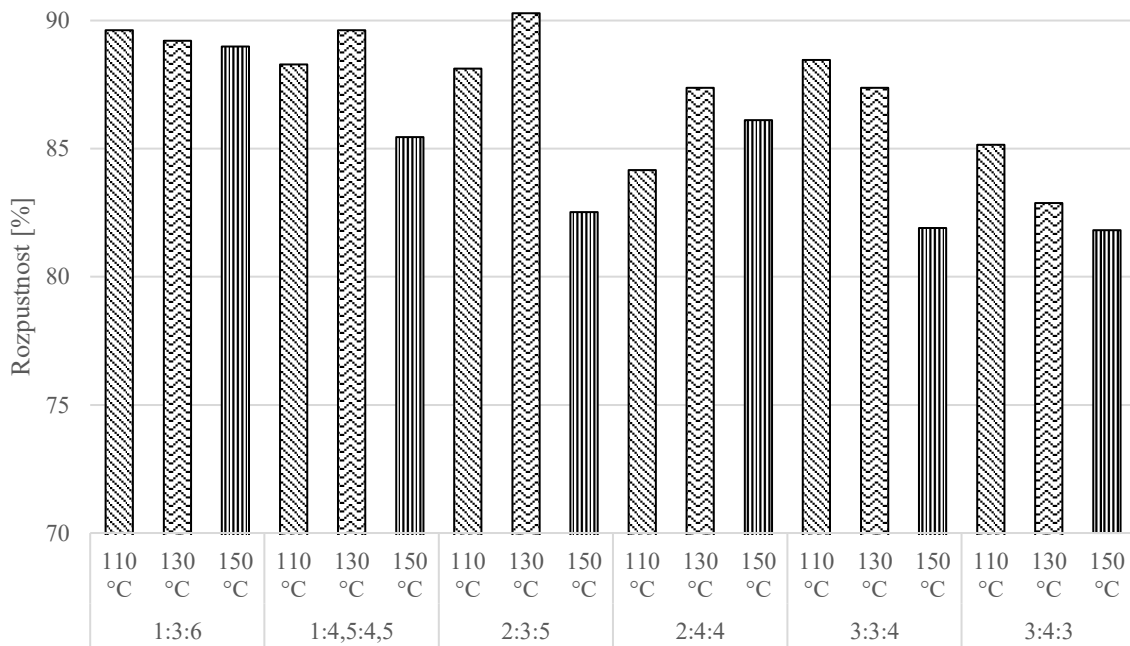
### 6.4.1 Částice s obsahem oleje

Rozpustnost nasprejovaných částic s obsahem oleje a 20% podílem pevné látky se pohybuje od 81 % do 90 % (Obr. 16Obr. 17). U částic s 30% podílem pevné látky je rozptyl poněkud vyšší a rozpustnost se pohybuje od 71 % do 90 % (Obr. 16). Nejnížší hodnoty rozpustnosti jsou zaznamenány u částic s poměrem 3:4:3. Tyto zjevné rozdíly mezi vzorky s odlišným obsahem pevné fáze jsou nejspíše způsobeny vyšším obsahem oleje a jeho poměrem ku obalu v případě méně rozpustných vzorků. Na rozpustnost má kromě obsahu oleje také vliv množství samotného obalového materiálu. To dokládá také studie Jafari a kol. (2017), v níž byl zkoumán obsah maltodextrinu a jeho vliv na rozpustnost nasprejovaných částic. Bylo zjištěno, že vyšší obsah maltodextrinu v částicích snižuje rozpustnost i přesto, že má maltodextrin vysokou rozpustnost ve vodě [39]. Tento fakt potvrdila i aktuální studie Moreira a kol. (2020) [42], kteří zaznamenali vliv obsahu maltodextrinu na rozpustnost u nasprejovaných prášků z extraktu z aceroly. I přes snížení rozpustnosti však byla u vzorků zachována rozpustnost okolo 90 %. Tento jev je pozorovatelný i u vzorků v diplomové práci.

Na rozpustnost měla vliv i teplota sušení. Při teplotě sušení 150 °C je dosaženo u téměř všech vzorků (výjimkou je poměr 2:4:4) nižší rozpustnosti ve srovnání se vzorky sušenými při 110 °C popř. 130 °C. Vlivem teploty sušení na rozpustnost se zabývali Chegini a Ghobadian [40] a Quek a kol. [41], kteří zaznamenali, že zvýšení teploty sušicího vzduchu snížilo rozpustnost prášku z pomerančové a melounové šťávy. Tento fakt vysvětlili tak, že při vysokých teplotách sušicího vzduchu může dojít k vytvoření tvrdé povrchové vrstvy na částicích, což zamezuje nebo zpomaluje difúzi molekul vody skrze částice, snižuje se smáčivost a tím pádem i rozpustnost.



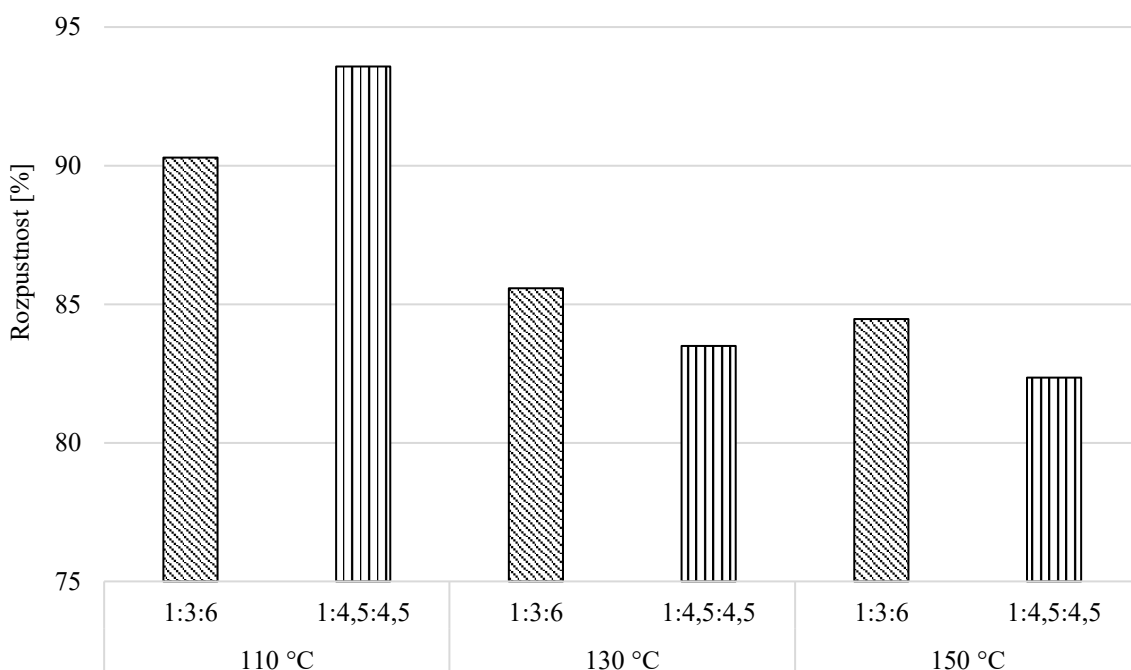
Obr. 16 Rozpustnost naspřejovaných částic obsahující 30% podíl oleje sušené při teplotě 150 °C.



Obr. 17 Rozpustnost naspřejovaných částic obsahující olej sušených při 110, 130 a 150 °C.

### 6.4.2 Částice s obsahem vitamínu E

Rozpustnost nasprejovaných částic s obsahem vitamínu E se pohybuje od 82 % do 93 % (Obr. 18), přičemž lze také jako v případě vzorků s obsahem oleje pozorovat pokles rozpustnosti se zvyšující se teplotou sušení. U částic sušených při teplotě 110 °C byla rozpustnost vyšší (přes 90 %) než u částic sušených při teplotě 150 °C (přes 80 %). Nejvyšší rozpustnosti bylo dosaženo u částic s poměrem surovin 1:4,5:4,5 sušených při 110 °C, a to více jak 93 %. Důvodem může být stejně jako v případě vzorků s olejem, vytvoření tvrdé povrchové vrstvy na částicích, čímž se sníží smáčivost povrchu částic, a tak dojde k omezení rozpustnosti.



Obr. 18 Rozpustnost nasprejovaných částic s obsahem vitamínu E.



## 6.5 Stanovení velikosti částic

Pro charakterizaci prášku je z hlediska potenciálního využití důležité stanovení velikosti a homogenity částic. K tomuto stanovení se využívá metody laserové difrakce.

### 6.5.1 Částice s obsahem oleje

Hodnoty velikosti částic prášku s obsahem oleje, vyjádřeny jako střední vážená hodnota počítaná přes objem  $D[4;3]$ , jsou uvedeny v tabulkách 11 a 12.

V případě částic s obsahem oleje lze pozorovat vliv složení obalu, obsahu oleje a rovněž teploty na výslednou velikost částic. Nicméně na rozdíl od částic s obsahem vitamínu E nebyly tyto trendy tak výrazné. Toto lze pravděpodobně vysvětlit tím, že na rozdíl od částic s vitamínem E byly zkoušeny i nevhodné poměry, což ovlivnilo samotnou formulaci a následné sprejové sušení. V případě 20% podílu pevné látky a za teploty sprejování 110 °C měly částice velikosti v rozmezí  $(14,17 \pm 0,27)$   $\mu\text{m}$  až  $(22,53 \pm 1,12)$   $\mu\text{m}$ . Při použití teploty 130 °C byly připraveny částice o velikosti  $(11,93 \pm 0,09)$   $\mu\text{m}$  až  $(22,6 \pm 1,51)$   $\mu\text{m}$ . Částice sušené při teplotě 150 °C dosahovaly velikosti  $(11,2 \pm 0,00)$   $\mu\text{m}$  až  $(34,4 \pm 0,21)$   $\mu\text{m}$ . V případě 30% podílu pevného podílu byla velikost částic určena v rozmezí  $(12,27 \pm 0,03)$   $\mu\text{m}$  až  $(19,60 \pm 0,62)$   $\mu\text{m}$ . Při vzájemném porovnání vzorků o rozdílném obsahu pevné látky, připravených při teplotě 150 °C, je zjevné, že se velikost částic znatelně liší pouze u poměrů 3:3:4 a 3:4:3. Na základě získaných výsledků se nepotvrdil původní předpoklad, že obsah oleje bude mít výraznější vliv na velikost částic než složení obalu.

Z hlediska distribuce velikost částic (Obr. 19–22) byl v případě vzorků připravených při teplotách 110, 130 i 150 °C zaznamenán podobný průběh distribučních křivek. Vzorky byly většinou multimodální, s převažující populací částic v rozmezí 0,8 až 50  $\mu\text{m}$ . Nebyl zaznamenán rozdíl v trendu mezi vzorky o různém složení obalového materiálu či odlišném obsahu oleje.

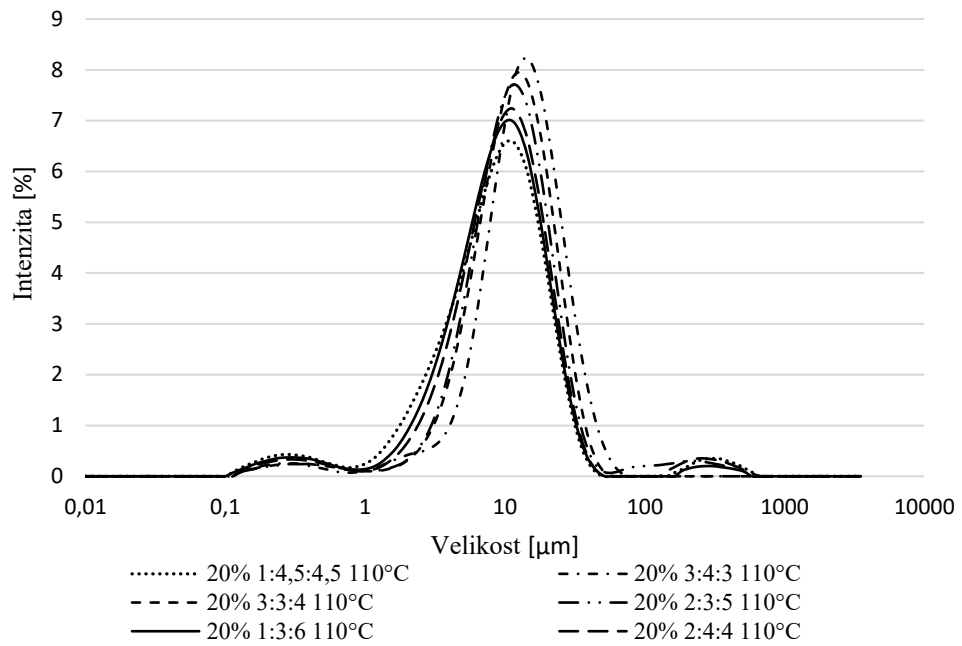
V případě hodnoty polydisperzity vzorků s 20% podílem pevné fáze (Tab. 11), lze jako nejvíce homogenní vyhodnotit vzorky připravené při teplotě sušení 130 °C, kde se hodnota spanu pohybovala v rozmezí  $1,50 \pm 0,01$  až  $1,98 \pm 0,04$ . Při srovnání poměru jádra vůči obalu byla nejnižší hodnota polydisperzity naměřena pro poměry 3:3:4 a 3:4:3 a to za teplot sušení 110 °C a 130 °C. Naopak při použití teploty 150 °C byl nejvíce homogenní vzorek o poměru 2:4:4. U vzorků s 30% obsahem pevného podílu byla polydisperzita zaznamenána v rozmezí  $1,62 \pm 0,01$  až  $2,23 \pm 0,01$ . Jako nejvíce homogenní byl vyhodnocen vzorek o poměru 3:4:3.

Tab. 11 Hodnoty velikostí a distribuce velikostí částic s obsahem oleje a 20% podílem pevné fáze.

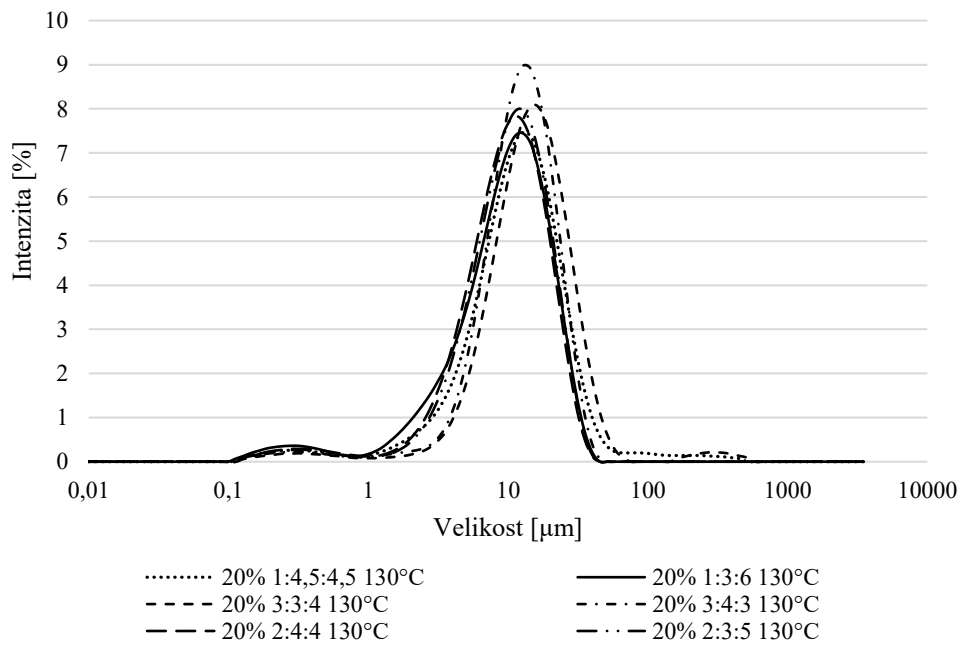
T [°C]	Poměr	Vel. částic [μm]	Span	SSA [m <sup>2</sup> /kg]
110 °C	1:4,5:4,5	14,96±2,60	2,13±0,06	1314,33±2,33
	1:3:6	16,37±3,18	2,06±0,06	1175,33±20,74
	2:3:5	21,17±1,30	1,96±0,06	842,50±5,25
	2:4:4	22,53±1,12	2,06±0,04	1030,33±2,60
	3:3:4	14,17±0,27	1,76±0,01	828,27±3,58
	3:4:3	16,13±0,13	1,70±0,02	782,30±4,94
130 °C	1:4,5:4,5	19,13±1,90	1,98±0,04	861,47±6,90
	1:3:6	11,93±0,09	1,88±0,01	1151,67±10,49
	2:3:5	12,70±0,12	1,70±0,00	908,43±1,69
	2:4:4	12,00±0,06	1,76±0,01	978,20±6,31
	3:3:4	22,6±1,51	1,74±0,04	643,83±12,34
	3:4:3	14,13±0,09	1,50±0,01	757,90±0,75
150 °C	1:4,5:4,5	11,20±0,00	1,95±0,01	1120,33±3,33
	1:3:6	17,50±1,86	1,76±0,02	852,27±3,67
	2:3:5	15,97±0,09	2,22±0,04	642,53±39,42
	2:4:4	13,50±0,06	1,81±0,00	774,97±13,53
	3:3:4	34,40±0,21	4,94±0,16	781,07±11,01
	3:4:3	27,43±0,91	2,57±0,04	655,87±11,36

Tab. 12 Hodnoty velikostí a distribuce velikostí částic s obsahem oleje a 30% obsahem pevné látky.

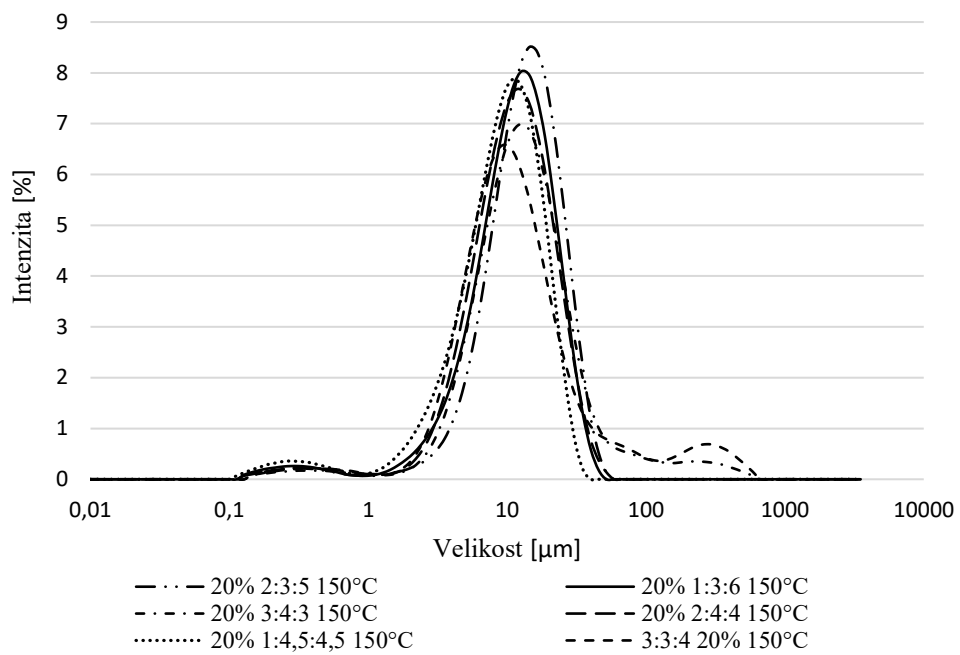
Poměr	Vel. částic [μm]	Span	SSA [m <sup>2</sup> /kg]
1:4,5:4,5	12,27±0,03	1,95±0,01	1073,33±6,84
1:3:6	13,47±0,03	2,23±0,01	1062,67±22,66
2:3:5	18,57±1,71	2,22±0,04	849,73±5,31
2:4:4	13,43±0,03	1,83±0,00	966,50±2,25
3:3:4	19,60±0,62	1,91±0,01	677,53±4,65
3:4:3	14,37±0,03	1,62±0,01	792,23±8,75



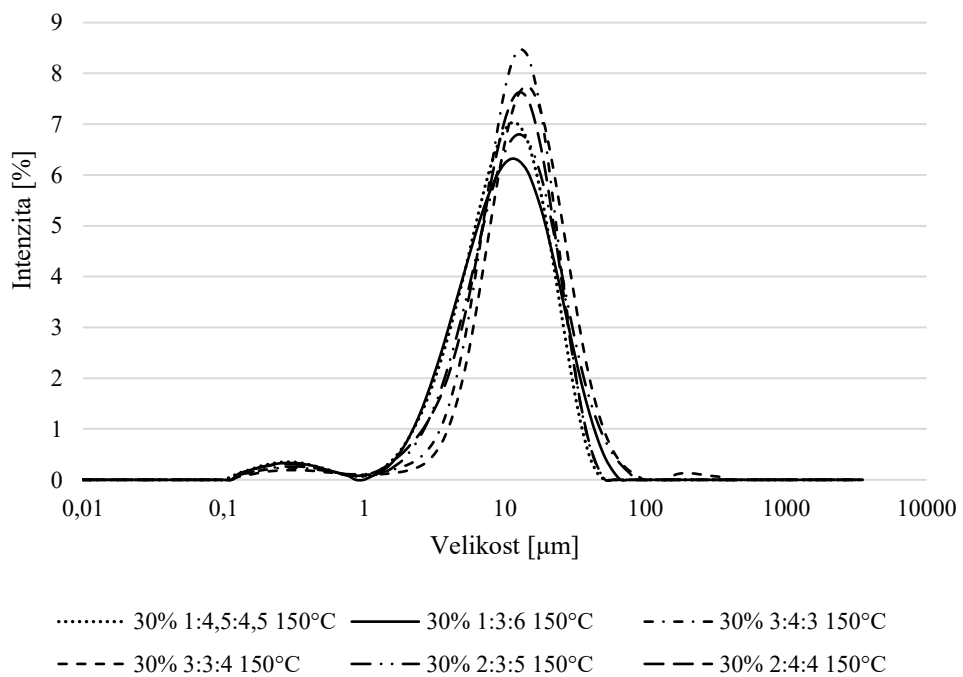
Obr. 19 Srovnání distribučních křivek částic s 20% obsahem oleje sušených při 110 °C.



Obr. 20 Srovnání distribučních křivek částic s 20% obsahem oleje sušených při 130 °C.



Obr. 21 Srovnání distribučních křivek částic s 20% obsahem oleje sušených při 150 °C.



Obr. 22 Srovnání distribučních křivek částic s 30% obsahem oleje sušených při 150 °C.

### 6.5.2 Částice s obsahem vitamínu E

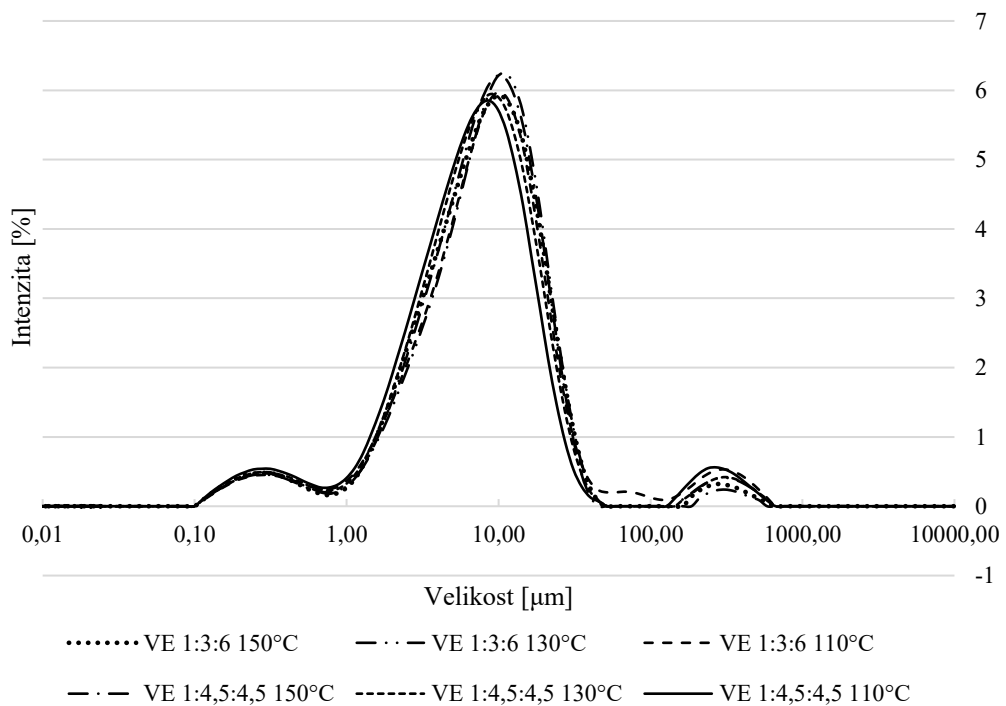
Dle naměřených hodnot z *Tab. 13*, lze usoudit, že na velikost částic má vliv teplota sušení i složení obalového materiálu. Velikost částic s obsahem vitamínu E sušených při 110 °C dosahovala při poměru surovin 1:3:6 v průměru  $(25,87 \pm 1,22)$   $\mu\text{m}$ , přičemž částice stejného systému sušené při teplotách vyšších měly v průměru hodnoty velikosti menší. Konkrétně při teplotě sušení 130 °C se hodnota velikosti rovnala  $(17,77 \pm 2,09)$   $\mu\text{m}$  a při teplotě 150 °C se jednalo o  $(17,1 \pm 1,15)$   $\mu\text{m}$ . U částic s poměrem surovin 1:4,5:4,5 byl vysledován trend obdobný. V případě částic sušených při teplotě 110 °C dosahovala jejich velikost hodnoty  $(20,40 \pm 0,78)$   $\mu\text{m}$ , při teplotě 130 °C se jednalo o hodnotu  $(20,07 \pm 0,82)$   $\mu\text{m}$  a nejmenší velikost měly částice sušené při 150 °C  $(14,1 \pm 2,14)$   $\mu\text{m}$ . Kromě toho byl zjevně patrný také vliv složení obalu na velikost částic. Z tohoto hlediska bylo zjištěno, že při použití poměru 1:4,5:4,5, byla velikost připravených částic, až na jednu výjimku (teplota 130 °C), menší než v případě poměru 1:3:6. Ve studii Lazim a kol. (2017) se zabývali charakterizací částic složených z maltodextrinu, kaseinátu sodného a vitamínu E v poměru 3:2:1, které byly připraveny lyofilizací [23]. Bylo dosaženo částic o velikosti  $(4,56 \pm 0,38)$   $\mu\text{m}$ . Je tedy možné konstatovat, že pomocí sprejového sušení lze dosáhnout částic o větší velikosti než lyofilizací.

Z hlediska polydisperzity částic se jednalo o méně uniformní částice než v případě použití oleje. Hodnota spanu u všech vzorků překročila hodnotu 2. To se také odrazilo na distribučních křivkách (Obr. 23), kdy všechny vzorky, až na jednu výjimku (1:4,5:4,5), byly multimodální. Převažující populace částic se nacházela v rozmezí 0,8 až 50  $\mu\text{m}$ , což koresponduje s výsledky vzorků s obsahem oleje z pšeničných klíčků.

Podle studie Walton a kol. (2000) [46] a Tonon et al. (200) [44] velikost částic ovlivňuje i teplota sušení, vyšší teplota vede k větší velikosti částic. Citované studie uvádějí, že teplejší vzduch způsobuje větší expanzi částic. Tyto částice zůstávají následně kratší dobu v sušící komoře a nevytvářejí částice s menšími průměry, které naopak vznikají za teplot nižších. Značná polydisperzita je dle studie Tarigan a kol. (2018) způsobena i nízkou stabilitou emulze díky nehomogennímu míchání [24].

Tab. 13 Hodnoty velikostí a velikostí distribuce částic s 20% obsahem vitamínu E.

T [°C]	Poměr	Vel. částic [ $\mu\text{m}$ ]	Span	SSA [ $\text{m}^2/\text{kg}$ ]
110 °C	1:3:6	$25,87 \pm 1,22$	$2,69 \pm 0,03$	$1389,67 \pm 11,67$
	1:4,5:4,5	$20,40 \pm 0,78$	$2,57 \pm 0,02$	$1626,33 \pm 6,36$
130 °C	1:3:6	$17,77 \pm 2,09$	$2,28 \pm 0,05$	$1402,33 \pm 4,10$
	1:4,5:4,5	$20,07 \pm 0,82$	$2,49 \pm 0,04$	$1496,00 \pm 6,00$
150 °C	1:3:6	$17,1 \pm 1,15$	$2,47 \pm 0,02$	$1506,67 \pm 30,30$
	1:4,5:4,5	$14,1 \pm 2,14$	$2,26 \pm 0,04$	$1423,33 \pm 5,24$

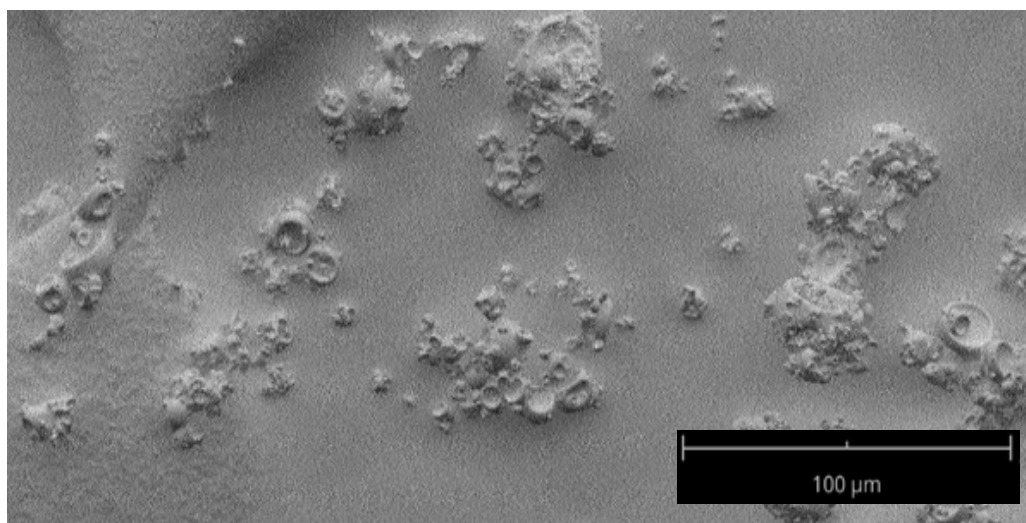


Obr. 23 Srovnání distribučních křivek částic s obsahem vitamínu E sušených při 110 °C/130 °C/150 °C

## 6.6 SEM analýza

### 6.6.1 Částice s obsahem oleje

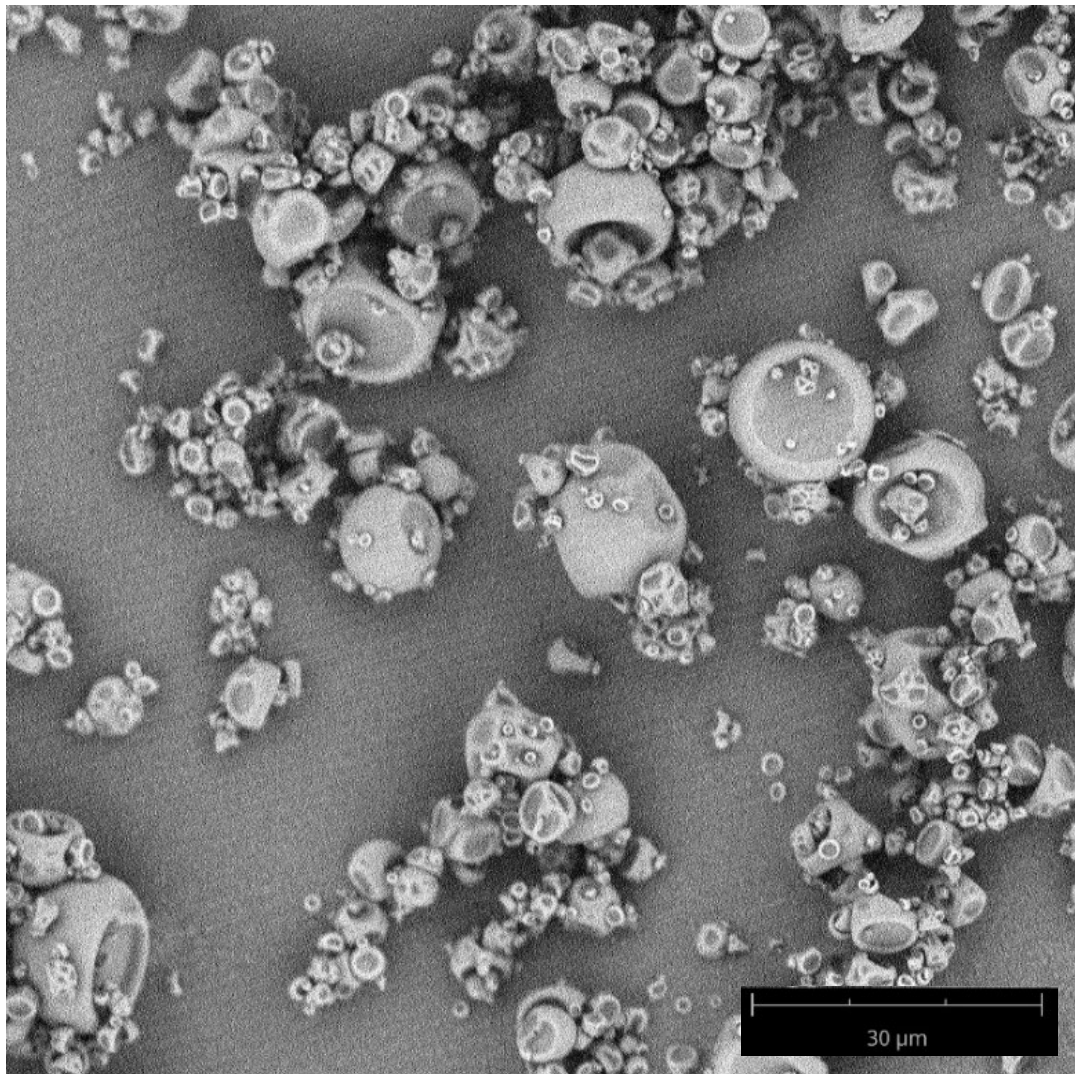
Částice s obsahem oleje s poměrem surovin 2:3:5 jsou zachyceny na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Tyto částice byly nestabilní a vykazovaly tendenci bortit se. Tento fakt může být způsoben vyšším obsahem oleje v jádře a tím pádem slabší obalovou vrstvou, která byla za podmínek měření nestabilní.



Obr. 24 SEM částic s obsahem oleje, poměr 2:3:5, sušeno při 150 °C, zvětšení 850x.

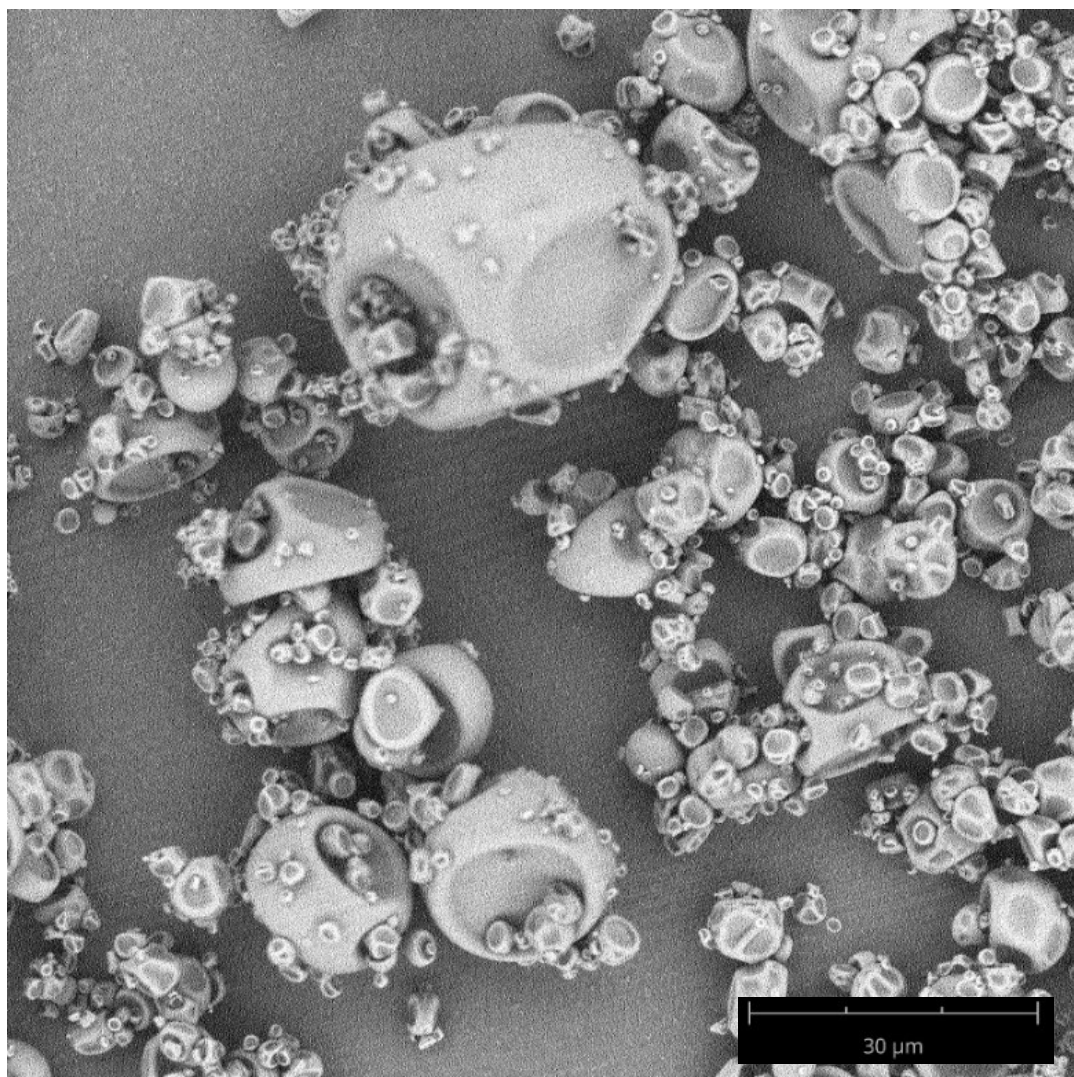
### 6.6.2 Částice s obsahem vitamínu E

Částice s obsahem vitamínu E sušené při 150 °C jsou z hlediska tvaru heterogenní multimodální částice kulovitěho tvaru, což je typické pro produkty sprejového sušení [39]. Jak je patrné na snímcích z elektronového mikroskopu, obsah aktivní látky i složení obalu částic mělo vliv na jejich vzhled (Obr 21–22). Vlivem teploty na strukturu částic se zabýval Phisut [47]. V této studii bylo zjištěno, že vyšší teploty vedou k produkci částic s hladším povrchem a také byla potvrzena větší velikost částic. Naopak při nižší teplotě se tvoří částice s více zvrásněným povrchem. Vysoké teploty urychlují odpařování a utvářejí hladší a tvrdší povrch, zatímco nízké teploty tvoří povrch deformovaný. Nijdam a Langrish [48] toto potvrdili při výzkumu sušení mléka. Když byla teplota sušení dostatečně vysoká, vlhkost se začala odpařovat velmi rychle a povrch částic byl suchý a pevný. To vedlo k tomu, že se duté částice nesmrštily při jejich přesunu do chladnějších oblastí sušící komory, kde na nich kondenzovala pára. Naopak při nižších teplotách zůstal povrch částic vlhký a pružný, což vedlo k jejich deformaci při přesunu do oblastí sušící komory s nižšími teplotami.



*Obr. 25 SEM částic s obsahem vitamínu E, poměr  
1:3:6, sušeno při 150 °C, zvětšení 2400x.*





*Obr. 26 SEM částic s obsahem vitamínu E, poměr  
1:4,5:4,5, sušeno při 150 °C, zvětšení 2400x.*

## ZÁVĚR

V diplomové práci byla zkoumána enkapsulace vitamínu E a oleje s vysokým obsahem vitamínu E za použití kombinovaného obalového materiálu složeného z maltodextrinu a arabské gumy technikou sprejového sušení. Sprejové sušení je velmi častá metoda používaná zejména v potravinářském průmyslu.

Fyzikální charakterizace enkapsulovaného vitamínu E (popř. oleje) poskytla cenné informace o morfologii povrchu, velikosti, tvaru, rozpustnosti, enkapsulační účinnosti a výtěžnosti procesu sprejování.

Výsledky ukázaly, že z hlediska na vizuální charakter částic měl vliv pouze jeden parametr, a to poměr aktivní látky ku obalu. Z hlediska morfologie částic bylo díky SEM analýzy zjištěno, že částice mají sférický tvar, což je typické pro produkty sušení. Z pořízených snímků bylo dále patrné, že u částic s vyšším poměrem maltodextrinu došlo ke smrštění jejich povrchu. Na vzhled povrchu měla vliv i teplota sušení. Teplejší sušicí vzduch vedl k produkci částic s hladším povrchem, jelikož docházelo k rychlejšímu odpařování rozpouštědla. Multimodální charakter prášku mohl být způsoben nízkou stabilitou emulze díky nehomogennímu míchání.

U sprejového sušení představuje důležitým parametrem také výtěžnost procesu. Bylo zjištěno, že zásadními parametry ovlivňující výsledný výtěžek částic byl zejména obsah oleje, podíl pevné fáze, sušicí teplota i poměr MD a AG.

Enkapsulační účinnost byla stanovena pomocí sušiny a bylo dosaženo uspokojivých výsledků. Pohybovala se v rozmezí 65-88 % (s výjimkou části s vysokým obsahem oleje), což je srovnatelné i s ostatními studii. Z výsledků lze tedy usoudit, že kombinace maltodextrinu a arabské gumy se jeví jako vhodná volba obalových materiálů pro enkapsulaci lipofilních aktivních látek.

Testování rozpustnosti ukázalo, že existuje vztah mezi množstvím maltodextrinu ve formulaci a rozpustností. Vliv měla i teplota sušení, nicméně celkově lze všechny vzorky považovat za ve vodě rozpustné, protože se rozpustnost pohybovala v rozmezí 70–93 %.

Z výsledků stanovení velikosti nasprejovaných bylo zjištěno, že se jednalo o multimodální mikročástice v rozmezí velikostí od 11 do 34  $\mu\text{m}$ . Na výslednou velikost částic měl vliv zejména poměr použitých obalových materiálů než obsah oleje.

Závěrem lze říci, že vlastnosti částic s obsahem vitamínu E a oleje z pšeničných klíčků získané sprejovým sušením lze ovlivnit různými faktory – nejvýraznější vliv měl poměr aktivní látky ku obalu, dále se na vlastnostech částic podílela teplota sušení.

Výsledky této diplomové práce lze považovat za základ pro další experimenty týkající se zejména optimalizace složení částic s využitím např. jiných obalových materiálů a podmínek sprejového sušení.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] NEDOVIĆ, Viktor; KALUŠEVIĆ, Ana; MANOJLOVIĆ, Verica; PETROVIĆ, Tanja; BUGARSKI, Branko. Encapsulation Systems in the Food Industry. Food Engineering Series. 2013, s. 229-253. ISSN:1571-0297.
- [2] ANANDHARAMAKRISHNAN, C; ISHWARYA S, Padma. Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation. . 2015, . ISSN:-.
- [3] MISHRA, Munmaya. Handbook of Encapsulation and Controlled Release. . 2015, . ISSN:-.
- [4] MIKULCOVÁ, Veronika Ing. Dispersion systems as carriers of active substances [online]. Zlín, 2017 [cit. 2019-10-02]. Dostupné z: -. Diplomová práce. Tomas Bata University in Zlin, Faculty of Technology, Department of Fat, Surfactant and Cosmetics. Vedoucí práce Doc. Věra Kašpárková, CSc
- [5] Principles of Polymer Science and Technology in Cosmetics and Personal Care. . 1999, . ISSN:-.
- [6] CASANOVA, Francisca; SANTOS, Lúcia. Encapsulation of Cosmetic Active Ingredients for Topical Application - a Review. Journal of Microencapsulation. 2016, vol. 33, no. 1 s. 1-17. ISSN:0265-2048
- [7] SHISHIR, Mohammad Rezaul Islam; CHEN, Wei. Trends of Spray Drying: A Critical Review on Drying of Fruit and Vegetable Juices. Trends in Food Science & Technology. 2017, vol. 65 s. 49-67. ISSN:0924-2244.
- [8] GHARSALLAOUI, Adem; ROUDAUT, Gaëlle; CHAMBIN, Odile; VOILLEY, Andrée; SAUREL, Rémi. Applications of Spray-drying in Microencapsulation of Food Ingredients: An Overview. Food Research International. 2007, vol. 40, no. 9 s. 1107-1121. ISSN:0963-9969.
- [9] CAL, Krzysztof a Krzysztof SOLLOHUB. Spray Drying Technique. I: Hardware and Process Parameters. Journal of Pharmaceutical Sciences [online]. 2010, 99(2), 575-586 [cit. 2020-05-04]. DOI: 10.1002/jps.21886. ISSN 00223549.
- [20] SLEZÁČKOVÁ, Jana. Vliv teploty sušení na vlastnosti sprejově sušené laktosy [online]. Hradec Králové, 2017 [cit. 2019-08-12]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/93638>. Diplomová práce.

UNIVERZITA KARLOVA FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ Katedra farmaceutické technologie. Vedoucí práce PharmDr. Petra Svačinová, Ph.D.

- [31] SHABDE, Vikram S. a Karlene A. HOO. Optimum controller design for a spray drying process. *Control Engineering Practice* [online]. 2008, 16(5), 541-552 [cit. 2020-02-06]. DOI: 10.1016/j.conengprac.2007.06.004. ISSN 09670661.
- [42] Training Papers Spray Drying, BÜCHI Labortechnik AG, dostupné z [http://static1.buchi.com/sites/default/files/downloads/Set\\_3\\_Training\\_Papers\\_Spray\\_Drying\\_en\\_01.pdf?996b2db24007502bd69c913b675467cfc63880ba](http://static1.buchi.com/sites/default/files/downloads/Set_3_Training_Papers_Spray_Drying_en_01.pdf?996b2db24007502bd69c913b675467cfc63880ba), cit. 08. 02. 2020
- [53] BETE spray dry manual, BETE Fog Nozzle, Inc., 2005, firemní literatura, dostupné z [http://www.bete.com/pdfs/BETE\\_SprayDryManual.pdf](http://www.bete.com/pdfs/BETE_SprayDryManual.pdf), cit. 08. 02. 2020
- [14] M. VERSCHUEREN, M; STRAATSMA J.; SCHUTYSER M.; AKKERMAN C.; de JONG P., New tools to optimise spray dryers, *New food*, 2007, Issue 2, dostupné z [www.researchgate.net/profile/Maarten\\_Schutyser/publication/47843847\\_New\\_tools\\_to\\_optimise\\_spray\\_dryers/links/54ad79bb0cf2828b29fca2bf/New-tools-to-optimize-spray-dryers.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Maarten_Schutyser/publication/47843847_New_tools_to_optimise_spray_dryers/links/54ad79bb0cf2828b29fca2bf/New-tools-to-optimize-spray-dryers.pdf), cit. 10. 02. 2020
- [15] GEA Niro Pharmaceutical Spray Drying, GEA Niro, Denmark, firemní literatura, dostupné z [http://www.gea.com/en/binaries/drying-spary-pharmaceutical-gea\\_tcm11-34872.pdf](http://www.gea.com/en/binaries/drying-spary-pharmaceutical-gea_tcm11-34872.pdf), cit. 10. 02. 2020
- [16] SOLLOHUB, Krzysztof a Krzysztof CAL. Spray Drying Technique: II. Current Applications in Pharmaceutical Technology. *JOURNAL OF PHARMACEUTICAL SCIENCES* [online]. 2010, 99(2), 587-597 [cit. 2020-02-10]. DOI: 10.1002/jps.21963. ISSN 00223549.
- [17] SANTOS, Daniel; COLETTE MAURÍCIO, Ana; SENCADAS, Vitor; DOMINGOS SANTOS, José; FERNANDES H., Maria; GOMES S., Pedro. *Biomaterials - Physics and Chemistry* [online]. 2018 [cit. 2020-02-10]. ISBN 978-1-78923-065-9. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/biomaterials-physics-and-chemistry-new-edition>
- [18] REINECCIUS, G. A. Carbohydrates for flavor encapsulation. *American Chemical Society* [online]. Washington, 1991, , 55-66 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z:

<https://www.scienceopen.com/document?vid=4fe9a869-d8aa-4135-8d95-a72952d1db02>

- [19] YOO, Sang-ho, Young-bin SONG, Pahn-shick CHANG a Hyeon Gyu LEE. Microencapsulation of  $\alpha$ -tocopherol using sodium alginate and its controlled release properties. *International Journal of Biological Macromolecules* [online]. 2006, **38**(1), 25-30 [cit. 2020-05-13]. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2005.12.013. ISSN 01418130.
- [20] SALDANHA DO CARMO, C., C. MAIA, J. POEJO, et al. Microencapsulation of  $\alpha$ -tocopherol with zein and  $\beta$ -cyclodextrin using spray drying for colour stability and shelf-life improvement of fruit beverages. *RSC Advances* [online]. 2017, **7**(51), 32065 - 32075 [cit. 2020-05-15]. DOI: 10.1039/c6ra25946d. ISSN 20462069.
- [21] SELAMAT, S.N., S.N.H. MOHAMAD, I.I. MUHAMAD, N.A. MD LAZIM a N. KHAIRUDDIN. Characterization of Spray-Dried Palm Oil Vitamin E Concentrate. *Arabian Journal for Science and Engineering* [online]. 2018, **43**(11), 6165 - 6169 [cit. 2020-05-12]. DOI: 10.1007/s13369-018-3362-4. ISSN 21914281.
- [22] MEURI, Marco a Cordin ARPAGAU. Spray Drying Microcapsules. In: <https://www.buchi.com/en> [online]. Switzerland: -, - [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: [https://static1.buchi.com/sites/default/files/downloads/Set\\_3\\_Poster\\_Spray\\_Drying\\_Microcapsules\\_en\\_01.pdf?b886e48285875330bb40371a16c68d905d2f2227](https://static1.buchi.com/sites/default/files/downloads/Set_3_Poster_Spray_Drying_Microcapsules_en_01.pdf?b886e48285875330bb40371a16c68d905d2f2227)
- [23] LAZIM, N.A.M. a I.I. MUHAMAD. Encapsulation of Vitamin E using maltodextrin/Sodium Caseinate/Selenomethionine and its release study. *Chemical Engineering Transactions* [online]. 2017, **56**, 1951 - 1956 [cit. 2020-05-08]. DOI: 10.3303/CET1756326. ISBN 9788895608471. ISSN 22839216.
- [24] TARIGAN, J.B., J. KABAN a R. ZULMI. Microencapsulation of Vitamin E from palm fatty acid distillate with galactomannan and gum acacia using spray drying method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2018, **309**(1) [cit. 2020-05-08]. DOI: 10.1088/1757-899X/309/1/012095. ISSN 1757899X.
- [25] VLACHYNSKÁ, Lenka. Stanovení transdermální absorpce kosmetických emulzí in vitro. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017, 100 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/40743>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky. Vedoucí práce Kašpárková, Věra.

- [26] FANG, Zhongxiang; BHANDARI, Bhesh. Encapsulation of Polyphenols – a Review. *Trends in Food Science & Technology*. 2010, vol. 21, no. 10 s. 510-523. ISSN:0924-2244.
- [27] RATHORE, S., P. M. DESAI, C. V. LIEW, L. W. CHAN and P. W. S. HENG. Microencapsulation of microbial cells. *Journal of Food Engineering*. 2013, 116(2): 369-381. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.12.022
- [28] SOOTTITANTAWAT, Apinan, Hidefumi YOSHII a Riitta PARTANEN. Encapsulation of Hydrophilic and Hydrophobic Flavors by Spray Drying [online]. 2015, 16(1), 37 [cit. 2020-03-08]. DOI: 10.11301/jsfe.16.37. ISSN 13457942.
- [29] DESAI, K. G-H. and H. JIN PARK. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. *Drying Technology*. 2005, 23(7): 1361-1394. DOI: 10.1081/DRT-200063478
- [30] KORHONEN, H.. Technology options for new nutritional concepts. *International Journal of Dairy Technology*. 2002, 55(2): 79-88. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1471-0307.2002.00050.x>.
- [31] DÜZGÜNES, Edited by Nejat. *Liposomes*. 1st ed. San Diego, CA: Elsevier Academic Press, 2009. ISBN 978-012-3749-697.
- [32] LASIC, D. D.. Applications of liposomes. *Handbook of biological physics*, 1995, 1: 491-519.
- [33] HLÚBIK, Pavol a Libuše OPLTOVÁ. *Vitaminy*. Praha: Grada, 2004. ISBN 8024703734.
- [34] Vitamins in cosmetics [online]. [cit. 2018-09-04]. Dostupné z: [http://www.dermaviduals.com/cms/upload/Publikationen\\_english/mBF-01-11-Vitamine-engl.pdf](http://www.dermaviduals.com/cms/upload/Publikationen_english/mBF-01-11-Vitamine-engl.pdf).
- [35] RIZVI, Saliha, Syed T. RAZA, Faizal AHMAD, Absar AHMAD, Shania ABBAS a Farzana MAHDI. The Role of Vitamin E in Human Health and Some Diseases [online]. [cit. 2020-10-03]. DOI: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3997530/> .
- [36] YANG, Y. and D. J. MCCLEMENTS. Encapsulation of vitamin E in edible emulsions fabricated using a natural surfactant. *Food Hydrocolloids*. 2013, 30(2): 712-720. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2012.09.003

- [37] MISHRA, Munmaya K. Applications of Encapsulation and Controlled Release [online]. Boca Raton: CRC Press, 2019 [cit. 2020-04-03]. ISBN 9780429299520. Dostupné z: <https://www-taylorfrancis-com.proxy.k.utb.cz/books/e/9780429299520>
- [38] Malvern Panalytical Ltd. Malvern Panalytical Ltd [online]. Velká Británie, Malvern: -, 2017 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.malvernpanalytical.com/en>
- [39] JAFARI, Seid Mahdi, Malihe GHALEGI GHALENOEI a Danial DEHNAD. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. Powder Technology [online]. 2017, 311, 59-65 [cit. 2020-04-26]. DOI: 10.1016/j.powtec.2017.01.070. ISSN 00325910.
- [40] CHEGINI, G.R. a B. GHOBADIAN. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. Drying technology [online]. 2005, 23(3), 657-668 [cit. 2020-05-04]. ISSN 07373937. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsagr&an=edsagr.US201301045024&scope=site>
- [41] QUEK, Siew Young, Ngan King CHOK a Peter SWEDLUND. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. Chemical Engineering [online]. 2007, 46(5), 386-392 [cit. 2020-05-04]. DOI: 10.1016/j.cep.2006.06.020. ISSN 02552701.
- [42] MOREIRA, Germano Éder Gadelha, Mayra Garcia Maia COSTA, Arthur Cláudio Rodrigues de SOUZA, Edy Sousa de BRITO, Maria de Fátima Dantas de MEDEIROS a Henriette M.C. de AZEREDO. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. Food science and technology [online]. 2009, 42, 641-645 [cit. 2020-05-04]. DOI: 10.1016/j.lwt.2008.07.008. ISSN 00236438.
- [43] FAZAELI, Mahboubeh, Zahra EMAM-DJOMEH, Ahmad KALBASI ASHTARI a Mahmoud OMID. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. Food and bioproducts processing [online]. 2012, 90(4), 667-675 [cit. 2020-05-04]. DOI: 10.1016/j.fbp.2012.04.006. ISSN 09603085.
- [44] TONON, Renata V., Catherine BRABET a Míriam D. HUBINGER. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. Journal of food engineering [online].



- 2008, 88(3), 411-418 [cit. 2020-05-04]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029. ISSN 02608774.
- [45] CANO-CHAUCA, M., P.C. STRINGHETA, A.M. RAMOS a J. CAL-VIDAL. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative food science* [online]. 2005, 6(4), 420-428 [cit. 2020-05-04]. ISSN 14668564. Dostupné z: <http://search.ebsco-host.com/login.aspx?direct=true&db=edsagr&an=edsagr.US201301039071&scope=site>
- [46] WALTON, D.E. The morphology of spray-dried particles a qualitative view. *Drying Technology* [online]. 2000, 18(9), 1943 - 1986 [cit. 2020-05-04]. DOI: 10.1080/07373930008917822. ISSN 07373937..
- [47] PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: Some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal* [online]. 2012, 19(4), 1297 - 1306 [cit. 2020-05-04]. ISSN 19854668. Dostupné z: <http://search.ebsco-host.com/login.aspx?direct=true&db=edselc&an=edselc.2-52.0-84870534243&scope=site>
- [48] NIJDAM, J.J. a T.A.G. LANGRISH. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. *Journal of Food Engineering* [online]. 2006, 77(4), 919-925 [cit. 2020-05-04]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.08.020. ISSN 02608774.
- [49] MALVERN INSTRUMENTS LTD. Přetrvávající zájem o laserovou difrakci. *CHE-Magazín: časopis pro chemicko-technologickou a laboratorní praxi*. Pardubice: Ing. Miloslav Rotrekl, 2012, 22(4), s. 8-10. ISSN 1210-7409.
- [50] ŠIMEK, Michal et al. Současné metody měření velikosti částic farmaceutických látek a jejich omezení. *Chemické listy: časopis pro průmysl chemický*. Praha: Česká společnost chemická, 2014, 108(1), s. 50-55. ISSN 1213-7103.
- [51] NĚMEČEK, Jiří. Metody skenovací elektronové mikroskopie SEM a analytické techniky. In: *Mikromechanika a popis mikrostruktury materiálů* [online]. ČVUT Praha, Fakulta stavební: -, 2018 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: [http://ksm.fsv.cvut.cz/~nemecek/teaching/dmpo/lectures/D32MPO\\_02.pdf](http://ksm.fsv.cvut.cz/~nemecek/teaching/dmpo/lectures/D32MPO_02.pdf)

- [52] ZHANG, Zhiping a Si-shen FENG. The drug encapsulation efficiency, in vitro drug release, cellular uptake and cytotoxicity of paclitaxel-loaded poly(lactide)–tocopheryl polyethylene glycol succinate nanoparticles. *Biomaterials* [online]. 2006, **27**(21), 4025-4033 [cit. 2020-05-08]. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2006.03.006. ISSN 01429612.
- [53] MUJICA-ÁLVAREZ, J., S. MATIACEVICH, R. BUSTOS, O. GIL-CASTELL, A. RIBES-GREUS, P.A. BARRA a M. FACCINI. Encapsulation of Vitamins A and e as spray-dried additives for the feed industry. *Molecules* [online]. 2020, **25**(6) [cit. 2020-05-08]. DOI: 10.3390/molecules25061357. ISSN 14203049.
- [54] SELAMAT, S.N., I.I. MUHAMAD. Encapsulatio of tocopherol and tocotrienol in vitamin E using spray drying technique. *Mohamad Roji Sarmidi Department of Bioprocess Engineering, Faculty of Chemical Engineering and Natural Resources* [online]. Malaysia, -, (-), 143-147 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/11787762.pdf?repositoryId=392>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

°	stupně
%	procenta
AG	arabská guma
AL	aktivní látka
BB	beauty balm
CC	colour control
CIP	Cleaning-In-Place
DNA	deoxyribonukleová kyselina
EU	Evropská unie
g	gram
GAP	galaktomanan ze semen rostliny <i>Arenga pinnata</i>
GRAS	Generally Recognised As Safe
HPLC	vysokoúčinná kapalinová chromatografie
HSP	Hollow Sphere Polymer
kV	kilo Volt
l/hod	průtok litr za hodinu
m <sup>2</sup>	metr čtvereční
MD	maltodextrin
mg	miligram
ml	mililitr
ml/min	průtok mililitr za minutu
mm	milimetr
NLC	Nanostructured Lipid Carriers
nm	nanometr

---

OMC	oktylmethoxycinamát
O/W	emulze typu olej ve vodě
O/W/O	složená emulze olej ve vodě v oleji
RTG	rentgenové záření
s	sekunda
SEM	skenovací elektronová mikroskopie
SIP	Sterilization-In-Place
SLN	Solid Lipid Nanoparticules
UV	ultrafialové záření
WHO	World Health Organization
W/O	emulze typu voda v oleji
W/O/W	složená emulze voda v oleji ve vodě
µm	mikrometr

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Struktura arabské gumy [2].....	14
<i>Obr. 2</i> Struktura maltodextrinu [2].....	14
<i>Obr. 3</i> Schéma procesu mikroenkapsulace pomocí emulze – emulze (D) tvořená z kapalně fáze (A), nosiče (např. maltodextrin B) a filmotvorné látky (např. arabská guma C). Tato emulze je rozprášena na malé kapičky (E), po odpaření rozpouštědla vzniká pevná matrice (F). [upraveno podle 12].....	17
<i>Obr. 4</i> Koloidní systémy použitelné k enkapsulaci lipofilních bioaktivních látek [upraveno podle 4].....	21
<i>Obr. 5</i> Tokoferol a tokotrienol [35]. .....	22
<i>Obr. 6</i> Srovnání epidermální absorpce zapouzdřeného a nezapouzdřeného UV filtru [upraveno podle 37].....	23
<i>Obr. 7</i> Schéma uvolnění pigmentu z mikrokapsle [upraveno podle 37]. .....	24
<i>Obr. 8</i> Rotační atomizér [upraveno podle 9] .....	29
<i>Obr. 9</i> Tryskový atomizér [upraveno podle 9] .....	30
<i>Obr. 10</i> Pneumatický atomizér [upraveno podle 9].....	31
<i>Obr. 11</i> Ultrazvukový atomizér [upraveno podle 2] .....	32
<i>Obr. 12</i> Kontakt kapiček s horkým vzduchem – souprůdová sušárna (A), protiproudá sušárna (B), kombinovaná sušárna (C).....	36
<i>Obr. 13</i> Ilustrace tří mechanismů dispergace částic se zvyšující se energií [upraveno podle 38].....	53
<i>Obr. 14</i> Vzhled a struktura částic s obsahem vitamínu E .....	58
<i>Obr. 15</i> Vzhled a struktura částic s olejem, sušeno při 150 °C .....	59
<i>Obr. 16</i> Rozpustnost nasprejovaných částic obsahující 30% podíl oleje sušené při teplotě 150 °C. ....	63
<i>Obr. 17</i> Rozpustnost nasprejovaných částic obsahujících olej sušených při 110, 130 a 150 °C.....	63
<i>Obr. 18</i> Rozpustnost nasprejovaných částic s obsahem vitamínu E .....	64
<i>Obr. 19</i> Srovnání distribučních křivek částic s 20% obsahem oleje sušených při 110 °C.....	67
<i>Obr. 20</i> Srovnání distribučních křivek částic s 20% obsahem oleje sušených při 130 °C.....	67

<i>Obr. 21 Srovnání distribučních křivek částic s 20% obsahem oleje sušených při 150 °C.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 22 Srovnání distribučních křivek částic s 30% obsahem oleje sušených při 150 °C.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 23 Srovnání distribučních křivek částic s obsahem vitamínu E sušených při 110 °C/130 °C/150 °C.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 24 SEM částic s obsahem oleje, poměr 2:3:5, sušeno při 150 °C, zvětšení 850x. .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 21 SEM částic s obsahem vitamínu E, poměr 1:3:6, sušeno při 150 °C, zvětšení 2400x. ....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 22 SEM částic s obsahem vitamínu E, poměr 1:4,5:4,5, sušeno při 150 °C, zvětšení 2400x.....</i>	<i>73</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Enkapsulační metody [upraveno podle 2].</i>	16
<i>Tab. 2 Obsah tokoferolu v rostlinných olejích [upraveno podle 35]</i>	22
<i>Tab. 3 Parametry ovlivňující sprejové sušení [upraveno podle 17].</i>	40
<i>Tab. 4 Potravinářské a nepotravinářské aplikace sprejového sušení [upraveno podle 2].</i>	43
<i>Tab. 5 Výťažnost sprejového sušení u částic s 20% podílem pevné látky a obsahem oleje</i>	56
<i>Tab. 6 Výťažnost sprejového sušení u částic s 30% podílem pevné látky a obsahem oleje</i>	57
<i>Tab. 7 Výťažnost sprejového sušení u částic s 20% podílem pevné látky a obsahem vitamínu E.</i>	57
<i>Tab. 8 Výsledky enkapsulační účinnosti v případě použití oleje, 30 % obs. pevné látky, a sprejového sušení při 150 °C.</i>	60
<i>Tab. 9 Výsledky enkapsulační účinnosti při použití oleje, 20 % obs. pevné látky a sprejového sušení při 110,130,150 °C.</i>	60
<i>Tab. 10 Enkapsulační účinnost u částic s obsahem vitamínu E.</i>	61
<i>Tab. 11 Hodnoty velikostí a distribuce velikostí částic s obsahem oleje a 20% podílem pevné fáze.</i>	66
<i>Tab. 12 Hodnoty velikostí a distribuce velikostí částic s obsahem oleje a 30% obsahem pevné látky.</i>	66
<i>Tab. 13 Hodnoty velikostí a velikostí distribuce částic s 20% obsahem vitamínu E.</i>	70