

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická

Vliv způsobu sušení na obsah vybraných látek v potravinách  
Bakalářská práce

2023

Adéla Zajícová

Prohlašuji:

Práci s názvem „Vliv způsobu sušení na obsah vybraných látek v potravinách“ jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 30. 6. 2023

Adéla Zajícová

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Adéla Zajícová**  
Osobní číslo: **C20097**  
Studijní program: **B0531A130024 Hodnocení a analýza potravin**  
Téma práce: **Vliv způsobu sušení na obsah vybraných látek v potravinách**  
Téma práce anglicky: **The effect of the drying method on the content of selected substances in food**  
Zadávací katedra: **Katedra analytické chemie**

## Zásady pro vypracování

1. Z dostupné literatury vypracujte rešerši shrnující informace o různých postupech sušení potravin. Popište nejběžnější metody sušení potravin, princip metod, používaná zařízení apod.
2. V další části se zaměřte na změny v obsahu některých látek ve vybraných potravinách a porovnejte způsoby sušení dle vhodnosti.

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Recentní vědecká literatura, publikace z databáze WOS, PubMed, Sciencedirect apod.  
Dále dle pokynů vedoucí bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Lucie Korecká, Ph.D.**  
Katedra biologických a biochemických věd

Datum zadání bakalářské práce: **7. února 2023**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **30. června 2023**

**prof. Ing. Petr Němec, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**doc. Ing. Petr Česla, Ph.D. v.r.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. února 2023

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí práce RNDr. Lucii Korecké, Ph.D za její cenné rady, připomínky a odbornou pomoc, které mi pomohly při psaní bakalářské práce.

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce se zabývá popisem různých způsobů sušení potravin a jejich vlivem na složení a změny vybraných složek potravin. První část se zaměřuje na nejběžnější metody sušení, jejich základní principy a popis používaných zařízení. Druhá část je věnována sušení konkrétních druhů potravin a porovnání různých metod s ohledem na obsah vybraných složek.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Sušení, potraviny, obsah vody, horkovzdušné sušení, solární sušení, rozprašovací sušení, mikrovlnné sušení, vakuové sušení, infračervené sušení, lyofilizace

## **TITLE**

The effect of the drying method on the content of selected substances in food

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis deals with the description of different methods of food drying and their influence on the composition and changes of selected food components. The first part focuses on the most common drying methods, their basic principles and a description of the equipment used. The second part is devoted to the drying of specific types of foodstuffs and a comparison of the different methods with regard to the content of the selected substances.

## **KEYWORDS**

Drying, food, water content, hot air drying, solar drying, spray drying, microwave drying, vacuum drying, infrared drying, freeze drying

# OBSAH

ÚVOD.....	11
1. SUŠENÍ POTRAVIN .....	12
1.1. Aktivita vody.....	12
2. METODY SUŠENÍ .....	13
2.1. Horkovzdušné sušení .....	14
2.1.1. Kinetika sušení.....	14
2.2. Solární sušení .....	16
2.3. Rozprašovací sušení .....	18
2.4. Mikrovlnné sušení.....	19
2.5. Vakuové sušení .....	20
2.6. Infračervené sušení.....	22
2.7. Lyofilizace (sušení mrazem) .....	22
2.8. Nové metody sušení .....	25
2.8.1. Sušení přehřátou párou .....	25
2.8.2. Sušení s využitím tepelného čerpadla .....	25
2.8.3. Mikrovlnné vakuové sušení .....	26
2.8.4. Elektrohydrodynamické sušení.....	26
3. SUŠENÍ VYBRANÝCH POTRAVIN .....	27
3.1. Sušení hub .....	27
3.1.1. Sušení pečárky dvouvýtrusé .....	27
3.1.2. Sušení hub shiitake .....	28
3.2. Sušení mléka .....	29
3.2.1. Sušení kravského mléka.....	30
3.2.2. Sušení kokosového mléka.....	30
3.3. Sušení čaje.....	31
3.3.1. Sušení černého čaje.....	31
3.3.2. Sušení zeleného čaje .....	33
3.4. Sušení kávy .....	34
3.5. Sušení masa.....	37
3.6. Sušení ovoce a zeleniny .....	38
3.6.1. Sušení jahod.....	39
3.6.2. Sušení meruněk.....	40

3.6.3.	Sušení kiwi.....	41
3.6.4.	Sušení zeleného hrachu.....	42
3.7.	Sušení koření a bylin.....	42
3.7.1.	Sušení bazalky .....	43
3.7.2.	Sušení šalvěje.....	43
4.	ZÁVĚR .....	45
5.	POUŽITÁ LITERATURA .....	46



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obrázek 1:</b> Závislost vlhkosti, rychlosti a teploty sušení na čase .....	15
<b>Obrázek 2:</b> Nepřímá solární sušička.....	17
<b>Obrázek 3:</b> Rozprašovací sušička.....	18
<b>Obrázek 4:</b> Elektromagnetické spektrum .....	19
<b>Obrázek 5:</b> Mikrovlnná konvekční sušička .....	20
<b>Obrázek 6:</b> Vakuová sušička .....	21
<b>Obrázek 7:</b> Fyzikální jevy při sušení mrazem znázorněné na fázovém diagramu vody .....	23
<b>Obrázek 8:</b> Teplotní profil produktu během lyofilizace .....	24
<b>Obrázek 9:</b> Kávové plody.....	35
<b>Obrázek 10:</b> Zpracovaná kávová zrna .....	35
<b>Obrázek 11:</b> Porovnání sířených a nesířených meruněk .....	41

## SEZNAM ZKRATEK

SD	solární sušení (solar drying)
FD	lyofilizace (freeze drying)
HAD	horkovzdušné sušení (hot air drying)
MD	mikrovlnné sušení (microwave drying)
VD	vakuové sušení (vacuum drying)
ID	infračervené sušení (infrared drying)
SSD	sušení přehřátou párou (superheated steam drying)
HPD	sušení tepelným čerpadlem (heat-pump drying)
CFC	chlorfluoruhlovodíky (chlorofluorocarbons)
MVD	mikrovlnné vakuové sušení (microwave-vacuum drying)
EHD	elektrohydrodynamické sušení (electrohydrodynamic drying)
Glu	kyselina glutamová
Cys	cystein
Ala	alanin

## ÚVOD

Sušení potravin je jedna z možností, jak prodloužit jejich trvanlivost a zároveň zajistit celoroční dostupnost některých sezónních potravin, jako jsou např. houby, ovoce a zelenina. Základním principem sušení je snížení obsahu vody v potravine, čímž se zabrání růstu mikroorganismů (plísní, bakterií a kvasinek), které by mohly způsobit jejich znehodnocení.

Hlavním cílem sušení potravin je tedy jejich konzervace, důležitá je však i redukce hmotnosti a s tím související snížení nákladů na dopravu. U některých potravin, jako je např. káva a čaj, hraje sušení důležitou roli při jejich zpracování, protože výrazně přispívá k tvorbě aroma. Způsobů sušení existuje celá řada, přičemž každá metoda má své výhody a nevýhody. Důležité je, aby si sušená potravina zachovala mimo jiné svou chuť, barvu a nutriční vlastnosti, a mohla tak být kvalitním zdrojem energie. Potraviny sušené vhodnou metodou sušení často obsahují tělu prospěšné látky, jako jsou vitamíny a antioxidanty, které pomáhají neutralizovat škodlivé volné radikály a snižují tak riziko vzniku některých onemocnění.

Jednou z nejběžnějších metod je konvekční sušení (vzduchem), které ale často vede ke snížení kvality potravin. Zejména v oblastech s dlouhou délkou slunečního svitu se využívá solární sušení, pro sušení tekutých potravin je vhodná rozprašovací metoda. Mezi další běžné metody patří mikrovlnné, vakuové, infračervené sušení a lyofilizace, které jsou ale ekonomicky náročnější. Pro potlačení nevýhod jedné konkrétní metody se často používá jejich kombinace.

Cílem této práce je poskytnout informace o vlivu různých metod sušení na nutričně významné parametry vybraných potravin.

# 1. SUŠENÍ POTRAVIN

Technologie sušení jako účinná metoda odstraňování vody z potravin snižuje její aktivitu odpařováním nebo sublimací a hraje důležitou roli v oblasti výroby a zpracování potravin po celém světě [1-3]. Aby se předešlo pravděpodobným potravinovým krizím v budoucnu, je třeba přijmout vhodná předsklizňová i posklizňová opatření. Ročně se v rámci potravinových řetězců vyplývá přibližně 33 % všech potravin vyprodukovaných pro lidskou spotřebu, a to především z důvodu nevhodného skladování a nesprávného zpracování, což přispívá k 5–10 % celosvětových emisí skleníkových plynů a představuje obrovskou ztrátu nejen zdrojů, ale i pracovních sil, vody a investic [4]. Sušení potravin je jednou z nejstarších a nejučinnějších metod konzervace potravin. Různé metody sušení mají své výhody, ale i omezení [4-13]. Sušení může ovlivnit hlavní kvalitativní parametry potravin, jako jsou barva, chuť, mikrobiální zatížení, textura, vůně a nutriční vlastnosti [2, 5, 6, 14].

V posledních letech se věnuje velká pozornost kvalitě sušených potravin. Jejich potřeba se zvýšila po celém světě. Kromě prodloužení trvanlivosti výrobků je dalším účelem sušení i snadnější přeprava díky snížení objemu a možnost skladování bez nutnosti chlazení [3, 12, 15-20]. Proces sušení prodlužuje trvanlivost potravin tím, že snižuje obsah vody v potravinech a zpomaluje nebo zastavuje tak růst mikroorganismů a zabraňuje některým reakcím, které by mohly změnit organoleptické vlastnosti [5, 7, 14-16, 18, 19, 21-23].

Je stále snaha zdokonalovat sušicí systémy tak, aby bylo možné snížit provozní náklady, minimalizovat nutriční ztráty a zajistit tak vysokou kvalitu sušených potravin [4, 14].

## 1.1. Aktivita vody

Voda hraje v kvalitě a stabilitě potravin klíčovou roli [24-26], protože může interagovat s ostatními molekulami a ovlivňovat jejich konformaci a funkčnost. Aktivita vody hraje v každé potravinech mnohem důležitější roli než celkové množství přítomné vody [26], protože je určujícím faktorem pro růst mikroorganismů a dobře souvisí s většinou degračních reakcí chemické, enzymatické a fyzikální povahy [26, 27]. Aktivita vody je definována jako poměr tlaku vodních par potraviny k tlaku par destilované vody při stejné teplotě a je dána následující rovnicí:

$$\alpha_w = (p_w/p_w^*)_T \approx \varphi$$

kde  $p_w$  je parciální tlak par vody ve vzorku,  $p_w^*$  parciální tlak čisté vody při stejné teplotě a  $\varphi$  je relativní vlhkost materiálu [5].

Pro každý mikroorganismus existuje mezní hodnota aktivity vody, pod kterou přestávají růst. Naprostá většina bakterií roste při  $\alpha_w = 0,85$ , plísně a kvasinky při  $\alpha_w = 0,61$ . Aktivita vody se po vysušení reguluje přidáním některých roztoků cukrů, škrobu apod. Voda v potravinách a zemědělských plodinách je ve formě roztoku, který obsahuje soli, cukry, sacharidy, bílkoviny, které jsou při konstantní teplotě v termodynamické rovnováze [5].

## 2. METODY SUŠENÍ

Metody sušení lze obecně rozdělit do kategorií přirozených a umělých [7, 10]. Vzhledem k časové náročnosti přirozených metod však existuje zvýšené riziko mikrobiální zátěže potravin. Oproti tomu při umělých metodách se nejen udržuje žádoucí kvalita potravin, ale také se obvykle výrazně zkracuje doba sušení [10], jelikož dochází ke kontrole různých souvisejících faktorů, jako je např. teplota, typ a řízení proudění sušícího vzduchu, doba sušení [7].

Přirozené sušení (sušení ve stínu nebo na slunci) a sušení horkým vzduchem se i přes své nevýhody stále často používá, a to z důvodu nižších nákladů [16]. Tyto metody mohou způsobit horší kvalitu výsledného produktu a je u nich vyšší pravděpodobnost kontaminace [7, 22]. To vede k vývoji sušiček, které mají schopnost účinnějších a spolehlivějších technik sušení, jako je kombinované mikrovlnné a vakuové sušení [28], infračervené sušení [7] nebo ultrazvukové sušení mrazem [29].

Nové technologie jsou potřebné pro lepší kvalitu a její kontrolu, vyšší kapacitu sušených materiálů, snížení dopadu na životní prostředí, využití obnovitelných zdrojů energie, vyšší energetickou účinnost, využití systému rekuperace tepla, lepší účinnost, nižší náklady a kratší doba zpracování při zachování vysoké kvality výrobku [22].

Teplo potřebné k sušení lze dodat třemi odlišnými mechanismy:

- Konvekci – využívá se ohřátý nosný plyn, obvykle vzduch, který se aplikuje přímo na povrch materiálu, aby poskytl teplo potřebné k odpaření kapaliny;
- Kondukcí – teplo je dodáváno nepřímě a nosný plyn slouží pouze k odvádění odpařené kapalné fáze;

- Radiací – tepelné záření vznikající vyzařováním elektromagnetických vln, které mohou být neprůnikavé, jako je infračervené záření, nebo průnikavé, jako jsou radiofrekvenční a mikrovlnné vlny [30].

## **2.1. Horkovzdušné sušení**

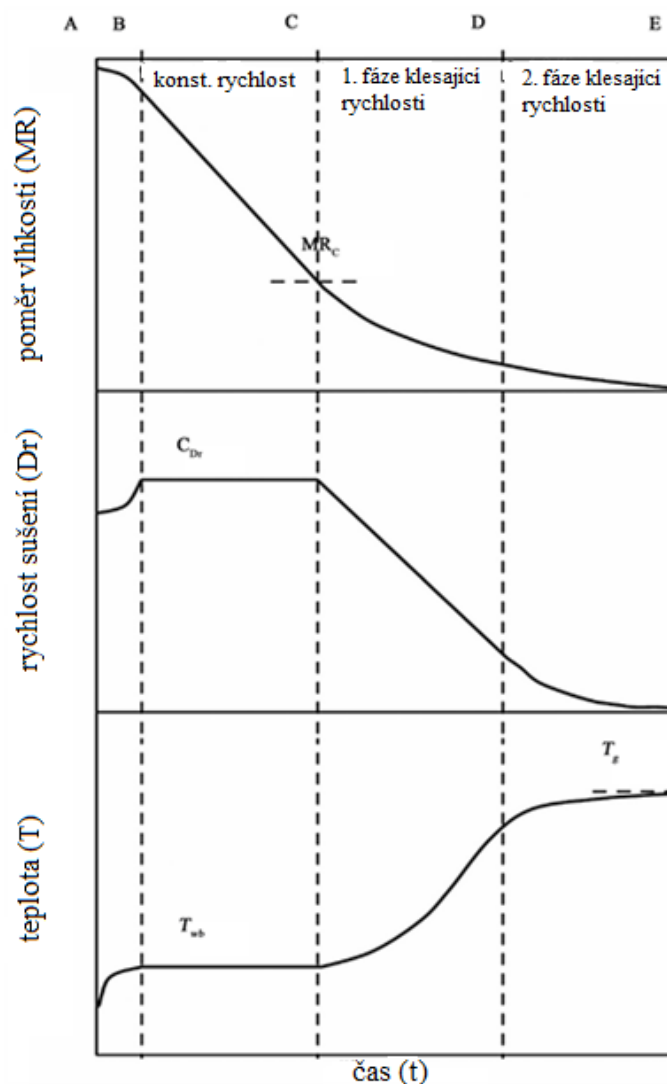
Nejběžnější metodou sušení je sušení horkým vzduchem (HAD), které poskytuje produkty s prodlouženou životností, ale bohužel nižší kvalitou dehydratovaných výrobků oproti původní potravíně, než je tomu u většiny ostatních metod sušení [31]. Vysoká teplota a dlouhý cyklus sušení obvykle vedou k degradaci důležitých chuťových, barevných i nutričních látek [3, 6, 11, 14, 19, 28, 32, 33]. Další nevýhodou jsou značné ztráty tepelné energie a nízká tepelná vodivost, tvrdnutí materiálu a smršťování sušeného produktu. Používání vzduchu jako sušicího média vede k oxidaci a spalovacím reakcím a dochází k uvolňování nežádoucích složek, což může být problematické pro životní prostředí. Tyto nevýhody vyzdvihují potřebu používat pro sušení zemědělských surovin alternativní technologie [33].

### **2.1.1. Kinetika sušení**

Výslednou kvalitu sušené potraviny při použití horkovzdušného sušení významně ovlivňuje vlastní proces sušení. Obr. 1 popisuje kinetiku sušení, vyjádřenou v závislostech rychlosti, teploty sušení a vlhkosti na čase [17]. Rychlost sušení je velmi důležitá veličina, která je dána teplotou a vlhkostí zpracovávaného výrobku, ale i teplotou, relativní vlhkostí a rychlostí sušicího vzduchu [5, 17].

Na počátku sušení je teplota vzduchu vyšší než teplota výrobku. Proto se rychlost sušení mezi časy od zahájení zahřívání materiálu (A) do dosažení teploty sušení (B) zvyšuje se zvyšováním teploty výrobku, dokud povrchová teplota nedosáhne rovnováhy (odpovídá teplotnímu úseku mezi B až C) [17], kde je dosaženo konstantní rychlosti sušení a odpařování tekutiny probíhá nepřetržitě, protože na povrchu materiálu je dostatek vody, která se odpařuje [5]. Sušení se obvykle zastaví, když je dosaženo rovnovážného stavu. Během doby konstantní rychlosti sušení dochází k ovlivnění fyzikální podoby produktu, zejména jeho povrchu [17].

Následně dochází k poklesu rychlosti sušení, a to ve dvou fázích. První fáze (C až D) začíná, když povrch není nasycen parami sušicího média, tj. v kritickém bodě [5, 17].



**Obrázek 1: Závislost vlhkosti, rychlosti a teploty sušení na čase. Převzato a upraveno z: [17]**

Jak sušení pokračuje, dochází pak u materiálu k přechodu z první fáze klesající rychlosti do druhé fáze klesající rychlosti (D až E) [17], kdy obsah vlhkosti dále klesá, dokud není dosaženo rovnováhy a vysychání se nezastaví. Tato druhá fáze poklesu se týká hygrokopických produktů. U většiny výrobků se sušení zastaví před dosažením této druhé fáze poklesu. Mnoho potravinářských výrobků vůbec nevykazuje fázi konstantní rychlosti sušení, protože má počáteční obsah vlhkosti blízko kritického bodu a dosáhne ho tedy velice rychle [5].

## 2.2. Solární sušení

Jelikož energetická krize je v současnosti jedním ze společenských problémů a sušení je proces s vysokou spotřebou energie, jsou hledána řešení pro využívající udržitelné, bezpečné a obnovitelné zdroje energie [33, 34]. Slunce je nevyčerpatelný a bezplatný zdroj energie, využívaný k sušení potravin již od starověku [5, 7, 33]. Tento postup je použitelný zejména v takzvaném "slunečním pásu" po celém světě, tj. v oblastech, kde je intenzita slunečního záření vysoká a délka slunečního svitu dlouhá [5, 33, 34].

Sušení pomocí sluneční energie (SD) je poměrně ekonomický postup pro zemědělské produkty, zejména pro střední a malá množství, k uchování přebytků produkce [5, 34]. Stále se používá pro domácí nebo malé komerční sušení plodin, zemědělských produktů a potravin, jako je ovoce, zelenina, aromatické byliny atd. a významně tak přispívá k ekonomice malých zemědělských farem. Venkovní sluneční ohřev vzduchu se nejvíce hodí k ovoci. Díky vysokému obsahu cukru a kyselin je jejich sušení na přímém slunci bezpečné. Naopak zelenina má nízký obsah cukru a kyselin, což zvyšuje riziko zkažení při sušení na slunci a na volném vzduchu [5]. Sušení na slunci je totiž proces pomalý, závislý na povětrnostních podmínkách a produkty jsou vystaveny působení otevřeného vzduchu, což může vést ke kontaminovanému (např. prachem, hmyzem, či dalšími nečistotami [7]) a méně kvalitnímu produktu [4, 28, 35, 36].

Solární sušení se v širokém měřítku na trhu neprosazuje. Solární sušičky jsou zařízení, která mají zpravidla malý výkon a většina z četných konstrukcí solárních sušiček, které jsou k dispozici, se používá především k sušení různých plodin v domácím použití [5].

### Přímá metoda

Při této metodě se potraviny, které se mají sušit, nechají několik dní na slunci, dokud se nedosáhne snížení vlhkosti na požadovanou hodnotu [7]. Výrobek je tak ohříván přímo slunečními paprsky s vlhkost je odváděna přirozenou cirkulací vzduchu v důsledku rozdílů hustoty [5]. Je třeba poznamenat, že k sušení se využívá pouze zlomek dopadající sluneční energie, protože při sušení na slunci dochází k velkým ztrátám tepelné energie [34]. V rozvojových zemích je tato metoda díky své jednoduchosti pro zemědělce nejčastějším způsobem sušení potravin. Nevýhodou této metody může být napadení hmyzem, znečištění prachem a nečistotami, dlouhá doba sušení nebo přehřátí dané potraviny [7].

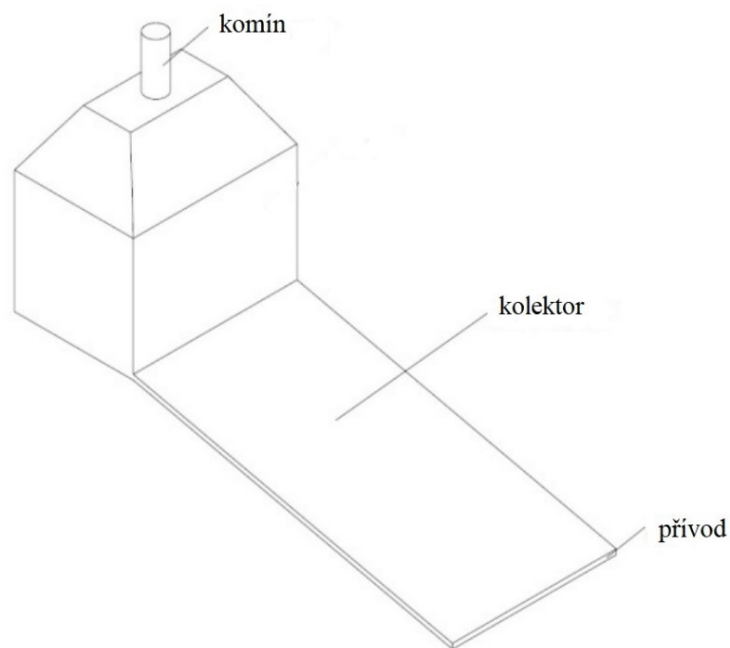


## Nepřímá metoda

Tato metoda byla vyvinuta kvůli nevýhodám přímé metody sušení [7, 37, 38]. Využívá solární sušičky, které lze dělit na sušičky komorové, komínové a sušičky s větrným větráním. Při nepřímé solární metodě se teplo generované systémem sušičky využívá k ohřevu vzduchu, který proudí přes sušený výrobek. Horní část sušicí komory je odvětrávána, aby se odstranila vlhkost vlivem odpařování [7, 37].

Spolehlivě klasifikovat solární sušicí zařízení není snadné, protože existuje mnoho konfigurací [5, 34]. Lze je rozdělit podle různých způsobů, např. podle typu sušičky [34], podle provozní teploty, typu provozu nebo povahy sušeného materiálu. Existují také hybridní solární sušičky, které kombinují solární energii s pomocným zdrojem energie, především plynem, jako je propan, konvenční paliva [5] nebo biomasa [5, 34]. V hybridních solárních sušičkách sušení probíhá i v době mimo sluneční svit pomocí záložní tepelné energie nebo akumulací tepelné energie. Díky tomu je produkt uchráněn před možným znehodnocením např. mikrobiální kontaminací [36].

Jedna z variant solárních sušiček je uvedena na Obr. 2. Jedná se o nepřímou solární sušičku potravin. Konstrukce sušičky zahrnuje solární kolektor [37], kde se dopadající sluneční energie zachycuje jako tepelná energie a vstupuje do sušicí komory obsahující produkt [34]. Dále sušička obsahuje komín pro odvod vlhkosti a ventilátor poháněný solární energií [37].



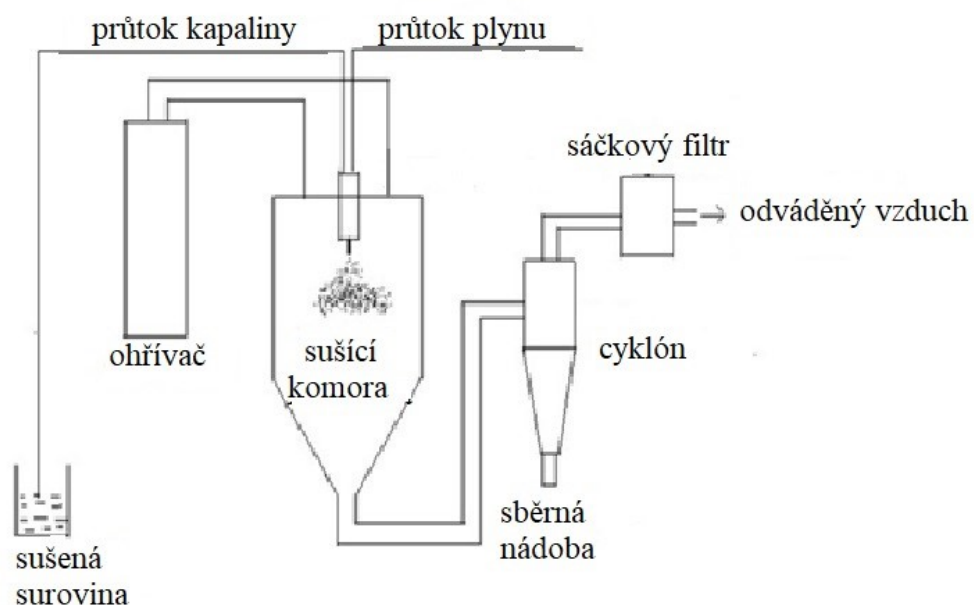
**Obrázek 2: Nepřímá solární sušička. Převzato a upraveno z: [37]**

### 2.3. Rozprašovací sušení

Sušení rozprašováním je proces, při kterém se tekuté potraviny (roztoky, suspenze nebo emulze) mění na práškovou formu [1, 39-43]. Díky krátké době kontaktu horkého vzduchu s kapkami uvnitř sušící komory je rozprašovací sušení vhodné pro výrobky citlivé na teplo, podporuje zachování chuti, barvy a živin [1, 39, 41-43].

Při rozprašovacím sušení je proud kapaliny čerpaný do rozprašovače neustále rozdělován na velmi jemné kapičky v sušící komoře. Zde se jemné kapičky dostávají do kontaktu s horkým plynem, který konvekcí dodává energii k ohřátí a odpaření většiny rozpouštědla přítomného v kapičkách, čímž vznikají práškové částice [40, 41], které jsou od sušícího plynu odděleny pomocí cyklonu nebo sáčkového filtru [40]. Takto zpracované potraviny mají vysokou kvalitu a nízký obsah vlhkosti, což zajišťuje vysokou stabilitu při skladování [42].

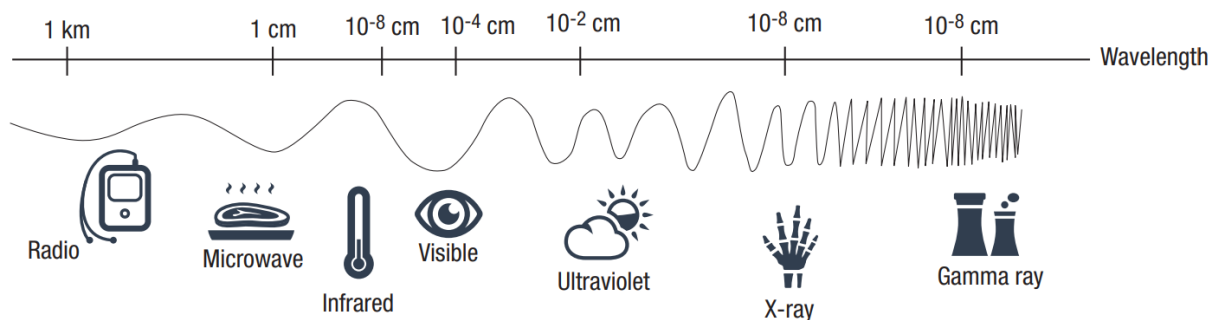
Zařízení pro rozprašovací sušení je komerčně dostupné a výrobní náklady jsou obvykle nižší ve srovnání s jinými technologiemi sušení, jako je například lyofilizace [42]. Každá rozprašovací sušička se skládá z napájecího čerpadla, rozprašovače, ohříváče vzduchu, rozptylovače vzduchu, sušící komory a systémů pro čištění odpadního vzduchu a rekuperaci prášku (viz Obr. 3) [41].



**Obrázek 3: Rozprašovací sušička. Převzato a upraveno z: [41]**

## 2.4. Mikrovlnné sušení

Mikrovlnné sušení (MD) bývá používáno jako rychlá a účinná alternativní technika sušení ke konvekčnímu sušení [20, 33, 44, 45]. Používané mikrovlny jsou formou elektromagnetického záření o frekvencích od 300 GHz do 300 MHz [45, 46]. Elektromagnetické spektrum je zobrazeno na Obr. 4 [46]. Schopnost pronikání mikrovln do zpracovávaných produktů je mnohem vyšší než u proudu horkého vzduchu a infračerveného záření [33].



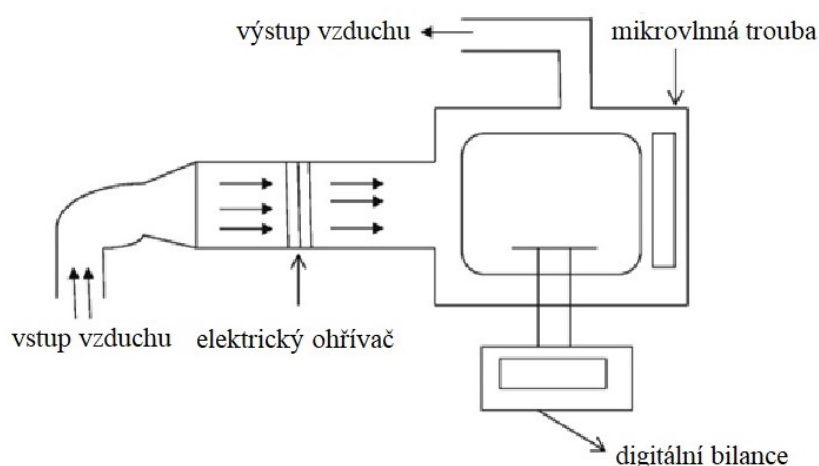
**Obrázek 4: Elektromagnetické spektrum. Převzato z: [46]**

Používání mikrovlnného sušení se datuje od poloviny 90. let 20. století [23], tato technika je perspektivní, protože je energeticky úsporná a vhodná i pro sušení potravin s vysokou vlhkostí [23, 33]. Při mikrovlnném sušení vzniká teplo přímou přeměnou elektromagnetické energie na kinetickou molekulární energii. Teplo se vytváří hluboko uvnitř sušeného materiálu a způsobí tak zvýšení teploty ošetřovaného materiálu a odpařování vlhkosti [46, 47]. Produkci tepla v látce vystavené mikrovlnnému poli vysvětluje bipolární rotace. Potraviny obsahují polární molekuly, jako je voda. Tyto molekuly mají obecně náhodnou orientaci, ale po aplikaci elektrického pole se orientují podle polarit pole. Polární molekuly se otáčejí tak, aby se orientovaly podle rychle se měnící polarit v mikrovlnné troubě. Taková rotace molekul způsobuje tření s okolím a produkci tepla [45]. Tlak vzniklý odpařováním pohání rychlou migraci vlhkosti, což vede k intenzivnímu přenosu tepla, vysoké rychlosti sušení, účinnosti a kvalitě zpracovávaného materiálu [47]. V porovnání se sušením horkým vzduchem tak mohou mikrovlnné techniky sušení výrazně zkrátit dobu sušení např. biologických materiálů, aniž by došlo ke zhoršení jejich kvality [6, 16, 18, 33, 48, 49].

Přesto má použití mikrovlnného sušení některé zásadní nevýhody. Hlavní nevýhodou je nerovnoměrný ohřev sušeného materiálu způsobený přirozenou nerovnoměrností

elektromagnetického pole uvnitř mikrovlnné sušičky, který může způsobit přehřátí a zuhelnatění produktu [6, 18, 22, 32, 44, 48]. K zamezení těchto účinků se mikrovlnné sušení často kombinuje s dalšími technikami, včetně sušení horkým vzduchem, lyofilizací nebo vakuovým sušením a dosáhne se tak rovnoměrnějšího, kvalitnějšího a účinnějšího sušení [6, 22, 33, 48]. Při kombinované (hybridní) metodě sušení mikrovlnami a horkým vzduchem odstraňuje horký vzduch vodu z povrchu zpracovávané potraviny, zatímco mikrovlnná energie odstraňuje vodu z vnitřních částí potraviny [44].

Na Obr. 5 je znázorněno schéma mikrovlnného konvekčního systému. Na boční stěně mikrovlnné trouby je otvor pro přívod horkého vzduchu, na horní stěně výstupní otvor, který odvádí vlhký vzduch ze sušicí komory během procesu sušení [48]. Výkon mikrovlnné sušičky je ovlivňován hlavně intenzitou elektrického pole, rychlostí rozptýlu energie a složením sušeného produktu [30].



**Obrázek 5: Mikrovlnná konvekční sušička. Převzato a upraveno z: [48]**

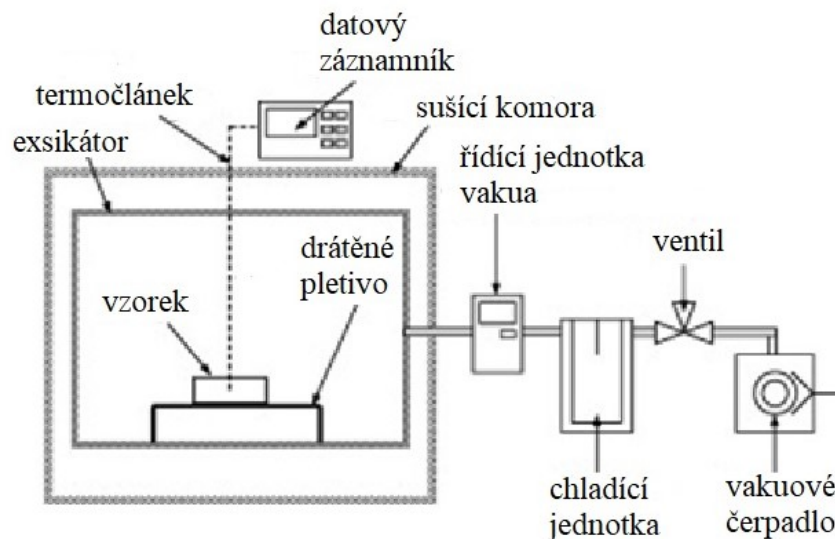
## 2.5. Vakuové sušení

Sušení ve vakuu (VD) je metoda vhodná zejména pro produkty citlivé na teplo, jako je ovoce s vysokým obsahem cukru a některé druhy zeleniny [18, 32]. Vakuové sušení umožňuje odpařování vody při nižších teplotách než při atmosférickém tlaku [46, 45, 50], nepřítomnost vzduchu navíc snižuje riziko oxidačních reakcí [7, 19, 33, 50]. Díky těmto výhodám se zachovává barva, chuť a vůně sušených produktů [7, 19, 46, 50].

Oproti konvekčnímu sušení má tato metoda několik výhod, například rychlý ohřev (zkracuje se doba zpracování), vysokou energetickou účinnost (je zapotřebí méně energie, což snižuje ekonomické a ekologické náklady) a téměř rovnoměrné rozložení vlhkosti v produktech [46, 50]. Další výhodou je méně škodlivý proces sušení, protože u některých materiálů se mohou při vysokých teplotách vyskytnout problémy, například vznik tvrdé, kožovité kůry v důsledku působení tepla během procesu sušení. Vakuové sušení má tendenci zachovat celistvost původní suroviny, aniž by jej poškodilo teplo [46]. Jednou z nevýhod sušení potravin ve vakuu je vysoká spotřeba energie [33].

Vakuové sušičky se používají téměř výhradně pro sušení potravin citlivých na teplo, protože bývají výrazně dražší než sušičky pracující za tlaku blízkého atmosférickému. Teplo se obvykle dodává průchodem páry nebo horké vody. Na rozdíl od sušičky s přímým ohřevem, kde je materiál ponořen přímo do topného média (obvykle horkého proudu plynu) a suší se konvekcí, se u vakuové sušičky využívá nepřímý ohřev. To znamená, že teplo je přenášeno na materiál při jeho kontaktu s vyhřívaným povrchem sušičky [46].

Na Obr. 6 je schéma zařízení pro vakuové sušení. Skládá se z vývěvy, řídicí jednotky vakua, chladič jednotky, sušičky a exsikátoru. Exsikátor, který zde funguje jako vakuová sušicí komora, je umístěn uvnitř sušičky, aby se udržovala požadovaná teplota sušení [19].



**Obrázek 6: Vakuová sušička. Převzato a upraveno z: [19]**

## 2.6. Infračervené sušení

Infračervené sušení (ID) nabízí oproti konvekčnímu sušení za podobných podmínek mnoho výhod a poskytuje konečné výrobky o vysoké kvalitě [13, 20, 51]. Infračervené záření patří mezi elektromagnetické záření v rozmezí vlnových délek 0,78-1000  $\mu\text{m}$ . Pro účely sušení se používají vlnové délky v rozmezí 2,5-200  $\mu\text{m}$ . Stejně jako jiné elektromagnetické vlny nevyžaduje přenos infračerveného záření energii média [51]. Energie vyzařovaná z infračervené lampy se dostává přímo k materiálům a neohřívá okolní vzduch [9, 45, 51]. Pokud se vlnová délka zdroje záření shoduje s absorpční vlnovou délkou ozařovaného objektu, látka absorbuje velké množství infračervené energie, čímž se mění a zhoršuje pohyb jejích molekul a dosahuje se efektu zahřátí [51]. V důsledku toho se proces sušení výrazně urychlí [3, 6, 9, 33 51].

Nevýhodou používání infračerveného sušení jsou vysoké provozní náklady a sušení materiálu s malou tloušťkou. K vyřešení tohoto problému byla navržena kombinace infračerveného záření a proudění horkého vzduchu. Přenos tepla zde probíhá současně prostřednictvím proudění horkého vzduchu a infračerveného záření. Jinými slovy, zatímco se povrch vzorku zahřívá infračerveným zářením, proudění horkého vzduchu zvyšuje přenos tepla a odstraňuje odpařenou vlhkost [33]. Navzdory výhodám této kombinace oproti konvekčním technikám sušení je proces sušení velmi složitý a stále existují obtíže s fyzikálními procesy, výměnami a interakcemi procesu, transportními jevy, distribucí vlhkosti a teploty [3].

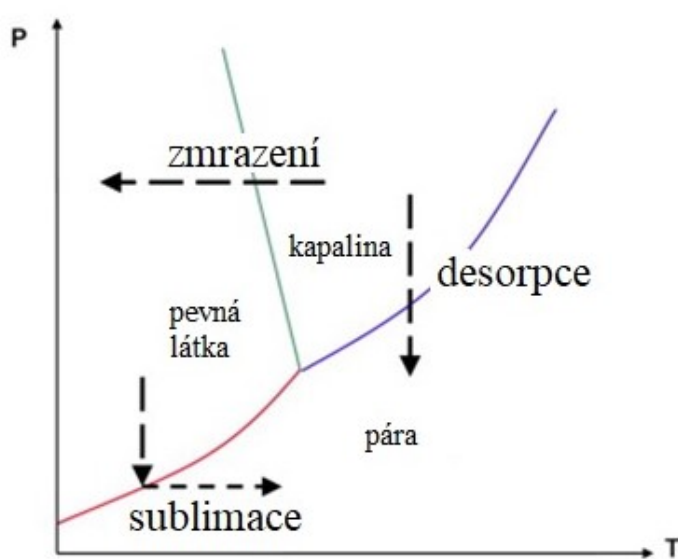
Další kombinovanou metodou je infračervené lyofilizační sušení, které kombinuje výhody infračerveného ohřevu a lyofilizace. Ve srovnání se samostatným sušením mrazem může použití této kombinace ušetřit více než 14 % času sušení. Kromě toho má výrobek tmavší barvu, lepší rehydratační schopnost a zároveň podobnou zbytkovou aktivitu vody. energii potřebnou k sublimaci poskytuje namísto elektrické topné desky infračervené záření, což zvyšuje rychlost přenosu tepla [51].

## 2.7. Lyofilizace (sušení mrazem)

Lyofilizace (FD) je považována za jednu z nejlepších metod sušení určených pro konzervaci potravin, protože lze získat vysoce hodnotné sušené produkty s dobrou senzorickou kvalitou a vysokým zachováním živin [18, 29, 51-57]. Ostatní procesy sušení mohou totiž ve srovnání s lyofilizací způsobit ztráty aroma, chuti, textury a nutričních hodnot z důvodu použití vyšších provozních teplot [55].

Lyofilizace je však energeticky velmi náročná operace, která má dlouhý procesní cyklus a vyžaduje vysoké investiční náklady [6, 8, 18, 29, 51-53, 55-58]. Hodí se tak hlavně pro výrobky s vysokou tržní hodnotou, jako jsou drahé potraviny, ale je také používána pro léčiva, jemné chemikálie a biotechnologické výrobky [18. 51, 55].

V procesu lyofilizace lze rozlišit tři fáze, během kterých dochází k rozdílným fyzikálním jevům (zmrazení, sublimace, desorpce), jak je znázorněno na Obr. 7 [57]. Produkt se nejprve zmrazí, aby došlo ke krystalizaci vody, a poté se z něho sublimací odstraní molekuly vody, přičemž led (pevné skupenství) ve vakuu přechází přímo do páry (plynné skupenství), aniž by prošel kapalnou fází [25, 46, 51, 54-56, 58].



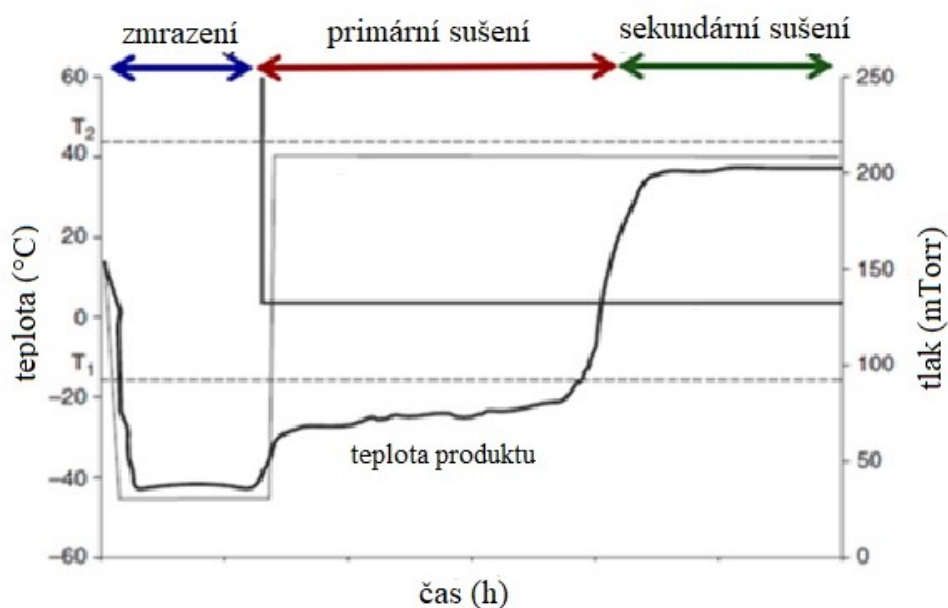
**Obrázek 7: Fyzikální jevy při sušení mrazem znázorněné na fázovém diagramu vody.  
Převzato a upraveno z: [57]**

První fáze (zmrazování) zahrnuje rychlé snížení teploty vzorku (dosažení hodnot pod trojným bodem vody), aby se kontroloval růst velikosti ledových krystalů a zabránilo se možnému poškození materiálu [57]. Morfologie vytvořených ledových krystalů určuje i vlastnosti dehydratovaného produktu [58]. Pomalá rychlost zmrazování vytváří větší ledové krystaly a naopak. Velikost krystalů ovlivňuje rychlost sušení, přičemž velké ledové krystaly snáze sublimují, a tím zvyšují rychlost sušení [59].

Druhý krok, tzv. primární sušení, spočívá v zahřátí vzorku za podmínek částečného vakua (vždy pod trojným bodem), aby se vynutila sublimace ledu [57, 59]. Během této fáze (nejdelší

fáze cyklu), která podmiňuje většinu kvalitativních vlastností výrobku, je téměř veškerá zmrzlá voda sublimována [57].

Poslední krok, sekundární sušení, je běžný proces sušení, při němž se voda, která je stále vázána na porézní matici, desorbuje zvýšením teploty [57, 59]. Typické hodnoty konečné vlhkosti ve výrobku se pohybují kolem 0,5 % hm. [57]. Pro zachování důležitých vlastností (stabilita, struktura, vůně, chuť atd.) a získání výrobků nejvyšší kvality je každá fáze důležitá [55]. Průběh jednotlivých fází jakožto závislost teploty a tlaku na čase zobrazuje Obr. 8 [59].



**Obrázek 8: Teplotní profil produktu během lyofilizace. Převzato a upraveno z: [59]**

Stále je snaha zlepšit účinnost lyofilizace a snížit spotřebu energie [52, 53]. Stejně jako u ostatních metod, i lyofilizace je kombinována s dalšími metodami, např. lyofilizace v kombinaci s horkým vzduchem [52], mikrovlnami [29, 52], infračerveným zářením [51, 52] a ultrazvukovým systémem [29, 52]. K zajištění tepla potřebného pro sublimaci ledu se obvykle používají elektrické topné desky s nízkou tepelnou vodivostí. Použití infračerveného ohřevu, který nahrazuje elektrickou topnou desku, je slibnou metodou, jak problém s vysokou spotřebou energie překonat [51].



## **2.8. Nové metody sušení**

Mezi novější metody sušení patří například: sušení s pomocí tepelného čerpadla, sušení přehřátou párou [14, 22], sušení v modifikované atmosféře nebo mikrovlnné sušení ve vakuu [22].

### **2.8.1. Sušení přehřátou párou**

Sušení přehřátou párou (SSD) používá jako sušící médium přehřátou páru. Mezi mnohé výhody, které SSD oproti sušení horkým vzduchem nabízí, patří nízká spotřeba energie, využití odpadní páry, žádné oxidační reakce (přehřátá pára neobsahuje kyslík) a emise prachu a nečistot do životního prostředí [14, 22]. Páru lze vyrábět pomocí elektřiny; lze ji také vyrábět pomocí solárního ohřevu a zemědělského odpadu, což jsou snadno dostupné zdroje energie/paliva [14]. Je uváděno, že tato metoda sušení minimalizuje ztráty živin, navíc s nejmenším vlivem na kvalitu [14, 22]. Kromě toho může sušení přehřátou párou za určitých podmínek poskytovat také vyšší rychlost sušení [22].

### **2.8.2. Sušení s využitím tepelného čerpadla**

Sušení pomocí tepelného čerpadla (HPD) je slibná technika sušení, jejímiž zjevnými výhodami jsou nízká spotřeba energie, nižší ztráty kvality výsledného produktu a vhodnost pro sušení produktů citlivých na teplo [8, 22, 49, 60]. Sušičky s tepelným čerpadlem používají jako konvekční sušící médium odvlhčený vzduch o nízké teplotě (40-50 °C [61]), což je důležitý rozdíl oproti běžným horkovzdušným sušičkám [22]. Navzdory zjevným technickým výhodám technologie HPD je rychlost sušení omezená právě kvůli nízké teplotě sušení. Ve většině sušících zařízení s tepelným čerpadlem se navíc používají chlorfluoruhlodíky (CFC), neboli freony, které jsou velkou chemickou zátěží pro životní prostředí. Bylo prokázáno, že freony jsou hlavní příčinou poškozování stratosférické ozonové vrstvy Země [49].

Sušící systém zahrnuje cyklus odvlhčování, kdy kondenzace vlhkosti umožňuje odstranění vody z uzavřeného systému cirkulace sušícího vzduchu. Ke kondenzaci a ohřevu odvlhčeného vzduchu je obvykle používáno tepelné čerpadlo, které získává zpět citelné a latentní teplo kondenzací vlhkosti z vysoušeného vzduchu. Získané teplo se vrací zpět do sušičky ohřevem odvlhčeného sušícího vzduchu [22].

### **2.8.3. Mikrovlnné vakuové sušení**

Mikrovlnné vakuové sušení (MVD) představuje novou alternativu, která kombinuje výhody mikrovlnného i vakuového sušení [23, 28, 32, 33]. Nízký tlak snižuje bod varu vody, a tím usnadňuje rychlé odpařování vodní páry z povrchu potraviny [28]. Sušení probíhá tak, že molekuly vody přítomné v materiálu interagují s mikrovlnami, což vede k ohřevu materiálu. Vakuum má za následek uvolňování plynu z pórů potravinového materiálu a způsobuje zvětšení povrchu pro přenos hmoty, což znamená, že voda se odstraňuje při nižších teplotách [23].

MVD zlepšuje rychlost sušení, vyžaduje nižší teploty, poskytuje rovnoměrnější a účinnější distribuci energie než jiné metody sušení a může také inhibovat oxidaci, a tak je zachována barva a živiny [18, 22, 23, 32]. Kromě toho tato metoda zabraňuje smršťování sušených produktů [50]. Mikrovlnné vakuové sušení má tedy potenciál zachovat kvalitu a nutriční hodnotu sušených produktů [22, 32]. Existuje mnoho aplikací mikrovlnného vakuového sušení v různých skupinách potravin, jako je maso [28], mléčné výrobky [23], zelenina a ovoce [18].

### **2.8.4. Elektrohydrodynamické sušení**

Elektrohydrodynamické sušení (EHD) je energeticky účinná nízkoteplotní metoda sušení, která představuje příležitost, jak vyhovět současným problémům stávajících metod sušení [4, 62]. Navzdory svým slibným vlastnostem však EHD dosud nebylo průmyslem a zemědělci přijato. Výsledky ukazují, že sušení potravin pomocí EHD je nejméně 1,6krát, 20krát a 70krát energeticky účinnější než mikrovlnné, mrazicí a horkovzdušné sušení [4]. Produkty sušené pomocí EHD mají ve srovnání s ostatními metodami i lepší kvalitu. Celkově bylo zjištěno, že v porovnání s aktuálně používanými metodami sušení v malém až středním měřítku je sušička EHD exergicky a energeticky účinnější, nákladově efektivnější a udržitelnou alternativou [4, 62]. Sušení EHD však stále potřebuje zlepšení, pokud jde o kinetiku sušení, aby bylo možné zajistit požadavky na velkou kapacitu potravinářského průmyslu [4, 12].

Jednoduché uspořádání této metody se skládá z vysokonapěťového zdroje a dvou elektrod (emitor a kolektor). Rozdílem vysokého napětí mezi elektrodami se ionizuje vzduch v okolí emitoru [4]. Pohyb iontů od emitoru směrem ke kolektoru vyvolává tzv. iontový vítr. Vzniklý vítr stimuluje konvektivní dehydrataci na sušících se materiálech [4, 12].

## 3. SUŠENÍ VYBRANÝCH POTRAVIN

### 3.1. Sušení hub

Houby patří mezi oblíbené potraviny hlavně díky jejich charakteristické vůni a chuti, ale obsahují i značné množství vitamínů a minerálů [25, 52, 63]. Čerstvé houby obsahují asi 85-95 % vlhkosti, 4 % sacharidů, 3 % bílkovin, 0,3-0,4 % tuku a 1 % minerálních látek a vitamínů. Obsahují vyšší množství niacinu (B3), kyseliny pantothenové (B5), biotinu (H), kyseliny listové (B9) a kobalaminu (B12) [48, 63]. Čerstvé houby podléhají díky vysoké vlhkosti rychlé zkáze a jsou náchylné k enzymatickému hnědnutí, proto vyžadují vhodné metody konzervace, aby se prodloužila jejich trvanlivost, zachovala kvalita a snížily ztráty živin [12, 25, 32, 52, 60, 63-65]. Nejčastěji se nabízí v sušené nebo mražené formě [65].

Dehydratace je považována za účinnou metodu konzervace, která prodlužuje skladovatelnost hub. V současné době se při zpracování hub používá několik metod sušení, mezi které patří levné a snadno kontrolovatelné sušení horkým vzduchem [32, 60], sušení ve vakuu, mikrovlnné sušení, sušení ve vakuu v mikrovlnné troubě [32], případně sušení mrazem [25, 52]. Každá technika sušení má své výhody a nevýhody. Konečné produkty získané těmito metodami se mohou lišit ve fyzikálně-chemických nebo nutričních vlastnostech a mikrostruktúře [32, 52].

Sušení horkým vzduchem je sice jednoduché, levné a umožňuje vznik výrazné charakteristické chuti hub v důsledku enzymatických a Maillardových reakcí [60], způsobuje však také nežádoucí nutriční ztráty [60, 66]. Mikrovlnné a infračervené sušení jsou méně vhodné metody pro zpracování hub, protože obě distribuují energii nerovnoměrně, což způsobuje problémy spojené s nerovnoměrným ohřevem [60], navíc mikrovlnné sušení může způsobovat ztráty vitamínů [32]. Nejnižší ztráty těkavých složek poskytuje lyofilizace, což je ale metoda ekonomicky náročná [66]. Proto je vhodné používat při sušení hub kombinované metody sušení [60].

#### 3.1.1. Sušení pečárky dvouvýtrusé

Pečárka dvouvýtrusá (žampion dvouvýtrusný) je hojně pěstovaná a patří mezi nejoblíbenější houby na světě [25, 52, 53, 66]. Pro porovnání metod sušení žampionu použili Pei a kol. (2014) tři různé druhy kombinovaných metod: lyofilizaci kombinovanou s horkovzdušným sušením, lyofilizaci kombinovanou s vakuovým sušením a lyofilizaci kombinovanou s mikrovlnným vakuovým sušením. Všechny metody byly prováděny tak dlouho, dokud konečný obsah vlhkosti nebyl nižší než 5 %. Následně byla měřena barva, textura, obsah živin (cukrů, bílkovin

a vitamínu C) a mikrostruktura dehydratovaných produktů s cílem vybrat vhodnou metodu sušení pro získání vysoce kvalitního sušeného produktu [52].

Lyofilizace kombinovaná s vakuovým sušením a lyofilizace kombinovaná s mikrovlnným vakuovým sušením byly v zachování živin významně lepší než lyofilizace kombinovaná s horkovzdušným sušením, s výjimkou toho, že obsah vitamínu C výrazně poklesl při lyofilizaci kombinované s mikrovlnným vakuovým sušením, což mohlo být způsobeno vysokou teplotou vyvolanou mikrovlnami, která může snižovat obsah termolabilního vitamínu C. Obsah bílkovin, redukujících sacharidů a celkových sacharidů v produktech upravených lyofilizací kombinovanou s horkovzdušným sušením byl významně nižší než v ostatních, což mohlo být způsobeno probíhající Maillardovou reakcí [52].

Kvalita sušených hřibovitých hub dehydratovaných lyofilizací kombinovanou s mikrovlnným vakuovým sušením byla velmi blízká kvalitě sušených hřibovitých hub dehydratovaných lyofilizací, a to nejen co se týče vzhledu, textury, nutriční hodnoty, ale také rehydratační schopnosti. A co je ještě důležitější, lyofilizace kombinovaná s mikrovlnným vakuovým sušením by mohla účinně snížit spotřebu energie a zkrátit celkovou dobu sušení ve srovnání se samotnou lyofilizací [52, 53], a to v obou případech přibližně o 35 % [52].

### **3.1.2. Sušení hub shiitake**

Shiitake, druhá nejpěstovanější jedlá houba na světě, představuje asi 25 % celosvětové produkce hub. Čerstvé houby shiitake se často konzervují sušením. Sušené houby shiitake mají také vynikající chuť umami, která je podobná chuti masa, sýrů a jiných hub. Tato chuť vzniká rozkladem bílkovin na aminokyseliny během sušení [32]. Degradaci bílkovin při sušení a zlepšení chuti sušených hub je možné podpořit předúpravou při vysoké teplotě [64].

K sušení hub shiitake použili Tian a kol. (2016) různé metody (horkovzdušné, vakuové, mikrovlnné a kombinaci mikrovlnného a vakuového sušení), dokud nebyl obsah vlhkosti nižší než 13 %. Poté byl pozorován mimo jiné obsah těkavých látek, polysacharidů, vitamínu B12 a volných aminokyselin [32].

#### Vliv sušení na obsah nutričně významných látek v houbách shiitake

Obsah těkavých složek (sirné sloučeniny, alkoholy, uhlovodíky, kyseliny, estery, aldehydy, dusíkaté sloučeniny a ketony [32, 60] v sušených vzorcích byl výrazně vyšší než u čerstvých hub, přičemž nejvyšší nárůst byl u hub sušených mikrovlnným vakuovým sušením, dále v sestupném pořadí sušením horkým vzduchem, vakuovým sušením a mikrovlnným sušením

[32]. Ve studii od Liu a kol. (2022) byl obsah těkavých složek výrazně vyšší u hub sušených lyofilizací kombinovanou s vakuovým sušením, než u sušení horkým vzduchem [60]. Těkavé sloučeniny vznikaly převážně chemickou nebo enzymatickou oxidací nenasycených mastných kyselin a dále interakcí s proteiny, peptidy a volnými aminokyselinami [32].

V zachování obsahu rozpustných polysacharidů byly významně lepší způsoby vakuového a kombinovaného mikrovlnného a vakuového sušení, nejnižší obsah vykazoval vzorek připravený mikrovlnným sušením, kde došlo k výraznému zvýšení teploty produktu a některé polysacharidy se v důsledku Maillardových a karamelizačních reakcí přeměnily na oligosacharidy nebo část karamelu [32].

Nejvíce vitamínu B12 se ztratilo na povrchu potraviny, která měla při sušení přímý kontakt s horkým vzduchem. Zajímavé je, že houby sušené vakuovým sušením a sušením horkým vzduchem měly vyšší obsah vitamínu B12 než čerstvé houby shiitake. Mechanismus způsobující zvýšení obsahu vitamínu B12 však dosud není objasněn. Nejnižší obsah vitamínu B12 vykázal vzorek sušený mikrovlnným sušením, který dosáhl 27% ztrát ve srovnání s čerstvým vzorkem. Mezi vzorkem vysušeným mikrovlnným vakuovým sušením a čerstvými houbami nebyly pozorovány žádné významné změny v obsahu vitamínu B12 [32].

Houby shiitake obsahují různé aminokyseliny. Kyselina glutamová (Glu), cystein (Cys) a alanin (Ala) vykazovaly ve vzorcích hub shiitake vyšší množství. Obsah celkových volných aminokyselin v čerstvých vzorcích byl 38,07 mg/g sušiny. Po úpravě sušením se obsah celkových volných aminokyselin v sušených vzorcích významně zvýšil. Nejvyšší obsah volných aminokyselin dosáhl vzorek sušený mikrovlnným vakuovým sušením a to hodnoty 70,91 mg/g sušiny [32].

Asp a Glu dodávají nejtypičtější houbovou chuť, chuť umami a připomínají charakteristickou chuť glutamátu sodného [32, 53, 60].

### **3.2. Sušení mléka**

Mléko, produkované mléčnými žlázami samic savců, je bohaté na klíčové živiny, jako jsou sacharidy, bílkoviny, tuky, minerální látky a vitamíny. Mléko hraje klíčovou roli nejen ve výživě a hydrataci, ale má také zásadní úlohu při vytváření základní střevní mikroflóry a při posilování imunitního systému všech novorozenců savců. Celosvětovou produkci mléka dominuje pět živočišných druhů, přičemž 83 % celkové produkce mléka pochází od krav, následují buvolí s 13 %, kozí s 2 %, ovčí s 1 % a velbloudí s 0,4 % [67].

### 3.2.1. Sušení kravského mléka

Na úrovni makronutrientů se kravské mléko skládá z vody (85-87 %), tuků (3,8-5,5 %), bílkovin (2,9-3,5 %) a sacharidů (5 %). Na úrovni mikronutrientů obsahuje kravské mléko mnoho bioaktivních látek včetně vitaminů, minerálních látek, biogenních aminů, organických kyselin, nukleotidů, oligosacharidů a imunoglobulinů [67].

Vzhledem ke krátké životnosti mléka bylo zkoumáno mnoho metod zpracování a konzervace, kdy jednou z možností je sušení. Sušené mléko se nejčastěji získává rozprašovací metodou [1, 7, 39, 54, 68, 69], a to hlavně díky krátké době kontaktu s teplem, nízké spotřebě energie a vysoké rychlosti odpařování, která zajišťuje vysokou kvalitu produktu při relativně nízkých nákladech. Suchý práškový výrobek je velmi výhodný, protože má dlouhou skladovatelnost a vyžaduje relativně nízké náklady na přepravu a skladovací kapacity [69].

### 3.2.2. Sušení kokosového mléka

Kokosové mléko, emulze mléka, oleje a někdy i vody, je získáváno z kokosové dužiny [43, 68, 70]. Kokosové mléko v přírodní formě nelze dlouhodobě skladovat kvůli činnosti mikrobů, které způsobují žluknutí [43, 68]. K prodloužení trvanlivosti kokosového mléka se používá mimo jiné sušení rozprašováním [1, 43, 68, 70]. Sušené kokosové mléko zpracované technikou sprejového sušení lze snadno balit a skladovat relativně dlouhou dobu. [43].

Kokosové mléko má nízký bod tání, což je připisováno vyššímu podílu obsahu triglyceridů s krátkým řetězcem [39]. V důsledku vysoké teploty rozprašovacího sušení a nízké teploty skelného přechodu kokosového mléka se ale při zpracování rozprašováním objevily četné nevýhody, včetně přilnavosti sušeného kokosového mléka ke stěně, což vedlo k nižší výtěžnosti a špatné manipulaci se zpracovávaným kokosovým mlékem [1, 39]. K překonání těchto problémů je nezbytné použít při rozprašováním sušení stěnový materiál s vysokou molekulovou hmotností, jako je arabská guma, čímž se zabrání lepivosti a sníží se hygroskopičnost prášku [1, 43, 68]. Podle Le a kol. (2015) je vhodné směs kokosového mléka a roztoku stěnového materiálu před sušením homogenizovat pomocí ultrazvuku, jelikož dojde k vyšší účinnosti mikroenkapsulace a tím prodloužení trvanlivosti sušeného kokosového mléka [68].

Další možnou metodou, kterou použili k sušení kokosového mléka Zafisah a kol. (2018), je lyofilizace, která však není ekonomicky výhodná. Lyofilizované prášky vykazují nejnižší obsah vlhkosti v důsledku delší doby sušení a větší energie, kterou lyofilizátor používá. Lyofilizované

prášky jsou považovány za stabilnější pro manipulaci a skladování, protože mají menší tendenci ke slepování [54].

### **3.3. Sušení čaje**

Čaj je jedním z nejoblíbenějších nápojů na světě [16, 24, 47, 71-74]. Čaj (*Camellia sinensis* nebo *C. assamica*) se v různých částech světa používá jako zelený (nefermentovaný), černý (fermentovaný) nebo oolong (částečně fermentovaný) [16, 24, 71, 73-75]. Čerstvé čajové lístky jsou téměř bez vůně. Po sklizni čajové lístky vytvářejí aroma prostřednictvím reakcí podporovaných enzymy [75]. Nejvýraznější pozitivní účinky na lidské zdraví byly pozorovány při konzumaci zeleného čaje. Rozdíly mezi zeleným a černým čajem jsou v procesu jejich zpracování [16]. Při zpracování zeleného čaje se čerstvě sklizené lístky ihned spařují nebo zahřívají, aby se zničily enzymy zodpovědné za rozklad barevných pigmentů v listech a aby si čaj během sušení zachoval zelenou barvu [16, 72, 74].

Čaj je spojován s mnoha přínosy pro lidské zdraví [16, 47, 71-74], jako je prevence rakoviny, kardiovaskulárních onemocnění, cukrovky a obezity [16, 47, 74]. Bylo také zjištěno, že čajové flavonoidy zabraňují peroxidaci lipidů, což je v potravinářském průmyslu velký problém, který může způsobit nepříznivé žluknutí a potenciálně toxické reakce ve výrobcích [16].

Mezi hlavní faktory ovlivňující kvalitu čaje patří čajové odrůdy, techniky pěstování, podmínky prostředí a proces zpracování [47]. Důležitou součástí zpracování čaje je sušení, které snižuje obsah vody, podporuje tvorbu aroma, chuti a barvy a prodlužuje trvanlivost [71].

#### **3.3.1. Sušení černého čaje**

Zpracování černého čaje obvykle zahrnuje procesy zavadání, rolování (řezání), fermentace a sušení [71, 73, 74]. Tradiční metoda sušení horkým vzduchem má výhodu jednoduché obsluhy a nízkých nákladů, ale nevýhodu dlouhé doby sušení a nadměrných ztrát výživných látek [47, 71, 73]. Proto jsou často používány nové metody sušení, jako je sušení infračerveným zářením, mikrovlnné sušení, sušení světelnými vlnami, sušení ve vakuu a mikrovlnách a kombinované sušení světelnými vlnami a mikrovlnami [47, 73]. Proces sušení může mít vliv na kvalitu čaje kvůli jeho vlivu na mnoho složek citlivých na ohřev, jako jsou polyfenoly, pigmenty, kyselina askorbová a těkavé látky v čaji. Ve srovnání s vakuovým, mikrovlnným a horkovzdušným sušením může mikrovlnné vakuové sušení zlepšit produkci vysoce kvalitního zeleného čaje s vyšším obsahem kyseliny askorbové a aminokyselin [47].

### Vliv sušení na obsah polyfenolů v černém čaji

Čerstvé čajové lístky jsou bohaté na flavonoidy, což jsou polyfenolické sloučeniny, které obsahují aromatický kruh s jednou nebo více hydroxylovými skupinami. Nejčastějšími flavonoidy v čaji jsou katechiny [75]. Zachování přiměřeného množství polyfenolů přispívá ke koordinaci chuťových látek. Zároveň zvyšují intenzitu a štiplavost chuti [47, 49]. Vzorek sušený mikrovlnným sušením vykazoval významně vyšší obsah polyfenolů než vzorek sušený infračerveným sušením ve vzdálené oblasti a halogenovou lampou, ale výrazně se nelišil od sušení horkým vzduchem a kombinovaným sušením v halogenové lampě a mikrovlnné troubě [47].

Obecně platí, že vysoká teplota a dlouhá doba sušení zvyšují oxidaci a degradaci polyfenolů. Mikrovlnné sušení je pro zachování polyfenolů příznivé díky krátké době sušení [16, 47]. Ačkoli má sušení v halogenové lampě krátkou dobu sušení, intenzita tepelného záření je poměrně silná, což může způsobit snížení obsahu polyfenolů urychlením jejich přeměny [47].

### Vliv sušení na obsah aminokyselin a rozpustného cukru v černém čaji

Různé metody sušení měly zřejmý vliv na většinu aminokyselin s výjimkou methioninu. V porovnání se sušením horkým vzduchem byl obsah aminokyselin černých čajů ošetřených ostatními metodami sušení v různé míře snížen. Největší úbytek a nejnižší obsah aminokyselin byl zjištěn u kombinovaného sušení v halogenové lampě a mikrovlnné troubě. Aminokyseliny jsou chutné sloučeniny a snížení obsahu aminokyselin může snížit svěží chuť, ale přiměřené snížení aminokyselin nejenže nemá výrazný vliv na chuť, ale také zlepšuje aroma čaje [47]. Pokles obsahu aminokyselin po sušení mohl souviset s interakcí cukru a aminokyselin [69].

Chuť a vůně černého čaje souvisí také s přeměnou rozpustných cukrů, které přispívají ke sladké a jemné chuti a jsou základem pro tvorbu aroma. Obsah rozpustných cukrů v černém čaji se řídil pořadím: infračervené sušení ve vzdálené oblasti, sušení horkým vzduchem, mikrovlnné sušení, sušení halogenovou lampou a kombinované sušení v halogenové lampě a mikrovlnné troubě. Účast rozpustných cukrů v Maillardově reakci prospívá aroma černého čaje, proto přiměřená redukce rozpustných cukrů pravděpodobně indikuje dobré aroma černého čaje [47].



### Vliv sušení na obsah těkavých látek v černém čaji

Přestože čajové lístky obsahují těkavé látky ve velmi nízké koncentraci (0,01 %), hrají tyto sloučeniny důležitou roli v chuti čaje. Některé těkavé sloučeniny, které přispívají k chuti čaje, se během fáze sušení vlivem vysoké teploty vytrácejí [24]. Mezi těkavé látky v černém čaji patří estery, alkoholy, ketony, aldehydy, uhlovodíky a další látky [24, 47, 73].

Nejvyšší obsah těkavých látek byl zjištěn u vzorku sušeného mikrovlnným sušením, dále kombinovaným sušením v halogenové lampě a mikrovlnné troubě, infračerveným sušením ve vzdálené oblasti, sušení halogenovou lampou a horkovzdušným sušením. U mikrovlnného a kombinovaného sušení byly navíc nalezeny některé nové těkavé látky [47].

### **3.3.2. Sušení zeleného čaje**

Zelený čaj obsahuje mnoho cenných sloučenin, jako jsou fenolické látky, flavonoidy (katechiny), aminokyseliny, minerální látky, vitaminy (B, C, E), xantické báze (kofein, teofylin), pigmenty (chlorofyl, karotenoidy) a těkavé látky (aldehydy, alkoholy, estery, laktony, uhlovodíky) [16]. Ze třech hlavních druhů komerčních čajů vykazuje zelený čaj obecně výrazně vyšší obsah katechinů než všechny ostatní. Kromě toho představuje zelený čaj také silnější antioxidační aktivitu než čaj oolong a černý čaj [72].

Zelený čaj je možné sušit na vzduchu při pokojové teplotě, na slunci [16], horkým vzduchem [16, 16] nebo mikrovlnami [16, 73].

Roshanak a kol. (2016) porovnávali následující metody sušení: sušení na vzduchu ve stínu a při pokojové teplotě (25 °C); sušení na slunci; sušení v horkovzdušné sušičce při 60 °C; sušení v horkovzdušné sušičce při 80 °C; sušení v horkovzdušné sušičce při 100 °C; sušení v mikrovlnné troubě při 800 W a sušení mrazem. Poté určili obsah flavonoidů, fenolických látek a vitamínu C [16]. Lin a kol. (2010) porovnali čtyři různé procesy sušení včetně sušení horkým vzduchem, vakuového sušení, mikrovlnného sušení a mikrovlnno vakuového sušení s ohledem na kvalitu čaje [49].

Nejvyšší množství živin, jako jsou aminokyseliny, bílkoviny a kofein, se v zelených čajích zachovalo při mikrovlnném vakuovém sušení. Naopak dlouhodobé sušení horkým vzduchem vedlo k nejnižším nutričním hodnotám. Bylo zjištěno, že podmínky procesu, jako je teplota a doba sušení, jsou hlavními faktory ovlivňujícími nutriční hodnoty sušeného zeleného čaje [49].

### Vliv sušení na obsah flavonoidů, fenolických látek a vitamínu C v zeleném čaji

Obsah antioxidantů (fenolických látek, vitaminů atd.) v čerstvých rostlinných materiálech je vyšší než v sušených rostlinných materiálech v důsledku jejich degradace během sušení [16, 72]. Nejvyšší celkový obsah fenolických látek byl získán při sušení v sušičce při 60 °C, zatímco nejnižší obsah patřil sušení ve stínu [16].

Kyselina askorbová (vitamin C) je považována za důležitou živinu v ovoci a zelenině. Během sušení byl pozorován výrazný pokles jejího obsahu [16, 76]. Nejvyšší obsah vitamínu C v sušených listech byl získán při lyofilizaci, následovalo mikrovlnné sušení. Vitamin C mizí při vysokých teplotách a dlouhé době sušení. Při mikrovlnné metodě bylo množství vitamínu C nápadně vysoké, což může být způsobeno krátkou dobou sušení [16].

### **3.4. Sušení kávy**

Káva je jedním z nejoblíbenějších nápojů na světě [2, 8, 13, 61, 77]. Vyznačuje se příjemným chuťovým vjemem zahrnujícím vyváženou kombinaci hořkosti, kyselosti, oříškovitosti a trpkosti [2, 8]. Získává se z tropického stálezeleného keře rodu *Coffea* [2], který zahrnuje dva nejběžnější pěstované druhy, arabica a robusta [2, 8]. Káva arabica je nejpreferovanějším druhem kávy díky svým výjimečným sensorickým vlastnostem [61, 77, 78]. Některé studie ukázaly, že konzumace kávy může snížit riziko diabetu 2. typu, rakoviny tlustého střeva a konečníku [8, 77], kardiovaskulárních onemocnění [8] a obezity, protože kávové plody obsahují mnoho bioaktivních látek, které jsou známé svou schopností působit jako antioxidanty, např. kyselinu chlorogenovou, třísloviny a kofein [77]. Káva v posledních letech přitahuje značnou pozornost spotřebitelů po celém světě především díky svým zdravotním přínosům, specifickému aroma a charakteristické hořké chuti [8, 61]. Čerstvé kávové plody obsahují 75-85 % vody [8] a jsou náchylné k mikrobiálnímu kažení a chemickému znehodnocení, což může ovlivnit chuť a aroma kávy [8, 61, 77].

V současné době je dehydratace kávy hlavním postupem zpracování, který se používá k potlačení mikrobiálního kažení a zabránění chemickému znehodnocení. Nezpracované kávové plody zobrazuje Obr. 9 [79], zatímco slupky a dužiny zbavená, očištěná a vysušená kávová zrna jsou k vidění na Obr. 10 [13].



**Obrázek 9: Kávové plody. Převzato a upraveno z: [79]**

Proces sušení však mohou doprovázet změny fyzikálních, chemických a organoleptických vlastností složek citlivých na teplo, včetně degradace barvy, tvorby krusty, snížení sensorické kvality, inaktivace bakterií a enzymů a ztráty živin a aroma. Výběr a kontrola metod sušení používaných pro čerstvé kávové plody jsou tedy velmi důležité [2, 8, 78].



**Obrázek 10: Zpracovaná kávová zrna. Převzato z: [13]**

Ve většině zemí produkujících kávu je sušení při pokojové teplotě nejjednodušší a nejlevnější metodou používanou k sušení čerstvých kávových plodů, která je však často náchylná ke kontaminaci cizorodými materiály, což může způsobit růst mikroorganismů a zhoršení kvality chuti [8]. Solární sušení je jednou z atraktivních alternativních aplikací, které představují velký potenciál pro využití při sušení [8, 61, 77]. Solární sušení má však některé nevýhody, jako je prodloužená doba sušení, vysoké náklady na pracovní sílu a požadavek na velkou plochu pro sušení. I přes tyto nevýhody se solární sušení obvykle upřednostňuje před mechanickým sušením, protože má tendenci produkovat pražené kávy s lepšími

senzorickými vlastnostmi. To je částečně způsobeno vyšším obsahem cukrů, které vznikají během solárního sušení, a tím, že mechanické sušení při vysokých teplotách může nepříznivě ovlivnit strukturu zelené kávy a celkovou konečnou kvalitu [77]. Sušení horkým vzduchem je nejběžnější metodou sušení, která je relativně levná, ale může způsobit chemickou degradaci kávových plodů. Při lyofilizaci lze získat vysoce kvalitní produkty a zachovat obsah živin, barvu, chuť a strukturu, tato metoda však vyžaduje vysokou spotřebu energie a investiční náklady. Sušení tepelným čerpadlem je slibná technika sušení, jejímiž zjevnými výhodami jsou nízká spotřeba energie, nižší ztráty kvality a je také vhodná pro sušení produktů citlivých na teplo [8].

Tuky, bílkoviny a volné aminokyseliny se významně podílejí na kvalitě kávy, protože slouží jako prekurzory kávového aroma a chuti, které vznikají během pražení převážně Streckerovou a Maillardovou reakcí. Kofein má hořkou chuť, která je důležitým faktorem určujícím tvorbu kávové chuti [8, 61], trigoneliny přispívají k tvorbě příjemné chuti během pražení kávy. Kyselost kávových nápojů je důležitá kvůli jejich sensorické kvalitě, většina kyselosti vzniká během pražení za použití organických kyselin jako příslušných prekurzorů [8].

#### Vliv sušení na obsah lipidů a bílkovin v kávě

Kávové lipidy jsou nositeli aromatických látek a vitaminů rozpustných v tucích. Po sušení došlo u všech ostatních metod sušení s výjimkou sušení tepelným čerpadlem k výraznému zvýšení obsahu lipidů, přičemž zrna připravená pomocí lyofilizací poskytla nejvyšší obsah lipidů, následovaná solárním sušením, sušením horkým vzduchem a sušením tepelným čerpadlem [8].

Bílkoviny jsou také důležitým chuťovým prekurzorem v procesu pražení kávových zrn. Zrna sušená lyofilizací měla nejvyšší celkový obsah bílkovin ve srovnání s kávovými zrny sušenými při pokojové teplotě [8].

#### Vliv sušení na obsah kofeinu a trigonelinu v kávě

Obsah kofeinu byl nejvyšší v zrnech sušených metodou solárního sušení a nejnižší v zrnech sušených při pokojové teplotě. Obsah kofeinu byl však u všech metod podobný. Tento výsledek lze vysvětlit relativně stabilní strukturou kofeinu [8, 61]. Vliv různých podmínek sušení na obsah trigonelinu byl téměř shodný s vlivem na obsah kofeinu, nebyly objeveny žádné výrazné rozdíly [8].

### Vliv sušení na obsah organických kyselin v kávě

Kyselost je spolu se sladkostí, hořkostí a aromatickým profilem důležitým atributem kvality kávy [2, 8]. Kyselost kávy souvisí především s organickými kyselinami, které mají významný vliv na vyváženost chuti a také ovlivňují pH a kvalitu kávy. Kávová zrna připravená lyofilizací měla nejvyšší celkový obsah organických kyselin, zatímco zrna připravená metodou sušení při pokojové teplotě měla obsah nejnižší. Nejvíce zastoupenou běžnou organickou kyselinou byla kyselina jablečná, následovaná kyselinou vinnou, citronovou, mravenčí, jantarovou a šťavelovou. Zajímavé je, že kyselina chinová byla zjištěna pouze ve vzorcích připravených lyofilizací [8].

### Vliv sušení na obsah těkavých látek v kávě

Profil těkavých látek v pražené kávě je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících kvalitu kávy. Mezi hlavní těkavé látky v kávě patří kyseliny, aldehydy, alkoholy, uhlovodíky, ketony a estery [2, 8, 61]. Za aroma kávy je přitom zodpovědných převážně asi jen 20-30 těkavých látek, včetně sirných sloučenin, aldehydů, ketonů, furanů, pyrrolu a pyrazinu [2].

Metody sušení tepelným čerpadlem [2, 8] a horkovzdušné sušení vedly k výrazným změnám v profilu těkavých látek sušených kávových zrn pravděpodobně v důsledku použitých vysokých teplot a intenzivního větrání. Obsah uhlovodíků ani ketonů se při porovnání kávových zrn připravených různými metodami sušení nelišil. Zajímavé je, že pyridin, který přispívá ke kouřové chuti kávy, byl zjištěn pouze v kávových zrnech připravených metodou solárního sušení [8].

## **3.5. Sušení masa**

Sušené hovězí maso, jako typický druh sušeného masného výrobku, lze připravit ze syrového hovězího masa uzením a sušením [80, 81]. Hovězí jerky je historicky jednou z nejstarších forem konzervace masa, jejímž účelem je snížení aktivity vody, a tedy i omezení růstu mikroorganismů [81-83]. Hovězí jerky je vnímáno jako výrobek s dlouhou trvanlivostí a vysokým obsahem živin, který je dobře skladovatelný bez nutnosti chlazení [80, 81].

Sušené hovězí maso se připravuje tradičním sušením na vzduchu ve venkovním prostředí (ruční výroba), respektive tepelným sušením (velkokapacitní průmyslová výroba) [80, 82]. Tradiční sušené hovězí maso má díky dlouhodobému sušení při nízkých teplotách bohaté aroma a jasnou barvu [80], nevýhodou je časová náročnost a těžká kontrolovatelnost obsahu vlhkosti [81]. Parametry sušení modernějšími způsoby (teplota, vlhkost a rychlost proudění vzduchu) lze

snadno regulovat, aby byla kvalita sušených masných výrobků jednotná a stabilní díky zkrácení cyklu sušení [80, 82]. Tyto metody však mají některé nevýhody spočívající v povrchovém ztvrdnutí a zhoršení chuti, vůně a textury masa v důsledku Maillardovy reakce, ale je také je náchylnější k poškození lipidů [81]. Ke zlepšení kvalitativních vlastností sušeného hovězího masa byla zkoumána řada přídatných látek, včetně dusitanu sodného, erytorbátu sodného a antimikrobiálních látek [80].

#### Vliv sušení na obsah bílkovin, lipidů a sacharidů v mase

Tradičně sušené hovězí maso mělo vyšší obsah bílkovin než moderně sušené hovězí maso. Tyto výsledky mohou souviset s mírou oxidace bílkovin během procesu sušení [80].

Obsah lipidů ve vzorcích zpracovaných tradiční metodou sušení byl vyšší než ve vzorcích zpracovaných moderní metodou sušení. K oxidaci lipidů v mase zpracovaném moderní metodou sušení mohlo dojít kvůli vysoké teplotě [80]. Při použití přehřáté páry jako sušícího média lze extrahovat tuk z masa rychleji než horkým vzduchem [83].

Obsah sacharidů byl u vzorků zpracovaných moderní metodou sušení nižší než u tradičního sušení a to díky Maillardově reakci, při níž karbonylové skupiny redukujících cukrů reagují s aminoskupinami volných aminokyselin za vzniku sloučenin obsahujících dusík, síru a kyslík [80].

Závěrem lze říci, že ačkoli se zdá, že přírodní sušení je náchylnější k mikrobiologické kontaminaci než horkovzdušné sušené, metoda přírodního sušení zřejmě vede k lepší kvalitě masa než metoda sušení horkým vzduchem [80, 81]

### **3.6. Sušení ovoce a zeleniny**

Ovoce a zelenina jsou náchylné ke kažení a mikrobiální kontaminaci způsobené obsahem vlhkosti, která často přesahuje 80 % [7, 10]. Navíc vzhledem k sezónnímu charakteru většiny těchto plodin a jejich regionální produkci je velmi důležité i jejich včasné zpracování [10, 11, 35, 56]. Vzhledem k vysoké nutriční hodnotě, včetně fenolických sloučenin, minerálních látek, antioxidantů, vitamínů, pektinové methylesterázy, probiotik a flavonoidů, hrají tyto plodiny důležitou roli ve výživě [10, 35, 56].

Konzumace ovoce a zeleniny je spojena se snížením rizika chronických degenerativních onemocnění, rakoviny a kardiovaskulárních chorob [10, 56, 84]. Četné důkazy naznačují, že tyto zdravotní účinky souvisejí s antioxidačními fytochemikáliemi, které hrají důležitou roli

v prevenci a léčbě chronických onemocnění způsobených oxidačním stresem vyvolaným volnými radikály [11, 21, 35, 84]. Při tepelném zpracování zeleniny a ovoce však většinou dochází k degradaci, resp. snížení obsahu antioxidačních látek [21, 84, 85]. Degradace fenolických sloučenin během sušení se připisuje buď vazbě polyfenolů s jinými sloučeninami, nebo změnám v chemické struktuře [84].

Fenolické sloučeniny jsou sekundární metabolity rostlin, které byly identifikovány jako hlavní antioxidanty v ovoci [10, 84]. Flavonoidy jsou podskupinou fenolických sloučenin. Nejdůležitější podskupinou flavonoidů jsou antokyany, které jsou zodpovědné za červenou až fialovou pigmentaci rostlin [84].

Vitamin C je znám jako nejdůležitější vitamin v ovoci a zelenině pro lidskou výživu. Dokáže vychytávat volné radikály a hraje hlavní neenzymatickou antioxidační roli v organismu [35, 76].

### **3.6.1. Sušení jahod**

Jahody jsou díky své chuti, vysokému obsahu vitaminů a antioxidační aktivitě konzumované jako součást běžné stravy a jejich konzumace je také spojována se snížením rizika některých druhů rakoviny, zánětlivých dysfunkcí a kardiovaskulárních onemocnění [9, 31]. Antioxidační aktivita souvisí s obsahem fenolických látek, včetně fenolických kyselin a flavonoidů a antokyanů. Hlavními antokyany jsou pelargonidin-3-glukosid, kyanidin-3-glukosid a pelargonidin-3-rutinosid [84], zatímco hlavními flavonoidy jsou kvercetin a kaempferol [9, 31, 84].

Jahody jsou velmi náchylné k mechanickému poškození a napadení plísněmi, proto mají velmi krátkou dobu skladovatelnosti po sklizni. Jednou z variant prodloužení jejich trvanlivosti a zachování bioaktivních látek je sušení [9, 31]. Sušení způsobuje změny některých fyzikálních vlastností, jako je barva, struktura a velikost. Při konvekčním sušení, které se běžně používá ke zpracování ovoce a zeleniny, dochází také k chemickým změnám, jako jsou ztráty chuti a živin [9].

#### Vliv sušení na obsah fenolických látek v jahodách

Tepelné ošetření při 70 °C po dobu 20 minut vedlo k 4% poklesu obsahu fenolických látek, zatímco obsah fenolických látek v jahodách se po sušení při 50 °C a po dobu 24 hodin snížil z 88 na 12 % [84]. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny u jahod sušených mrazem [31].

### Vliv sušení na obsah antokyanů v jahodách

Antokyaniny jsou vzhledem k jejich vysoké nestabilitě a reaktivitě závislé na mnoha faktorech, z nichž nejvýznamnější je teplota [9, 84]. K dalším změnám dochází například při přípravě materiálů (řezání), kdy dochází k uvolňování prekurzorů a vody, změně pH a usnadnění blízkosti reaktantů, jako jsou peroxidové enzymy, které mohou antokyaniny degradovat [84].

Na konci konvekčního sušení došlo při 50 °C ke ztrátě 26 % obsahu antokyaninu, zatímco při 60 °C dosáhla ztráta 45 %. Podle očekávání tedy měla tepelná expozice silný vliv na retenci antokyanů [84].

### Vliv sušení na obsah antioxidantů v jahodách

Při porovnání konvekčního sušení při 50 °C a 60 °C bylo zjištěno, že vyšší teplota sušení lépe zachovala antioxidační aktivitu, přičemž výhodou bylo, že vyžadovala kratší dobu sušení než při nižší teplotě. Na konci sušení při 50 °C došlo k 74,7% ztrátě antioxidační aktivity, zatímco při 60 °C dosáhla ztráta 66,2 % [84].

Tyto výsledky naznačují, že doba expozice má na degradaci antioxidantů u jahod větší vliv než teplota [84].

### **3.6.2. Sušení meruňek**

Meruňky jsou bohaté na sacharidy a minerální látky, mají výraznou barvu a charakteristickou chuť. Nejhojněji zastoupenými minerálními látkami jsou draslík a železo [11]. Plody meruňek jsou významným zdrojem karotenoidů [11, 35]. Asi 50-70 % všech karotenoidů v meruňkách tvoří  $\beta$ -karoten [11, 21]. Kromě toho jsou důležitými fenolickými sloučeninami v tomto ovoci kyseliny chlorogenová a neochlorogenová, katechin, epikatechin a rutin [11].

Mezi nejčastěji používanou metodu sušení meruňek patří solární sušení [11, 35]. Aby se zabránilo enzymatickému i neenzymatickému hnědnutí, ztrátě kvality a mikrobiální aktivitě během sušení a skladování a aby se usnadnil proces sušení, používá se předběžná úprava síření v nízké koncentraci. Sušení sířených plodů na slunci umožňuje získat meruňky intenzivní oranžové barvy a průsvitného vzhledu [35], což je zobrazeno na Obr. 11 [86]. Solární sušení má však mnoho nevýhod a vzhledem k případným alergickým reakcím, které mohou vyvolat vysoké koncentrace sířičitanů, roste poptávka po sušených meruňkách bez obsahu síry [35]. Účinnou alternativou mohou být i jiné techniky, jako je sušení horkým vzduchem, mikrovlnné sušení nebo jejich kombinace, které mají ještě kratší dobu zpracování a v důsledku toho menší dopad na nutriční hodnotu meruňek [11, 21, 35].





***Obrázek 11: Porovnání šířených (vlevo) a nesířených (vpravo) meruněk. Převzato z: [86]***

Ze získaných výsledků studie od Igual a kol. (2012) lze vyvodit závěr, že průmyslové zpracování sušených meruněk lze zlepšit použitím mikrovlnné energie, protože se výrazně zkrátí doba sušení a získané plody měly vyšší obsah fenolických látek, zejména kyseliny chlorogenové, katechinu a epikatechinu [11, 35]. Nicméně vzhledem k tomu, že podíl těchto fenolů na antioxidační kapacitě nebyl významný, vzorky sušené v mikrovlnné troubě si zachovaly stejnou antioxidační kapacitu jako vzorky sušené na vzduchu [35].

### **3.6.3. Sušení kiwi**

Kiwi je tropické ovoce známé pro svůj vysoký obsah vitamínu C [19, 85], obsahuje ale i další důležité vitamíny (K a E), minerální látky (P, K, Mg, Fe, Ca) a fytochemikálie (polyfenolické látky, karotenoidy a vlákninu), které jsou životně důležité pro lidské zdraví [85]. Navzdory několika zdravotním přínosům mají kiwi velmi krátkou trvanlivost kvůli vysokému obsahu vlhkosti. Proto je třeba hledat různé alternativy, jak prodloužit jeho trvanlivost a kvalitu. Sušení může být jednou z relativně levných technologií, které lze použít k minimalizaci zhoršení kvality čerstvě nakrájeného kiwi [19, 85].

Nejběžnější metodou sušení je konvekční sušení. Tato metoda je rychlá, jejím hlavním omezením je však prodloužená doba sušení, která vede ke ztrátě fyzikálně-chemických a sensorických vlastností [19, 85]. Mikrovlnné sušení bylo široce studováno a ukázalo se, že je lepší v zachování různých fyzikálně-chemických parametrů než konvekční sušení, má však také určitá omezení. V současné době věnuje několik výzkumníků větší pozornost hybridní technice sušení, která využívá kombinované techniky sušení k překonání nevýhod používání jednotlivých metod sušení. Kombinace sušení horkým vzduchem a mikrovlnami je v současné době novým konceptem, který využilo několik výzkumníků při zkoumání kinetiky sušení několika druhů ovoce a zeleniny. Hybridní sušení nejen zkracuje dobu sušení oproti jednotlivým metodám sušení, ale také ve větší míře zachovává kvalitativní a sensorické parametry, které odpovídají standardům původních nezpracovaných vzorků [85].

### Vliv sušení na obsah vitamínu C v kiwi

Ke ztrátě vitamínu C dochází především v důsledku dvou důležitých faktorů, kterými jsou doba sušení a teplota [19, 85]. Sušením se ztrácí více než 70 % vitamínu C. Jednotlivé postupy sušení (konvekční a mikrovlnné) vedly k vyšším ztrátám kyseliny askorbové než u hybridního sušení, protože prodloužená doba sušení umožňuje rychlejší degradaci kyseliny askorbové. Vzhledem k tomu, že hybridní sušení zkracuje dobu sušení, výrazně zabraňuje oxidačním procesům. Výsledkem je, že hybridní sušení by mohl být inovativní postup sušení pro získání relativně kvalitních produktů [85].

#### **3.6.4. Sušení zeleného hrachu**

Hrách setý se obvykle konzumuje jako čerstvý, konzervovaný nebo mražený produkt. Zelený hrách po sklizni má obvykle vysoký obsah vlhkosti, takže sušení je nezbytné pro prodloužení jeho skladovatelnosti. Snížený obsah vody může ovlivnit chuť, barvu, nutriční hodnotu, velikost, hmotnost a tvar konečné plodiny [10].

Kaveh a kol. (2021) porovnávali sedm metod sušení zeleného hrachu. Zjistili, že lyofilizace je nejlepší z hlediska zachování kvality produktu, ale je to také nejdražší metoda sušení. Vysoce kvalitní sušený zelený hrášek lze získat také kombinovanou metodou sušení horkým vzduchem a mikrovlnami, při relativně nižší spotřebě energie a kratší době sušení [10].

### **3.7. Sušení koření a bylin**

Koření a byliny jsou rostlinné produkty nebo jejich směsi, které obohacují chuťové a sensorické vlastnosti pokrmů [38, 87-89]. Sekundární metabolity koření a bylin působí jako doplňky stravy, které posilují imunitu a bojují proti různým onemocněním [38, 89], mají totiž léčivé, antioxidační [87, 88], protizánětlivé, antivirové a antimikrobiální vlastnosti [87]. Za hlavní druhy koření se označují zázvor, kurkuma, chilli, černý pepř a kardamom, které se na obchodu s kořením podílejí přibližně ze 75-95 % [38].

Sušení je nejběžnější a neúčinnější metoda, která prodlužuje trvanlivost koření a aromatických bylin tím, že potlačuje růst mikroorganismů a zabraňuje vzniku některých reakcí, které mohou změnit jejich organoleptické a nutriční vlastnosti [87]. Čerstvé byliny obvykle obsahují 75-80 % vody a pro jejich konzervaci je třeba snížit obsah vody na méně než 15 % [88]. Sušení rostlinného materiálu navíc umožňuje výrobcí dlouhodobé skladování a snadnou manipulaci [90]. Sušení je však třeba provádět opatrně, aby se co nejvíce zachovalo aroma, vzhled a nutriční vlastnosti surových bylin [87]. Sušení může způsobit ztrátu těkavých

látek nebo vznik nových těkavých látek [20, 87, 88] v důsledku oxidačních reakcí nebo esterifikačních reakcí [87, 88].

Koření a byliny se suší různými konvenčními tepelnými i netepelnými technologiemi. V tropických oblastech je nejvíce preferováno solární sušení [38]. Dalšími technologiemi, které se obecně používají pro sušení koření a bylin, jsou infračervené sušení [38] a mikrovlnné sušení [38, 90]. Technologie tepelného sušení však mají určité nevýhody, protože mají tendenci měnit termolabilní sloučeniny a fyzikální vlastnosti (tvrdnutí obalů, smršťování, mikrostrukturu atd.) koření. Aby se zmírnily tyto obtíže, roste poptávka po netepelných technologiích (ultrazvuk, vakuum, sušení odvlhčeným vzduchem, pulzní elektrické pole atd.) [38].

Vzhledem k citlivosti koření a bylin na teplo a vlhkost podporuje zhoršení kvality především dlouhodobé vystavení zvýšeným teplotám a vlhkým klimatickým podmínkám během sušení [38, 76].

Mikrovlnné sušení je v porovnání s vakuovým sušením a lyofilizací rychlým procesem, má však tendenci způsobovat lokální spálení produktů. Lyofilizaci lze doporučit pro kvalitnější uchování tepelně citlivého koření; patří však mezi energeticky náročnější techniky. Pro zmírnění nedostatků jedné samostatné techniky se doporučuje hybridizace dvou nebo více konvenčních technologií sušení [38].

### **3.7.1. Sušení bazalky**

Bazalka pravá (*Ocimum basilicum L.*) je jednoletá aromatická bylina [87, 90] s velkým využitím v parfumerii, potravinářství, kosmetickém a farmaceutickém průmyslu [90].

Nutriční kvalita sušených listů bazalky závisí na použitém způsobu sušení [87, 90]. Speckhahn a kol. (2010) zjistili, že vystavení rostlinného materiálu vysokým teplotám při sušení na slunci a v sušičce při 60 °C vedlo k větší ztrátě těkavých silic, než u metod s nižší teplotou [90]. Danso-Boateng (2013) určil jako nejlepší metodu sušení v mikrovlnné troubě, jelikož díky rychlému procesu sušení došlo k zachování nejvýznamnějšího množství živin (bílkovin, sacharidů) ve srovnání s ostatními metodami sušení [87].

### **3.7.2. Sušení šalvěje**

Spolu s rozmarýnem lékařským (*Rosmarinus officinalis L.*) má šalvěj lékařská (*S. officinalis L.*) nejsilnější antioxidační aktivitu mezi bylinami. Hlavními účinnými antioxidačními fenolovými sloučeninami jsou fenolové kyseliny, deriváty karnosolu a flavonoidy, konkrétně

kyselina rozmarýnová, kyselina karnosová a karnosol, dále kyselina kávová, rosmanol, rosmadial, genkwanin a cirsimaritin [20].

Podle Hamrouni-Sellami a kol. (2013) by pro zachování fenolických látek a zvýšení antioxidační aktivity rostlin šalvěže mohly být upřednostněny techniky mikrovlnného a infračerveného sušení [20].

## 4. ZÁVĚR

Podstatou této bakalářské práce bylo porovnat různé způsoby sušení z pohledu jejich vlivu na obsah vybraných látek v potravinách. Sušení je jeden z nejpoužívanějších způsobů konzervace potravin, který by ale neměl mít negativní vliv na jejich kvalitu. Mezi nejpoužívanější metody sušení patří horkovzdušné, solární, rozprašovací, mikrovlnné, vakuové, infračervené sušení, lyofilizace a také jejich různé kombinace.

Jednoznačně určit nejlepší metodu sušení potravin není snadné, jelikož každá látka je citlivá na jiné podmínky. Některé degradují při vysokých teplotách, jiné více ovlivňuje délka sušení. Navíc každá metoda sušení má své výhody a omezení. Obecně však lze konstatovat, že sušení horkým vzduchem má na většinu látek negativní účinky a při sušení dochází k poklesu nebo degradaci jejich obsahu. Naopak lyofilizace se většině případů ukazuje jako jedna z nejlepších metod z pohledu zachování nutričních vlastností, je však značně ekonomicky náročná. V posledních letech se začínají více využívat hybridní metody sušení, které kombinují dvě a více běžných metod. Hybridní metody sušení využívají výhody použitých metod a snaží se naopak eliminovat jejich nevýhody, které se vyskytují při jejich samostatném použití.

Sušení potravin je oblast potravinářského průmyslu, která vyžaduje neustálý výzkum a hledání ideálních metod sušení a jejich kombinací, které dokážou zachovat původní vlastnosti potravin, zajistit tak jejich vysokou kvalitu a zároveň minimalizovat náklady na sušení.

## 5. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] SANTANA A.A., DE OLIVEIRA R.A., PINEDO A.A., KUROZAWA L.E., PARK K.J., Microencapsulation of babassu coconut milk. *Food science and technology*, **33** (4), 2013, 737-744. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013000400020>.
- [2] DONG W., HU R., LONG Y., et al., Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose, electronic tongue and HS-SPME-GC-MS. *Food chemistry*, **272**, 2019, 723-731. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.068>.
- [3] ONWUDE D.I., HASHIM N., ABDAN K, et al., Modelling of coupled heat and mass transfer for combined infrared and hot-air drying of sweet potato. *Journal of food engineering*, **228**, 2018, 12-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.02.006>.
- [4] IRANSHAHI K., RUBINETTI D., ONWUDE D.I., et al., Electrohydrodynamic drying versus conventional drying methods: A comparison of key performance indicators. *Energy conversion and management*, **279**, 2023, 116661. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116661>.
- [5] BELESSIOTIS V., DELYANNIS E., Solar drying. *Solar energy*, **85** (8), 2011, 1665-1691. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.001>.
- [6] AN K., ZHAO D., WANG Z., et al., Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale Roscoe*): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food chemistry*, **197**, 2016, 1292-1300. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.033>.
- [7] MAISNAM D., RASANE P., DEY A., KAUR S., SARMA CH., Recent advances in conventional drying of foods. *Journal of food technology and preservation*, **1** (1), 2017, 25-34.
- [8] DONG W., HU R., CHU Z., ZHAO J., TAN L., Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of robusta coffee beans. *Food chemistry*, **234**, 2017, 121-130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.156>.
- [9] ADAK N., HEYBELI N., ERTEKIN C., Infrared drying of strawberry. *Food chemistry*, **219**, 2017, 109-116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.103>.

- [10] KAVEH M., ABBASPOUR-GILANDEH Y., FATEMI H., CHEN G., Impact of different drying methods on the drying time, energy, and quality of green peas. *Journal of food processing and preservation*, **45** (6), 2021, 15503. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.15503>.
- [11] İNCEDAYI B., TAMER C.E., SINIR G.Ö. SUNA S., ÇOPUR Ö.U., Impact of different drying parameters on color,  $\beta$ -carotene, antioxidant activity and minerals of apricot (*Prunus armeniaca L.*). *Food science technology*, **36** (1), 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.0086>.
- [12] DINANI S.T., HAMDAMI N., SHAHEDI M., HAVET M., Mathematical modeling of hot air/electrodynamic (EHD) drying kinetics of mushroom slices. *Energy conversion and management*, **86**, 2014, 70-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.010>.
- [13] HUANG N.F., CHOU D.L., LEE C.A., Smart agriculture: real-time classification of green coffee beans by using a convolutional neural network. *IET Smart Cities*, **2**, 2020, 167-172. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-smc.2020.0068>.
- [14] SEHRAWAT R., NEMA P.K., PAL KAUR B., Effect of superheated steam drying on properties of foodstuffs and kinetic modeling. *Innovative food science & emerging technologies*, **34**, 2016, 285-301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.02.003>.
- [15] SEHRAWAT R., NEMA P.K., PAL KAUR B., Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air drying methods, *LWT*, **92**, 2018, 548-555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.012>.
- [16] ROSHANAK S., RAHIMMALEK M., GOLI S.A.H., Evaluation of seven different drying treatments in respect to total flavonoid, phenolic, vitamin C content, chlorophyll, antioxidant activity and color of green tea (*Camellia sinensis* or *C. assamica*) leaves. *Journal of food science and technology*, **53**, 2016, 721-729. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2030-x>.
- [17] INYANG U.E., OBOH I.O., ETUK B.R., Kinetic models for drying techniques – food materials. *Advances in chemical engineering and science*, **8**, 2018, 27-48. DOI: [10.4236/aces.2018.82003](https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003).
- [18] MONTEIRO R.L., CARCIOFI B.A.M., MARSAIOLI A. JR., LAURINDO J.B., How to make a microwave vacuum dryer with turntable. *Journal of food engineering*, **166**, 2015, 276-284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.029>.

- [19] ORIKASA T., KOIDE S., OKAMOTO S., et al., Impacts of hot air and vacuum drying on the quality attributes of kiwifruit slices. *Journal of food engineering*, **125**, 2014, 51-58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.027>.
- [20] HAMROUNI-SELLAMI I., RAHALI F.Z., REBEY I.B., et al., Total phenolics, flavonoids, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis L.*) plants as affected by different drying methods. *Food and bioprocess technology*, **6**, 2013, 806-817. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0877-7>.
- [21] FRATIANNI A., ALBANESE D., MIGNOGNA R., et al., Degradation of carotenoids in apricot (*Prunus armeniaca L.*). *Plant foods for human nutrition*, **68**, 2013, 241-246. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0369-6>.
- [22] MUJUMDAR A.S., LAW C.L., Drying technology: Trends and applications in postharvest processing. *Food and bioprocess technology*, **3**, 2010, 843-852. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0353-1>.
- [23] ANLI E.A., Possibilities for using microwave-vacuum drying in Lor cheese production. *International dairy journal*, **102**, 2020, 104618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104618>.
- [24] POLAT A., SAT IG., ILGAZ S, Comparison of black tea volatiles depending on the grades and different drying temperatures. *Journal of food processing and preservation*, **42** (7), 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13653>.
- [25] SHAMS R., SINGH J., DASH K.K., DAR A.H., Comparative study of freeze drying and cabinet drying of button mushroom. *Applied food research*, **2** (1), 2022, 100084. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100084>.
- [26] LI M., ZHU K., GUO X., PENG W., ZHOU H., Effect of water activity (aw) and irradiation on the shelf-life of fresh noodles. *Innovative food science & emerging technologies*, **12** (4), 2011, 526-530. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.06.005>.
- [27] CHITRAKAR B., ZHANG M., BHANDARI B., Novel intelligent detection of water activity by LF-NMR spectra for selected fruits and vegetables during drying. *Food and bioprocess technology*, **12**, 2019, 1093-1101. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02278y>.



- [28] PANKYAMMA V., MOKAM S.Y., DEBBARMA J., RAO B M., Effect of microwave vacuum drying and conventional drying methods on the physicochemical and microstructural properties of squid shreds. *Journal of the science of food and agriculture*, **99** (13), 2019, 5778-5783. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9846>.
- [29] SCHÖSSLER K., JÄGER H., KNORR D., Novel contact ultrasound system for the accelerated freeze-drying of vegetables. *Innovative food science & emerging technologies*, **16**, 2012, 113-120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.05.010>.
- [30] RADOIU M., Microwave drying process scale-up. *Chemical engineering and processing – process intensification*, **155**, 2020, 108088. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108088>.
- [31] ALONZO-MACÍAS M., CARDADOR-MARTÍNEZ C., MOUNIR S., MONTEJANO-GAITÁN G., ALLAF K., Comparative study of the effects of drying methods on antioxidant activity of dried strawberry (*Fragaria* var. Camarosa). *Journal of food research*, **2** (2), 2013, 92-104. DOI: [doi:10.5539/jfr.v2n2p92](https://doi.org/10.5539/jfr.v2n2p92).
- [32] TIAN Y., ZHAO Y., HUANG J., ZENG H., ZHENG B., Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. *Food chemistry*. **197**, 2016, 114-122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.029>.
- [33] MOTEVALI A., MINAEI S., BANAKAR A., GHOBADIAN B., KHOSHTAGHAZA M.H., Comparison of energy parameters in various dryers. *Energy conversion and management*, **87**, 2014, 711-725. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.012>.
- [34] MOHANA Y., MOHANAPRIVA R., ANUKIRUTHIKA T., Solar dryers for food applications: Concepts, designs, and recent advances. *Solar energy*, **208**, 2020, 321-344. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.098>.
- [35] IGUAL M., GARCÍA-MARTÍNEZ E., MARTÍN-ESPARZA M.E., MARTÍNEZ-NAVARRETE N., Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. *Food research international*, **47** (2), 2012, 284-290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.019>.
- [36] AMER B.M.A., HOSSAIN M.A., GOTTSCHALK K., Design and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana. *Energy conversion and management*, **51** (4), 2010, 813-820. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.11.016>.

- [37] DEMISSIE P., HAYELOM M., KASSAYE A., et al., Design, development and CFD modeling of indirect solar food dryer. *Energy procedia*, **158**, 2019, 1128-1134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.278>.
- [38] MAJUMDER P., SINHA A., GUPTA R., et al., Drying of selected major spices: characteristics and influencing parameters, drying technologies, quality retention and energy saving, and mathematical models. *Food and bioprocess technology*, **14**, 2021, 1028-1054. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02646-7>.
- [39] MING J.L.K., ANUAR M.S., HOW M.S., NOOR S.B.M., ABDULLAH Z., TAIP F.S., Development of an artificial neural network utilizing particle swarm optimization for modeling the spray drying of coconut milk. *Foods*, **10** (11), 2021, 2708. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112708>.
- [40] LISBOA H.A., DUARTE M.E., CAVALCANTI-MATA M.E., Modeling of food drying processes in industrial spray dryers. *Food and bioprocess processing*, **107**, 2018, 49-60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.09.006>.
- [41] AFOAKWAH A.N., ADOMAKO C., OWUSU J., ENGMAN N.F., HANNAH A.A., Spray drying as an appropriate technology for the food and pharmaceutical industries – a review. *Journal of environmental science, computer science and engineering & technology*, **1**, 2013, 467-476.
- [42] ARPAGAUS C., COLLENBERG A., RÜTTI D., ASSADPOUR E., MAHDI JAFARI S., Nano spray drying for encapsulation of pharmaceuticals. *International journal of pharmaceuticals*, **546**, 2018, 194-214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.05.037>.
- [43] FATIMAH F., GUGULE S., TALLEI T.E., Characteristic of coconut milk powder made by variation of coconut-water ratio, concentration of tween and guar gum. *Journal of applied sciences research*, **13** (6), 2017, 34-44.
- [44] HORUZ E., BOZKURT H., KARATAS H., MASKAN M., Effects of hybrid (microwave-conventional) and convectional drying on drying kinetics, total phenolics, antioxidant capacity, vitamin C, color and rehydration capacity of sour cherries. *Food chemistry*, **230**, 2017, 295-305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.046>.
- [45] MOTEVALI A., MINAEI S., KHOSHTAGAZA M.H., Evaluation of energy consumption in different drying methods. *Energy conversion and management*, **52** (2), 2011, 1192-1199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.014>.

- [46] PARIKH D.M., Vacuum drying: basics and application. *Chemical engineering*, **1**, 2015, 48-54.
- [47] QU F., ZHU X., AI Z., AI Y., QIU F., NI D., Effect of different drying methods on the sensory quality and chemical components of black tea. *LWT*, **99**, 2019, 112-118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.036>.
- [48] DAS I., ARORA A., Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. *Journal of food engineering*, **223**, 2018, 208-219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.018>.
- [49] LIN X., ZHANG L., LEI H., Effect of drying technologies on quality of green tea. *International agricultural engineering journal*, **19** (3), 2010, 30-37.
- [50] BÓRQUEZ R, MÊLO D., SAAVEDRA C, Microwave-vacuum drying of strawberries with automatic temperature control. *Food and bioprocess technology*, **8**, 2015, 266-276. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1400-0>.
- [51] WU X-F., ZHANG M., BHANDARI B., A novel infrared freeze drying (IFRD) technology to lower the energy consumption and keep the quality of *Cordyceps militaris*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **54**, 2019, 34-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.03.003>.
- [52] PEI F., YANG W.J., SHI Y., et al., Comparison of freeze-drying with three different combinations of drying methods and their influence on colour, texture, microstructure and nutrient retention of button mushroom (*Agaricus bisporus*) slices. *Food and bioprocess technology*, **7**, 2014, 702-710. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1058-z>.
- [53] PEI F., SHI Y., GAO X., et at., Changes in non-volatile taste components of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during different stages of freeze drying combined with microwave vakuuun drying. *Food chemistry*, **165**, 2014, 547-554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.130>.
- [54] ZAFISAH N.S., YUSOF Y.A., ALI M.A., ROSLAN N.S., TAHIR A., AZIZ M.G., CHIN N.L., Processing of raw coconut milk for its value addition using spray and freeze drying techniques. *Journal of food process engineering*, **41** (1), 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12602>.

- [55] AYDIN E.S., YUCEL O., SADIKOGLU H., Modelling and simulation of a moving interface problem: freeze drying of black tea extract. *Heat and mass transfer*, **53**, 2017, 2143-2154. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00231-017-1974-y>.
- [56] SILVA-ESPINOZA M.A., AYED C., FOSTER T., CAMACHO M.M., MARTÍNEZ-NVARRETE N., The impact of freeze-drying conditions on the physico-chemical properties and bioactive compounds of a freeze-dried orange puree. *Foods*, **9**, 2019, 32. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9010032>.
- [57] LOPEZ-QUIROGA E., ANTELO L.T., ALONSO A.A., Time-scale modeling and optimal control of freeze-drying. *Journal of food engineering*, **111** (4), 2012, 655-666. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.001>.
- [58] MALIK N., GOUSETI O., BAKALIS S., Effect of freezing on microstructure and reconstitution of freeze-dried solid hydrocolloid-based systems. *Food hydrocolloids*, **83**, 2018, 473-484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.008>.
- [59] BHATTA S., STEVANOVIC JANEZIC T., RATTI C., Freeze-drying of plant-based foods. *Foods*, **9**, 2020, 87. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9010087>.
- [60] LIU Q., BAU T., JIN R., et al., Comparison of different drying techniques for shiitake mushroom (*Lentinus edodes*): Changes in volatile compounds, taste properties, and texture qualities. *LWT*, **164**, 2022, 113651. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113651>.
- [61] KULAPICHITR F., BOROMPICHAICHARTKUL C., SUPPAVORASATIT I., CADWALLADER K.R., Impact of drying process on chemical composition and key aroma components of Arabica coffee. *Food chemistry*, **291**, 2019, 49-58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.152>.
- [62] KUDRA T., MARTYNENKO A., Energy aspects in electrohydrodynamic drying. *Drying technology*, **33** (13), 2015, 1534-1540. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1009540>.
- [63] KUMAR A., SINGH M., SINGH G., Effect of different pretreatments on the quality of mushrooms during solar drying. *Journal of Food Science and Technology*, **50**, 2013, 165-170. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0320-5>.
- [64] LEI X., XIANGJUN F., WEIJIE W., et al., Effects of high-temperature pre-drying on the quality of air-dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). *Food chemistry*. **285**, 2019, 406-413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.179>.

- [65] IZLI N., ISIK E., Effect of different drying methods on drying characteristics, colour and microstructure properties of mushroom. *Journal of Food and Nutrition Research*, **53**, 2014, 105-116.
- [66] POLITOWICZ J., LECH K., LIPAN L., FIGIEL A., CARBONELL-BARRACHINA A.A., Volatile composition and sensory profile of shiitake mushrooms as affected by drying method. *Journal of the science of food and agriculture*, **98** (4), 2018, 1511–1521. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8622>.
- [67] FOROUTAN A., GUO A.C.H., VAZQUEZ-FRESNO R., et al., Chemical composition of commercial cow's milk. *Journal of agricultural and food chemistry*, **67** (17), 2019, 4897-4914. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00204>.
- [68] LE H.D., LE V.V.M., Application of ultrasound to microencapsulation of coconut milk fat by spray drying method. *Journal of food science and technology*, **52**, 2015, 2474-2478. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1285-y>.
- [69] SULIEMAN AME., ELAMIN OM., ELKHALIFA EA., LALEYE L., Comparison of physicochemical properties of spray-dried camel's milk powder. *International journal of food science and nutrition engineering*, **4** (1), 2014, 15-19. DOI: 10.5923/j.food.20140401.03.
- [70] DUANGCHUEN J., PATHAVEERAT S., JERMWONGRUTTANACHAI P. NOYPITAK S., Effect of spray drying air temperature to the changes of properties of skommed coconut milk powder. *Applied science and engineering process*, **14** (2), 2021, 187-195. DOI: 10.14416/j.asep.2020.04.009.
- [71] YE F., QIAO X., WANG S., LIU P, et al., Metabolomics provides a novel interpretation of the changes in main compounds during black tea processing through different drying methods. *Molecules*, **26** (21), 2021, 6739. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26216739>.
- [72] DONLAO N., OGAWA Y., The influence of processing conditions on catechin, caffeine and chlorophyll contents of green tea (*Camelia sinensis*) leaves and infusions. *LWT*, **116**, 2019, 108567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108567>.
- [73] YE F., QIAO X., GUI A., et al., Metabolomics provides a novel interpretation of the changes in main compounds during black tea processing through different drying methods. *Molecules*, **26**, 2021, 6739. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26216739>.

- [74] YILMAZ C., ÖZDEMİR F., GÖKMEN V., Investigation of free amino acids, bioactive and neuroactive compounds in different types of tea and effect of black tea processing. *LWT*, **117**, 2020, 108655. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108655>.
- [75] DASDEMİR Y., FINDIK B.T., YILDIZ H., BIRISCI E., Blueberry-added black tea: Effects of infusion temperature, drying method, fruit concentration on the iron-polyphenol complex formation, polyphenols profile, antioxidant activity, and sensory properties. *Food chemistry*, **410**, 2023, 135463. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135463>.
- [76] GÜMÜSAY Ö.A., BORAZAN A.A., ERCAL N., DEMIRKOL O., Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. *Food chemistry*, **174**, 2015, 156-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.162>.
- [77] ALKALTHAM M.S., SALAMATULLAH A. HAYAT K. Determination of coffee fruit antioxidants cultivated in Saudi Arabia under different drying conditions. *Food Measure*, **14**, 2020, 1306-1313. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00378-4>.
- [78] SUKIRI A.N.B.M., TAN A.S.T., HUEY NG C., et al., Drying characteristics and nutritive analysis of coffee beans under different drying methods. *Transaction on science and technology*, **8**, 2020, 439-444.
- [79] KLIKAROVÁ J., ČESLOVÁ L., Targeted and non-targeted HPLC analysis of coffee-based products as effective tools for evaluating the coffee authenticity. *Molecules*, **27**, 2022, 7419. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27217419>.
- [80] SHI S., KONG B., WANG Y., LIU Q., XIA X., Comparison of the quality of beef jerky processed by traditional and modern drying methods from different districts in Inner Mongolia. *Meat science*, **163**, 2020, 108080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108080>.
- [81] LIM DG., LEE SS., SEO KS., NAM KC., Effects of different drying methods on quality traits of hanwoo beef jerky from low-valued cuts during storage. *Food science of animal resources*. **32** (5), 2012, 531-539. DOI: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.5.531>.
- [82] SHI S., FENG J., AN G., et al., Dynamics of heat transfer and moisture in beef jerky during hot air drying. *Meat Science*, **182**, 2021, 108638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108638>.

- [83] SPECKHAHN A., SRZEDNICKI G., DESAI D.K., Drying of beef in superheated steam. *Drying technology*, **28**, 2010, 1072-1082. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.505547>.
- [84] MÉNDEZ-LAGUNAS L., RODRIGUEZ-RAMIREZ J., CRUZ-GRACIDA M., Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food chemistry*, **230**, 2017, 174-181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.010>.
- [85] BHAT T.A., HUSSAIN S.Z., WANI S.M., et al., The impact of different drying methods on antioxidant activity, polyphenols, vitamin C and rehydration characteristics of Kiwifruit. *Food bioscience*, **48**, 2022, 101821. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101821>.
- [86] Sulfur Dioxide – is it good for me? In: *Lilsipper* [online], 2021 [cit. 2023-06-20]. Dostupné z: <https://www.lilsipper.com/sulfur-dioxide-is-it-good-for-me/>.
- [87] DANSO-BOATENG E., Effect of drying methods on nutrient quality of Basil (*Ocimum viride*) leaves cultivated in Ghana. *International food research journal*, **20** (4), 2013, 1569-1573.
- [88] HOSSAIN M.B., BARRY-RYAN C., MARTIN-DIANA A.B., BRUNTON, Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs. *Food chemistry*, **123** (1), 2010, 58-91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.003>.
- [89] NAGY T.O., SOLAR S., SONTAG G., KOENIG J., Identification of phenolic components in dried spices and influence of irradiation. *Food chemistry*, **128** (2), 2011, 530-534. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.037>.
- [90] HASSANPOURAGHDAM M.B., HASSANI A., VOJODI L., FARSAD-AKHTAR N., Drying Method Affects Essential Oil Content and Composition of Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, **13** (6), 2010, 759-766. DOI: [10.1080/0972060X.2010.10643892](https://doi.org/10.1080/0972060X.2010.10643892).