

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO–TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Eva Liscová

2024

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko–technologická

Adsorpce vlhkosti u ovocných lyofilizovaných prášků

Bakalářská práce

Prohlašuji:

Práci s názvem Adsorpce vlhkosti u ovocných lyofilizovaných prášků jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen 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 25. 6. 2024

Eva Liscová

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Eva Liscová**  
Osobní číslo: **C21093**  
Studijní program: **B0531A130024 Hodnocení a analýza potravin**  
Téma práce: **Adsorpce vlhkosti u ovocných lyofilizovaných prášků**  
Téma práce anglicky: **Moisture adsorption of fruit freeze-dried powders**  
Zadávající katedra: **Katedra analytické chemie**

## Zásady pro vypracování

1. Vypracujte ucelený text o sorpci vlhkosti u potravin (adsorpce, desorpce, hystereze, teplotní závislost, tvorba izoterem, aplikace vybraných matematických modelů). Popište princip a výhody lyofilizace rostlinných produktů ve srovnání se sušením při vyšších teplotách. S využitím odborné literatury popište chemické složení (nutriční vlastnosti) použitých vzorků.
2. Stanovte průběh adsorpce a desorpce vlhkosti u vybraných vzorků metodou dynamické sorpce vodních par.
3. Pokuste se najít vztah mezi získanými výsledky a obsahem základních nutričních složek (in-formace od výrobce). V rámci diskuze využijte data z odborné literatury.

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

Seznam doporučené literatury:

Podle pokynů vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D.**  
Katedra analytické chemie

Datum zadání bakalářské práce: **7. února 2024**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2024**

**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 2024

## Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Liborovi Červenkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady, vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce. Velké díky také patří analytické katedře za poskytnutí prostor a přístrojů ke zhotovení mé praktické části.

## Anotace

Tato bakalářská práce se zaměřuje na analýzu lyofilizovaných ovocných prášků z hlediska obsahu vlhkosti, aktivity vody a adsorpce vlhkosti. V teoretické části jsou popsány jak klasické, tak moderní metody získávání práškového materiálu z ovoce. Součástí je také charakteristika použitých vzorků (plody aronie, šípku, černého rybízu, jeřábu a rakytníku). V experimentální části byly změřeny hodnoty aktivity vody, obsahu vlhkosti a adsorpční izotermy při 25 °C. Prášek z čerstvě lyofilizovaných plodů měl aktivitu vody menší než 0,5 a obsah vlhkosti nepřesáhnul 6 %. Při skladování je však potřeba zajistit stabilní vlhkost prostředí, neboť při vlhkosti vyšší než 60 % vykazovaly vzorky silné hygroskopické vlastnosti s výjimkou rakytníku.

## Klíčová slova

Dynamická sorpce par, vlhkost, aktivita vody, skladování

## Title

Moisture adsorption in fruit freeze-dried powders

## Annotation

This bachelor's thesis focuses on the analysis of lyophilized fruit powders in terms of moisture content, water activity, and adsorption properties. The theoretical section describes both classical and modern methods for obtaining powdered material from fruit. It also includes a characterization of the samples used (aronia, rosehip, blackcurrant, rowanberry, and sea buckthorn). In the experimental section, water activity values, moisture content, and adsorption isotherms were determined. The powder from freshly lyophilized fruits had a water activity below 0.5 and a moisture content not exceeding 6%. When storing, however, it is necessary to ensure a stable humidity environment, as samples exhibited strong hygroscopic properties with exception of sea buckthorn powder at humidity levels higher than 60 %.

## Keywords

Dynamic moisture sorption, humidity, water activity, storage

# Obsah

Seznam ilustrací .....	10
Seznam tabulek .....	11
Seznam zkratk .....	12
Úvod.....	13
1 Teoretická část .....	14
1.1 Aktivita vody .....	14
1.1.1 Aktivita vody v potravinách .....	16
1.1.2 Sorpční izotermy .....	17
1.2 Sušení.....	21
1.2.1 Sušení při vyšších teplotách.....	23
1.2.2 Sušení při nízkých teplotách .....	25
1.3 Prášky.....	29
1.3.1 Procesy a technologie výroby prášků .....	30
1.4 Analyzované vzorky .....	33
1.4.1 Černý rybíz .....	33
1.4.2 Temnoplodec černoplodý .....	34
1.4.3 Růže šípková.....	35
1.4.4 Jeřáb .....	37
1.4.5 Rakytník řešetlákový .....	39
2 Experimentální část .....	40
2.1 Přístroje a zařízení .....	40
2.1.1 AquaLab TDL .....	40
2.1.2 Analyzátor vlhkosti KERN MLB 50-3 .....	41
2.1.3 DVS Intrinsic PLUS .....	42
2.2 Příprava vzorků.....	43
2.3 Postupy.....	44



2.3.1	Aktivita vody .....	44
2.3.2	Sušina.....	44
2.3.3	Sorpční izotermy.....	45
3	Výsledky a diskuze.....	46
3.1	Aktivita vody a obsah vlhkosti prášku z lyofilizovaných plodů.....	46
3.2	Adsorpční izotermy prášku z lyofilizovaných plodů.....	46
4	Závěr.....	48
5	Literatura .....	49

## Seznam ilustrací

Obrázek 1 Obecná sorpční izoterma potravin (obrázek autora) .....	18
Obrázek 2 Tvary sorpčních izoterm (Inglezakis et al. 2018).....	18
Obrázek 3 Detail sorpční izotermy (obrázek autora).....	19
Obrázek 4 Hystereze při absorpenci a desorpci vody (Berk 2018b) .....	20
Obrázek 5 Typy hysterezních smyček (Caurie 2007) .....	21
Obrázek 6 Fázový diagram vody (Ratti 2013).....	27
Obrázek 7 Jednocyklový proces lyofilizace (Ratti 2013).....	28
Obrázek 8 Rybíz černý (fotka autora).....	33
Obrázek 9 Temnoplodec černoplodý (Láníková, 2021) .....	35
Obrázek 10 Růže šípková (Holubová, 2010).....	36
Obrázek 11 Jeřáb ptačí (Glaser, 2011) .....	38
Obrázek 12 Rakytník (Michalcová, 2013).....	39
Obrázek 13 Popis přístroje AquaLab TDL (fotka autora).....	41
Obrázek 14 KERN MLB 50-3 (fotka autora) .....	42
Obrázek 15 DVS Intrinsic PLUS (fotka autora).....	43

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Obsah vody v potravinách (Velíšek 2002c; Berk 2018b) .....	14
Tabulka 2 Hodnoty vodní aktivity pro různé mikroorganismy (Zeece 2020) .....	16
Tabulka 3 Aktivita vody jednotlivých potravin (Grant 2004; Berk 2018a) .....	17
Tabulka 4 Charakteristika jednotlivých prášků (Bhandari 2013) .....	30
Tabulka 5 Průměrné velikosti částic při různých procesech sušení rozprašováním (Woo a Bhandari 2013) .....	31
Tabulka 6 Složení lyofilizovaných prášků .....	44

## Seznam zkratek

$a_w$  – aktivita vody

RRV – rovnovážná relativní vlhkost

BET – Brunauer, Emmet a Telle

GAB – Guggenheim–Anderson–de Boer

IR – infračervené záření

NIR – blízké infračervené záření

MIR – střední infračervené záření

FIR – vzdálené infračervené záření

## Úvod

Práce se věnuje tématu adsorpce vlhkosti u ovocných lyofilizovaných prášků. Prášek je definován jako drobné pevné částice nebo granule, které jsou obvykle suché a mají jemnou nebo hrubou strukturu. Prášky jsou výsledkem dehydratace potravin, kdy se odstraňuje voda z materiálu. Vysušený produkt je možno dále upravit na požadovanou velikost částic pomocí mletí, drcení, nebo otěru. Vysušení lze provést pomocí mnoha sušících technik, kam patří lyofilizace, bubnové sušení, mikrovlnné, sušení, infračervené sušení, solární sušení, sušení sprejem a sušení pod přímým sluncem. V porovnání s jinými metodami se jeví jako nejúčinnější metoda lyofilizace, neboli sušení mrazem. Mezi její výhody patří zachování biologické aktivity, zachování vzhledu a struktury, dlouhodobá stabilita, nebo snížení objemu a hmotnosti. Hlavní otázkou je zhodnotit jak ovlivňují hodnoty aktivity a obsahu vody kvalitu lyofilizovaných prášků, respektive kvalitu procesu lyofilizace. Aktivita vody označuje schopnost vody reagovat s jinými látkami nebo prostředím, dále určuje odolnost potravin v vůči mikroorganismům či rychlost kterou probíhají biochemické a chemické reakce v potravine.

Vysušený materiál je většinou citlivý na změny ve vlhkosti prostředí. Při adsorpci vlhkosti práškového materiálu mohou být podstatně změněny jeho funkční vlastnosti nebo se může stát náchylný k mikrobiální degradaci. Pro volbu správných skladovacích podmínek je tedy znalost sorpčních izoterm klíčová.

Cílem této práce je zjistit adsorpční izotermy lyofilizovaných ovocných prášků a vytvořit doporučení pro jejich ideální skladovací podmínky.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Aktivita vody

Voda je jedna z nejhojněji zastoupených sloučeniny v atmosféře a slouží ke správnému fungování živých organismů. Pro své fyzikálně-chemické vlastnosti vody se uplatňuje především v tepelném hospodářství organismu, jako transportní médium živin, respiračních plynů a produktů metabolismů, dále jako rozpouštědlo, disperzní prostředí a reaktant účastnící se mnoha reakcí (Reid a Fennema 2008).

Obsah vody v potravinách (viz. tabulka 1) je velmi různorodý a má důležitou roli při kvalitě a stabilitě potravin, jelikož dochází ke vzájemnému působení s jinými molekulami a ovlivňuje jejich konformaci, pohyblivost a funkčnost (Li et al. 2011). Voda v potravinách nabývá hodnot od 50 % do 90 %, zbytek nevodné části v potravinách se nazývá sušina. Podle množství vody v potravinách se dělí na potraviny s vysokým, středním a nízkým obsahem vody. Aktivita vody má větší vliv na degradaci a kažení materiálu než obsah vody (Velíšek 2002c).

*Tabulka 1 Obsah vody v potravinách (Velíšek 2002c; Berk 2018b)*

<b>Potravina</b>	<b>Obsah vody (%)</b>
Okurka	95–96
Rybí maso	65–81
Kravné mléko	87–91
Olej, sádlo	0–0,5
Ovoce, džusy	81–94
Zeleniny	60–93
Luštěniny	10–12
Ořechy	3–6
Sušené mléko	3–4

Obsah vody v potravinách a jejich surovinách se mění při všech způsobech skladování a při technologických postupech. Skladováním potravin a surovin v obalech může dojít k vysychání. Dále se může zvýšit obsah vody u vlhcnoucích potravin (dehydratované potraviny) ve vlhkém prostředí. Po tepelných úpravách potravin (smažení, pečení, sušení, pražení a další) dochází ke snížení obsahu vody, kdy každá úprava odebere z potravin jiné množství vody (viz. tabulka 1) Zmrazování a rozmrazování jsou nežádoucí pochody při ztrátě vody. Ztráty těchto procesů

závisí především na jejich rychlosti. Při pomalém procesu dochází k vyšším ztrátám než u rychlého zmrazování a rozmrazování, kvůli narušení buněk velkými krystaly ledu (Velíšek 2002c).

Obsah vody v potravinách nemá významný vliv na odolnost vůči mikroorganismům ani na biochemické a chemické reakce v nich probíhající, tudíž je důležitějším faktorem dostupnost vody než samotný obsah vody v potravinách. Dostupnost vody je úzce spjatá s interakcemi probíhajícími v potravinách (Velíšek 2002a). V potravinách je možné identifikovat tři různé druhy vody. První typ zahrnuje silně vázané molekuly vody, které mají sníženou pohyblivost a nelze je odstranit sušením. Molekuly vody, které nejsou pevně vázané, jsou přitahovány chemickými silami, jako jsou vodíkové vazby a ion-dipólové interakce k rozpuštěným látkám v potravinách. Méně silně vázaná kategorie zahrnuje molekuly zachycené v kapilárních prostorech. Třetí skupinu tvoří molekuly vody, které nejsou vázány na molekuly rozpuštěné látky a označují se jako volná voda (Zeece 2020).

Aktivita vody je jedna z termodynamických vlastností. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, nabývající hodnot od 0 do 1, přičemž čistá destilovaná voda dosahuje nejvyšších hodnot aktivity vody rovno jedné. Na aktivitu vody má teplota zásadní vliv, přičemž vyšší teplota potravin způsobuje zvýšení jejich vodní aktivity (Zeece 2020). U aktivity vody se sleduje množství volné vody v potravinách, nebo v materiálech. Obsah volné vody slouží ke zjištění chemických reakcí probíhajících ve vzorku a výskytu mikroorganismů (Görner a Valík 2004).

Aktivitu vody lze vypočítat podle Raoultova zákona, který je definován jako poměr parciálního tlaku vodních par nad potravinou ku parciálnímu tlaku vodních par nad čistou vodou, podle rovnice:

$$a_w = \frac{p_w}{p_w^0} \quad (1)$$

Parciální tlak vodních par na potravinou je vždy nižší než parciální tlak vodních par nad čistou vodou (Esteban a Marcos 1990).

Vynásobením aktivity vody faktorem 100 se získá hodnota rovnovážné relativní vlhkosti v procentech.

$$RRV = a_w \cdot 100 = \% \quad (2)$$

Mikroorganismy se mohou množit a růst pouze v určitém rozsahu hodnot vodní aktivity (viz. tabulka 2), přičemž pro každý druh se mohou přípustné hodnoty lišit. Obecně však platí, že velká část mikroorganismů se není schopná rozmnožovat a růst pod hodnotu  $a_w$  0,6 (Ijabadeniyi a Pillay 2017).

Tabulka 2 Hodnoty vodní aktivity pro různé mikroorganismy (Zeece 2020)

Skupina mikroorganismů	Aktivita vody ( $a_w$ )
<i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomona</i>	0,95
<i>Salmonella</i> , <i>Clostridium botulinum</i>	0,91
Mnoho kvasinek, <i>Candida</i> , <i>Turolopsis</i>	0,87
<i>Saccharomyces</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	0,80
Mnoho halofilních bakterií,	0,75
Osmofilní kvasinky	0,50–0,60

### 1.1.1 Aktivita vody v potravinách

Aktivita vody v potravinách (viz. tabulka 3) je úzce spjatá s růstem mikroorganismů a s většinou degradačních reakcí enzymatické, chemické a fyzikální povahy. Dále má zásadně vliv na organoleptické vlastnosti, kam patří chuť, textura, vůně a barva. Potraviny s vysokými hodnotami aktivity vody obsahují velké množství mikroorganismů, proto je u potravin žádoucí snížit aktivitu vody. Tímto snížením se zamezí růstu mikroorganismů a mikrobiálnímu kažení, to je velmi důležité při konzervování potravin (Görner a Valík 2004).

Snížení aktivity vody v potravinách lze dosáhnout několika způsoby. Jedním z nich je přidání rozpouštědel, jako je sůl nebo cukr. Další metodou je proces dehydratace, při kterém se voda odstraňuje mrazením nebo odpařováním. Dále do této skupiny lze zařadit zahušťování, konzervování a odvodňování odstředivkou (Grant 2004).



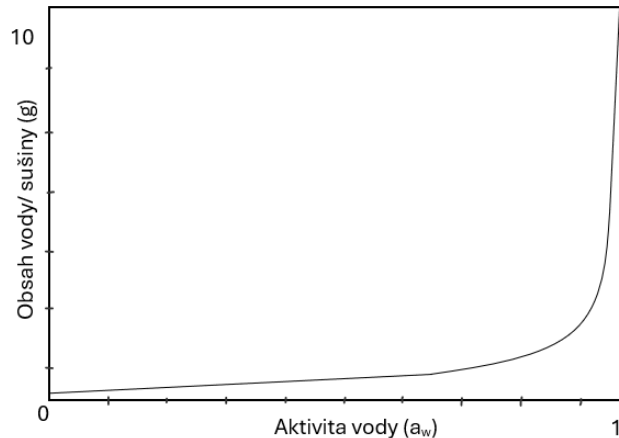
Tabulka 3 Aktivita vody jednotlivých potravin (Grant 2004; Berk 2018a)

Aktivita vody	Potravina
1–0,95	Čerstvé ovoce a zelenina, vejce, ryby
0,95–0,90	polotvrdé sýry, solené ryby
0,90–0,80	Bílý chléb, sušená šunka, máslo
0,80–0,70	Javorový sirup, solené ryby, želé
0,70–0,60	Džem, sušené ovoce, zavařeniny
0,60–0,50	Med, čokoláda
0,40	Kakao, mandle
0,30	Sušenky, bramborové lupínky
0,20	Sušené mléko

Skoro u všech čerstvých potravin se aktivita vody pohybuje v hodnotách 0,95–0,99, při této aktivitě dochází k růstu mnoha mikroorganismů.

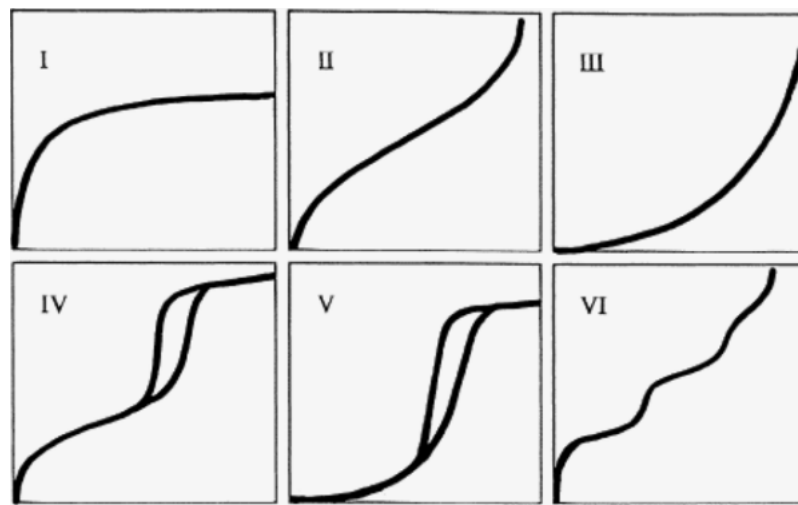
### 1.1.2 Sorpční izotermy

Sorpční izotermy, společně s aktivitou vody, patří mezi faktory určující kvalitu vody v potravinách (Ertekin et al. 2023). Nejlépe popisují vztah mezi obsahem vody v potravinách, rovnovážnou relativní vlhkostí okolního vzduchu a vodní aktivitou při neměnné teplotě (viz. obrázek 1). Sorpční izotermy vlhkosti jsou ovlivněny různými faktory, jako jsou teplota, tlak a složení potravin. Sorpční izoterma pro danou potravinu vyjadřuje vztah mezi obsahem vody a její aktivitou. Potraviny s vysokým množstvím vody mají sorpční izotermy s úzkým rozmezím obsahu vody. Každá potravina má odlišný tvar sorpční izotermy. Tvar ovlivňuje fyzikální mikrostruktura a makrostruktura, kvantitativní a kvalitativní chemické složení a distribuce chemických složek (Jafari a Malekjani 2023).



Obrázek 1 Obecná sorpční izoterma potravin (obrázek autora)

Je možné rozlišit šest druhů sorpčních izoterm podle Brunauerovy klasifikace (viz. obrázek 2). Izoterma typu I je konvexním směrem nahoru, Typ III je konkávní směrem nahoru, Typ II a Typ V má tvar S pouze s jedním inflexním bodem, Typ IV má dva inflexní body a hysterezní smyčku a Typ VI má několik inflexních bodů. Inflexní bod je specifický bod na křivce, kde se křivka přestává zakřivovat jedním směrem a začíná se zakřivovat opačným směrem (Inglezakis et al. 2018).



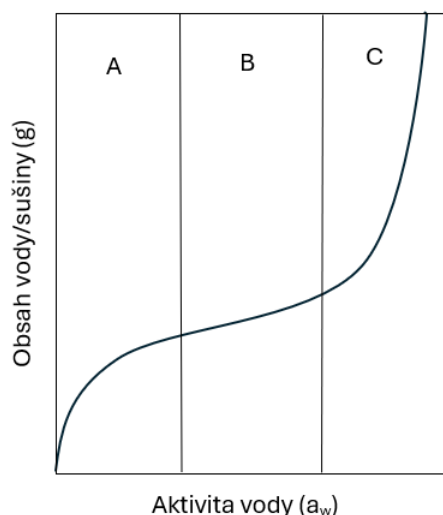
Obrázek 2 Tvary sorpčních izoterm (Inglezakis et al. 2018)

Typ II se nachází u neporézních nebo makroporézních materiálů. Tento typ představuje adsorpční proces, kdy se počáteční molekuly adsorbátu nejprve usadí v jedné vrstvě (monovrstvě) na povrchu materiálu a poté pokračují v usazování do dalších vrstev bez omezení procesu. Střední část izotermy, lineárního tvaru, je označována za fázi začátku adsorpce vícevrstev. Typ IV je častý u izoterm mezoporézních materiálů a charakteristická hysterezní

smyčka je způsobena kapilární kondenzací v mezipórech. Počáteční fáze izotermy typu IV odpovídá izotermě typu II, a proto je tato fáze přiřítána adsorpci v monovrstvách a vícevrstvách. Typ V izoterma lze nalézt pouze u některých porézních adsorbentů a je spojena s nevýhodnou rovnováhou podobně jako Typ III, to znamená, že interakce mezi adsorbentem (materiálem, který adsorbuje) a adsorbátem (látkou, která je adsorbována) je velmi slabá. Posledním typem izoterm je typ IV, představující stupňovitou adsorpci, při které dochází k usazování molekul v několika vrstvách na hladkém a neporézním povrchu. (Inglezakis et al. 2018; Hui 2008a).

Sorpční izotermy převážné části potravin jsou nelineárního tvaru a obvykle se řadí do skupiny typu II (ve tvaru písmene S). Nelinearita tvaru sorpční izotermy je způsobená rozdílem v chemickém složení a fyzikálně-chemickém stavu různých potravin. Zástupci skupiny typu II jsou datle, borůvky, mango, banán, rajčata a ze zeleniny sem patří zelené papriky, listová zelenina a cibule. Do skupina typu III spadá máta, černý rybíz, pistácie, meruňky, fíky, rozinky, papája, třešeň a hruška (Ertekin et al. 2023).

Sorpční izoterma má tři základní části (viz. obrázek 3). První úsek sorpční izotermy A je označován jako monomolekulární vrstva. Voda je zde pevně vázaná a není dostupná jako rozpouštědlo. V části B se voda označuje jako vícevrstvá, která je oproti úseku A volněji vázaná. Konečný úsek C se označuje jako kondenzovaná voda, přičemž voda je velmi volně vázaná a může být použita jako rozpouštědlo v chemických reakcích. (Velíšek 2002b; Ratti 2009).

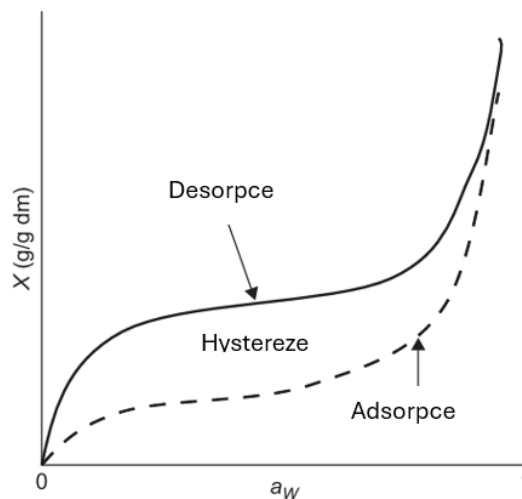


*Obrázek 3 Detail sorpční izotermy (obrázek autora)*

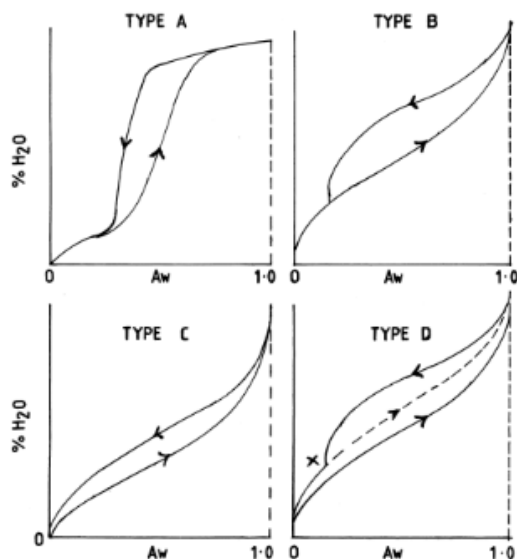
Mnoho materiálu má při stejném obsahu vody odlišnou aktivitu vody podle toho, zda systém vodu sorbuje nebo desorbuje. Absorpce a desorpce vody ovlivňuje tvar sorpčních izoterm, proto lze rozlišit absorpční a desorpční izotermy (Velíšek 2002b). Množství adsorbované nebo

desorbované vlhkosti je stanoveno zaznamenáním změny hmotnosti vzorku (Quirijns et al. 2005).

Přerušovaná křivka (viz. obrázek 4) zobrazuje desorpce, což je proces, kdy potravina ztrácí vlhkost do okolí. Desorpční křivka popisuje změny v obsahu vlhkosti vzorku během procesu desorpce, až dosáhne rovnovážného stavu. Druhá křivka představuje body získané adsorpcí. Prostor mezi křivkami se nazývá hystereze. Hystereze je jev, kdy při změně vlhkosti dochází ke kondenzaci vody uvnitř pórů a kapilár potraviny, což způsobuje rozdílné chování při adsorpci a desorpci (Berk 2018b). Hystereze se v grafu projevuje formou smyčky, složená ze dvou ramen. Tvar desorpčního ramene má větší vliv na charakter a formu hysterezní smyčky než již existující adsorpční rám. Na základě těchto kritérií můžeme rozdělit hysterezi na čtyři typy, A, B, C, D (viz. obrázek 5) (Caurie 2007).



Obrázek 4 Hystereze při adsorbanci a desorbanci vody (Berk 2018b)



Obrázek 5 Typy hysterezních smyček (Caurie 2007)

Sorpční izotermy potravin lze popsat různými matematickými modely. K dispozici je hodně matematických modelů pro popisování toho, jak absorbují a uvolňují vlhkost v potravinách. Heterogenita potravin způsobuje komplikace spojené s použitím jednoho univerzálního modelu a aplikovatelnost modelů pouze na určité hodnoty aktivity vody. Běžné metody popisující sorpční izotermy jsou BET, GAB, Oswin, Halsey, Henderson (Ertekin et al. 2023).

Matematická metoda BET, uvedená do praxe v roce 1938, je určena pro rozsáhlé množství produktů a potravin s nízkou aktivitou vody, obvykle v rozmezí od 0,05 do 0,45 (Ertekin et al. 2023). V BET modelu se vychází z toho, že voda ve vícevrstvě má stejné vlastnosti jako kapalná voda oproti GAB. V GAB metodě má voda ve vícevrstvě odlišné vlastnosti než kapalná voda a je méně pevně vázaná než voda v monovrstvě (Yanniotis a Blahovec 2009). Metodu BET je možno popsat touto rovnicí:

$$M = \frac{M_0 \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w) \cdot [1 + C \cdot a_w - a_w]} \quad (3)$$

Kdy  $M$  je rovnovážný obsah vlhkosti v g  $H_2O$  na g sušiny,  $a_w$  je vodní aktivita daného vzorku,  $M_0$  je obsah vlhkosti v jednovrstvé hmotě v g  $H_2O$  na g sušiny a  $C$  je konstanta spojená se sorpčním teplem (Ertekin et al. 2023).

## 1.2 Sušení

Během procesů sušení potravinářských výrobků dochází k redukci obsahu vody. To vede k vyšší stabilitě při skladování a delší trvanlivosti biologických produktů díky snížení vodní aktivity

na dostatečně nízkou hodnotu. Dále se minimalizují požadavky na balení a hmotnost. Nízká aktivita vody zpomaluje růst mikroorganismů, enzymatické reakce a další zhoršující reakce (Mujumdar a Law 2010; Hui 2008a).

Pro sušení potravinářských materiálů se využívá široká škála technik a postupů. Metody a postupy sušení se posuzují podle doby sušení, energetické účinnosti, dosažené kvality produktu, ekonomických nároků atd. Existují dvě hlavní skupiny dehydratace potravinářských materiálů, a to dehydratace za atmosférického nebo za sníženého tlaku. Procesy probíhající za atmosférického tlaku využívají plynné médium s vlastnostmi podobnými vzduchu nebo samotný vzduch. Procesy probíhající za sníženého tlaku využívají nižších teplot varu vody, a tedy účinnější a šetrnější odpařování vody z matrice. Do této skupiny lze také zařadit lyofilizaci, kde voda přechází z pevné (ledu) do plynné fáze. Procesy sušení za atmosférického tlaku mohou být podpořeny zvýšením teplot, čímž se zkracuje doba sušení. Teplo do procesu bývá dodáváno konvekcí, sáláním, vedením, mikrovlnami, radiofrekvenčním nebo Joulovým (ohmickým) ohřevem (Chen a Mujumdar 2008).

Vysušené produkty mohou být buď ve formě práškových částic, nebo ve formě celistvých kusů. Některé metody sušení, jako je následné mletí nebo sušení rozprašováním, vedou k tvorbě práškového produktu. Práškové zpracování je běžné pro potraviny, jako jsou mléko, vaječné bílky, koření nebo kávové extrakty. Pevné celistvé kusy jsou často výsledkem metod sušení, jako je sušení na vzduchu, infračervené sušení, lyofilizace a sušení horkým vzduchem (Ertekin et al. 2023).

Sušení potravinářského materiálu funguje na principu přenesení vodní páry z materiálu do okolního prostředí, proto každý proces sušení musí obsahovat tvorbu páry. Surovina je považována za vysušenou, když je zbavená vlhkosti nebo vysušená do konstantní hmotnosti. Obecně platí pro všechny druhy sušení rovnice povrchového toku par ve tvaru:

$$N_v'' = h_m \cdot (\rho_{v,s} - \rho_{v,\infty}) \quad (4)$$

Kdy  $N_v''$  znázorňuje parní nebo sušící tok ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $h_m$  je koeficient přenosu hmoty ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $\rho_{v,s}$  je mezipovrchová pára na povrchu vlhkého materiálu ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $\rho_{v,\infty}$  je koncentrace par v okolním prostoru ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).  $h_m$  je určen proudovým polem kolem vysušeného materiálu, který může být rychlostí pohybu hmoty. V případě že je rozdíl těchto hodnot kladný, dochází k vysychání. V opačném případě dojde u materiálu ke zvlhčení. (Chen a Mujumdar 2008).

## 1.2.1 Sušení při vyšších teplotách

### 1.2.1.1 Sušení přímým dopadem slunečního záření

Jedná se o metodu přirozeného sušení, která je velmi dostupná a finančně nenáročná. Tento typ sušení se praktikuje po celém světě již po staletí (Ertekin et al. 2023). Produkty se suší pouze pod přímým Sluncem a širým nebem, popřípadě je doprovázeno průhlednými plastovými fóliemi pro ochranu před deštěm nebo jinými nepříznivými vlivy prostředí (Hui 2008b). Nevysušené potraviny se rozprostírají na zem nebo na betonové plochy v tenké vrstvě a jsou přímo ponechány slunečnímu záření a několik dní sušeny (Ertekin et al. 2023). Přirozený proces sušení má dosti nevýhod. Na sušení působí mnoho přírodních činitelů (déšť, prach, hmyz, problémy s kameny a jinými cizími látkami). Jednou z dalších nevýhod je rovněž dlouhá doba sušení a potřeba vhodných teplotních podmínek, s optimální teplotou vzduchu pro venkovní sušení kolem 30 °C. Proces sušení vyžaduje značné množství prostoru a nejčastěji se používá k sušení zemědělských produktů, jako jsou ovoce a zelenina (Hui 2008b).

### 1.2.1.2 Nepřímé sušení slunečním zářením

Jedná se o umělé sušení potravin. Oproti přirozenému sušení sluncem nabízí solární sušení mnoho výhod, jako je možnost přesné kontroly teploty sušicího vzduchu, vlhkosti, rychlosti sušení, obsahu vlhkosti a rychlosti proudění vzduchu. Další výhodou je nízká nutnost manipulace při sušení a tím se zmenšují provozní náklady. Kvalita dehydratovaného produktu je u umělého sušení vyšší, neboť tento proces eliminuje environmentální rizika (déšť, prach, hmyz, problémy s kameny a jinými cizími látkami). Solární sušička využívá ke svému fungování sluneční záření (Hui 2008b).

Pro sušení potravin bylo využito několik typů solárních sušiček, lišící se návrhem, použitým stavebním materiálem, tvarem konstrukcí, energetickými záložními systémy a pomocnými topnými jednotkami. Mezi základní typy patří přímé, nepřímé, smíšené sušení a sušičky s tepelnými úložnými systémy (Mohana et al. 2020).

Přímý typ sušiček funguje na principu sušení na otevřeném slunci, kde je materiál k sušení přímo vystaven slunečnímu záření pod průhledným krytem (Belessiotis a Delyannis 2011). Průhledný skleněný kryt chrání potraviny před přírodními vlivy a minimalizuje únik záření do atmosféry, čímž se zvyšuje tepelná účinnost sušičky (Belessiotis a Delyannis 2011; Mohana et al. 2020). Produkt by se měl rozprostírat do tenkých vrstev. Sluneční paprsky jsou absorbovány vzorkem a jeho bezprostředním okolím po průchodu krytem a tím dochází ke zvýšení teploty

vzorku, tento typ se nazývá skříňové sušičky. Využívají se k sušení masa, ovoce, zeleniny, nejvíce manga a červené papriky. (Mohana et al. 2020; Belessiotis a Delyannis 2011).

Nepřímý typ se od přímého odlišuje tím, že není vystaven přímému slunečnímu záření. Nepřímý typ funguje na principu průchodu světla přes kolektor, ohřívající vzduch a ten přechází do sušící komory, kde jsou ukládány plodiny v zásuvkách nebo na policích. Komora složí k odstranění vlhkosti ze vzorku. Odvod vlhkosti je umožněn konvektivním přenosem tepla mezi ohřátým vzduchem a vlhkým produktem. Nepřímý typ nachází uplatnění především u sušení rychle se kazících produktů, kam patří rajčata, angrešt, banány, manga, chilli papričky, okra a maso (Mohana et al. 2020; Visavale 2012).

Funkce solárních sušiček smíšeného typu je založena na kombinaci přímých a nepřímých solárních sušiček, obsahují průhlednou sušící komoru a také mají možnost přehřívání vzduchu. Kombinací dochází k vyšší tepelné účinnosti (Pardhi a Bhagoria 2013). Uplatnění nacházejí při sušení fazolí, rajčat, banánů, červených paprik, kurkumy a mořských plodů.(Mohana et al. 2020).

#### 1.2.1.3 Mikrovlnné sušení

Mikrovlnné sušení potravin je moderní technologie, která využívá mikrovlnnou energii k efektivnímu a rychlému odstranění vlhkosti z potravin (Li a Ramaswamy 2008). Tento proces sušení se zakládá na specifických vlastnostech mikrovln, které jsou určitou formou elektromagnetického záření o frekvenci od 300 MHz do 300 GHz. Mikrovlnné sušení se odlišuje od tradičních metod svým mechanismem, kdy generuje mikrovlnné pole uvnitř potravin, což vede k vytvoření tlakového gradientu. Díky vysoké průchodnosti mikrovln se potraviny ohřívají rovnoměrně jak uvnitř, tak zvenku, což vede k jednotnému zvyšování teploty. Mikrovlnné sušení přeměňuje vysokofrekvenční elektromagnetickou energii na teplo, to má za následek intenzivní odpařování kapalné vlhkosti a její přesun k povrchu potravin. Tento proces se skládá ze dvou hlavních fází: odpařování kapaliny a sušení. Sušení probíhá ve třech krocích, zahřívání, sušení konstantní rychlostí a sušení klesající rychlostí. (Guo et al. 2017).

Mikrovlny se využívají při pozdní fázi sušení, kdy se rychlost sušení zpomaluje. Použití mikrovln v této konečné fázi pomáhá efektivně odstranit zbývající vlhkost. Tento proces sušení se uplatňuje především při dosušování chipsů a sušenek. Mikrovlny lze využít i v průběhu celého procesu sušení, ale s dostatečně nízkým výkonem. Tato technika je využívána při sušení těstovin (Li a Ramaswamy 2008).



#### 1.2.1.4 Infračervené sušení

Infračervené záření (IR) záření je elektromagnetické záření s vlnovými délkami, které nabývají hodnot od 0,75 do 1000 mm. Toto záření se dělí do třech skupin na blízké infračervené (NIR), střední infračervené (MIR) a vzdálené infračervené záření (FIR) (Huang et al. 2021).

V posledních letech se infračervené záření (IR) používá především k sušení mnoha zemědělských produktů, jelikož zde nedochází k riziku spálení produktu kvůli vysokým rychlostem sušení. Infračervené záření je schopné přenášet teplo přímo na povrch materiálu nebo produktu, který je sušen, bez výrazného ohřívání okolního vzduchu (Ertekin et al. 2023). Mezi výhody IR sušení oproti jiným metodám patří vysoká energetická účinnost, rychlá doba sušení, rovnoměrný ohřev materiálů, vynikající kvalita finálních produktů a nízké energetické náklady (Areesirisuk et al. 2023). Mezi další výhody infračerveného ohřevu patří modifikovatelnost, přizpůsobivost, jednoduchost zařízení, snadná kombinace s jinými způsoby ohřevu, jako je konvektivní, vakuový a mikrovlnný ohřev, levná a nekomplikovaná instalace a použití (Huang et al. 2021).

Blízké infračervené sušení se často používá jako doprovodná metoda. Výzkumy ukázaly, že při sušení zeleného hrachu může kombinace s horkým vzduchem zkrátit dobu sušení horkým vzduchem až o 73 %. Citrusové plody, granátové jablko, dýně, melouny, žampiony a kiwi jsou dalšími potravinami, u kterých bylo dokázáno, že kombinace blízkého infračerveného sušení s jinými metodami urychluje vysušení. Použití druhého typu infračerveného záření FIR zvyšuje rychlost sušícího procesu, ale také napomáhá udržovat vysokou kvalitu potravin. Porovnáním metod založených na sušení s infračerveným zářením bylo zjištěno, že nejrychlejší pomocnou metodou je sušení se středním infračerveným zářením (Huang et al. 2021).

#### 1.2.2 Sušení při nízkých teplotách

Jedná se o sušení potravin při nízkých teplotách, kam spadá lyofilizace a je možné do této skupiny zařadit i vakuové sušení. Princip vakuových sušáren spočívá ve snižování tlaku, čímž se snižuje bod varu vody a umožňuje sušení při nízkých teplotách.

##### 1.2.2.1 Lyofilizace

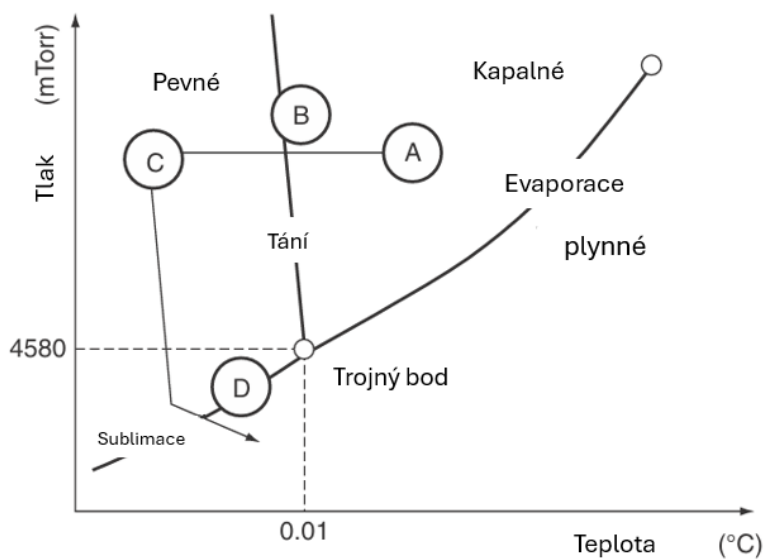
Lyofilizace neboli sušení mrazem bylo objeveno v první polovině 20. století roku 1930 (Ratti 2013). Lyofilizace je jednou z nejpokročilejších technologií sušení. Vlhkost se ze vzorku odstraňuje sublimací zmrazeného produktu, kdy přechází voda z pevného skupenství na páru a je vynechána kapalná fáze (Liu et al. 2008). Vysušený produkt je charakteristický vysokou porézností, kde velikost a rozložení pórů v pevných potravinách zásadně ovlivňují přenos

hmoty během rehydratace. Tento proces, známý jako znovuzavodnění po ztrátě tekutin, je u produktů sušených mrazem velmi efektivní, což zajišťuje jejich rychlou rehydrataci a zachování kvality (Meda a Ratti 2005).

Sušení touto metodou vyžaduje značné množství energie, je finančně velmi nákladné a také časově náročné. Proces může trvat několik dnů až týdnů, což může výrazně ovlivnit efektivitu a náklady výroby (Chen et al. 2021). V produktech lyofilizace dochází k inhibici nebo částečnému zpomalení chemických a fyzikálních degradačních reakcí, těmito pochody se nemění chuť, vůně ani obsah živin. Celý proces musí splňovat mnoho parametrů pro získání kvalitního lyofilizovaného produktu, kam spadá regulace rychlosti tuhnutí, teplota, celkový tlak plynu a konečný střední obsah vlhkosti. Reakce se používá hlavně u surovin s citlivostí na vlhkost nebo s obsahem vody v rozmezí od 80 % do 95 %. Tato metoda se využívá především k sušení léků, biologických materiálů a potravin (Meda a Ratti 2005; Jia et al. 2019).

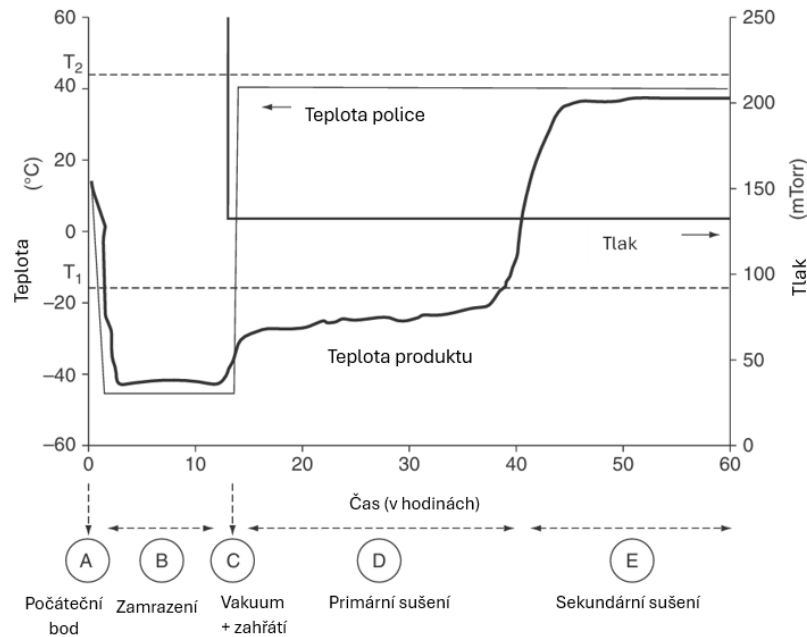
Voda se vyskytuje v surovinách volná nebo vázaná, volná voda zamrzne, ale vázaná voda nezamrzne (Kim 2018). Při sušení mrazem je nutné odstranit veškerou vázanou a část volné vody, proto se jedná o velmi složitý a mnohostupňový proces. Prvním stupněm lyofilizace je zmrazení produktu při atmosférickém tlaku. Poté následuje primární sušení, kde dochází k sublimaci, přeměně ledu na páru za sníženého tlaku. Závěrečný stupeň procesu je sekundární sušení, kde probíhá desorpce a dosahuje se požadované vlhkosti (Ratti 2013).

Podrobný popis principu lyofilizace je založený na sublimaci. Základem procesu je znalost fázového diagramu vody (viz. obrázek 6). Sublimační čára je vynesena pod trojným bodem vody, při teplotách nižších než  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C} = 273,16\text{ K}$  a při tlaku par pod  $612\text{ Pa}$  ( $4580\text{ mTorr}$ ). Pro sušení mrazem je důležité snížení teploty z bodu B na bod A. Tlak vody a páry musí být snížen pod tlak odpovídající třibodovému tlaku v bodě C. Na závěr je nutné přidat určité množství tepla k přeměně ledu na páru pomocí sublimace (bod D), tento proces se u lyofilizace označuje "primární sušení". Konečná fáze sušení, známá také jako sekundární sušení, nastává, když sublimace stále ještě probíhá, avšak už se nachází ve své závěrečné fázi. V sekundárním sušení dochází k sublimaci převážného množství ledu a vázaná voda odchází stále z produktu desorpcí (Ratti 2013).



Obrázek 6 Fázový diagram vody (Ratti 2013)

Na obrázku je uvedený jednocyklový proces lyofilizace. Jednocyklový proces zahrnuje pouze jednu fázi zmrazení a sublimace bez opakovaných cyklů zmrazení a tání. Tento proces je mnohem rychlejší než vícecyklové procesy lyofilizace. Na začátku je produkt chlazen na teplotu mrazu a následně ponechán, dokud úplně nezmrzne voda v produktu (úsek B) a zbylá látka zůstává v sklené nebo krystalické fázi. V úseku D dochází k ohřevu a vakuu, sloužící k podpoře primárního sušení produktu s nízkou teplotou. Posledním úsek E nastává, když veškerý led sublimuje, poté se zvyšuje teplota produktu dokud není dosaženo 2 až 3 °C pod teplotu topné police (Ratti 2013).



Obrázek 7 Jednocyklový proces lyofilizace (Ratti 2013)

Jeden z důležitých faktorů ovlivňující kvalitu mrazení produktů, se nazývá rychlost tuhnutí. Jedná se o důležitý faktor zejména u produktů s buněčnou tkání, jako jsou potraviny a mikroorganismy, na konečnou kvalitu produktu, kdy kvalita v buněčných potravních systémech může být uchována především rychlejším ochlazením. O konečné kvalitě produktu při mrazení vypovídá tvar a velikost vzniklých krystalů. Růst krystalů je také velmi ovlivněn rychlostí odvodu tepla. Pomalé mrazení zapříčiňuje tvorbu velkých krystalů, zatímco rychlejším mrazením se velikost krystalů zmenšuje. Důležitou podmínkou pro účinnou lyofilizaci je homogenita ledových krystalů zhotovených během zmrazování (Ratti 2013). Šetrné zacházení s bioaktivními látkami je důvodem, proč se výsledný produkt lyofilizace vyznačuje mnohem vyšší kvalitou ve srovnání s produkty jiných sušících metod. (Silva-Espinoza et al. 2019; Silva et al. 2017).

Ve zdravotnickém průmyslu se lyofilizace používá k sušení léků a tím se zlepšuje dlouhodobá stabilita labilních léků. V dřívějších dobách byla lyofilizace omezená pouze na sušení labilních farmaceutických produktů, jako jsou například antibiotika. V současnosti se působení lyofilizace rozšířilo na více druhů léčiv, sušení farmaceutických bílkovin, k dosažení dlouhodobě stabilních vakcín, bakterií, dále nachází využití při genové terapii, která pro úspěšné fungování musí mít nosiče nukleových kyselin, chránící a efektivně dodávající svůj obsah nukleových kyselin (Kasper et al. 2013). U biologických léčivých přípravků se 50 % uváděných výrobků na trh vyrábí sušením mrazem (Kasper a Friess 2011).

Lyofilizace je využívána v potravinářském průmyslu, při procesu sušení mrazem jsou v potravinách zachovány nutriční, biologické a organoleptické vlastnosti. Metoda slouží především k sušení ovoce, zeleniny, nudlí, těstovin, masa, jelikož tyto potraviny se rychle kazí a těžko se konzervují v syrovém stavu. Dále se sušením mrazem vyrábí instantní káva, koření, bylinky, instantní kojeneckou výživu. Lyofilizované produkty se snadno skladují, snižuje se cena nákladů za přepravu a obalových materiálů (Ratti 2013).

Jedním z procesů, který odstraňuje vodu z potravin, je mechanismus, při kterém rozpouštědlo, obvykle voda nebo suspenzní médium, krystalizuje při velmi nízkých teplotách a následně sublimuje z pevného na plynný stav za snížené teploty a tlaku. Díky dvěma hlavními charakteristikám zmrazení dosahuje vysušený produkt vysoké kvality. Zmrazená voda tvoří více než 80 % potravinářských výrobků, a proto nemůže sloužit jako rozpouštědlo po dobu celého sublimačního procesu. Druhá charakteristika říká, že při nízkých procesních teplotách jsou zhoršovací reakce (neenzymatické reakce) zpomalené nebo úplně zastavené kvůli nízké rychlostní konstantě (Khalloufi et al. 2005).

### 1.3 Prášky

Jedná se o tuhé materiály, složené z částic s rozměry od nanometrů do milimetrů. Vlastnosti prášku jako celku jsou formovány vlastnostmi jednotlivých částic a jejich vzájemnými vztahy. Prášky vytvářeny z kapalných nebo pevných potravinářských produktů mají snadnější využití, zpracování, zachování kvality, uchovávání a balení. Díky svým kladným vlastem jsou v současnosti práškové produkty hojně využívány v potravinářském průmyslu (Bhandari 2013). Potravinářské prášky vykazují velkou heterogenitu ve velikosti, tvaru a struktuře (Cuq et al. 2013). Do skupiny prášku řadíme prášek, granule, mouka a prach (viz. tabulka 1), které se odlišují velikostí částic a zdrojem materiálu (Bhandari 2013).

Tabulka 4 Charakteristika jednotlivých prášků (Bhandari 2013)

<b>Druh prášku</b>	<b>Velikost částic (μm)</b>	<b>Charakteristika</b>	<b>Zástupci</b>
Prášek	50–200	Soudržnost, vysoká objemová hmotnost	Mléko, káva
Granule	200–4000	Volně sypký, nízká objemová hmotnost	Instantní mléko, instantní káva, sušený česnek
Mouka	100–5000	Nepravidelný tvar a větší velikost částic, nízká tekutost	Cereální mouka, sójová mouka
Prach	5–100	Velmi jemné částice než požadovaná velikost, uvolňují se při zpracování a manipulaci	Jakýkoliv prášek

Práškové částice jsou získávány z kapalných nebo pevných materiálů sušením, drcením, otěrem, mletím, rozdrcením, krystalizací nebo srážením. Nejpoužívanější metody na získání prášku z kapalného materiálu je krystalizace a sušení. Vlastnosti prášku jsou ovlivněny jak charakteristikami surovin, z nichž je vyroben, tak samotným výrobním procesem. Stabilita prášků je vysoká, ale vlhkost může tuto stabilitu narušit. (Bhandari 2013).

Interakce mezi částicemi ovlivňují vlastnosti prášků. V prášcích mohou být různé kohezivní síly, které působí mezi jednotlivými částicemi a ovlivňují jejich chování. Funkční vlastnosti prášku, jako je jeho průtokovost, jsou výrazně ovlivněny intenzitou kohezivních sil mezi částicemi. U prášků používaných v potravinářství může kohezivní charakter ovlivňovat jedna nebo kombinace několika sil. Typ materiálu ovlivňuje energie interakcí mezi částicemi, kam patří například obsah vlhkosti, velikosti a tvaru částic v externím elektrickém poli (Bhandari 2013).

### 1.3.1 Procesy a technologie výroby prášků

Sušený rostlinný nebo živočišný materiál se většinou přeměňuje na prášek, aby se usnadnila manipulace, skladování, balení a další použití, jako je rehydratace. Prášek se vyrábí ze sušených větších kusů různými mlecími zařízeními. Moderní a efektivní metody výroby potravinových prášků kombinují procesy sušení a mletí.

### 1.3.1.1 Sušení rozprašováním

Jedná se o proces sušení tekutého media, při kterém se dehydratuje jemně rozprášená kapalina za vysokých teplot v rozprašovací sušičce. Výsledným produktem se stávají pevné a velmi jemné částice. Použití této sušící metody je klíčové při výrobě instantních prášků a při konzervaci potravin do formy prášku, což zajišťuje jejich dlouhodobé skladování a snadnou manipulaci. Velikost částic se může lišit v závislosti na konkrétním procesu sušení rozprašováním (viz. tabulka 5) (Woo a Bhandari 2013).

*Tabulka 5 Průměrné velikosti částic při různých procesech sušení rozprašováním (Woo a Bhandari 2013)*

<b>Druh rozprašovacího sušení</b>	<b>Průměrná velikost částic (μm)</b>
Stolní rozprašovací sušička	5–20
Pilotní rozprašovací sušička	20–40
Komerční rozprašovací sušičky (dvoustupňové)	200–400
Aglomerované prášky	200–2000

Princip této metody spočívá v odvodnění atomizovaných kapek pomocí proudění v rozprašovací sušičce za vysokých teplot. Uplatňuje se zde konvektivní transportní mechanismus. Principem tohoto mechanismu je přenos tepla nebo hmoty. Horký vzduch je běžným konvekčním médiem v potravinářském zpracování. Přenos tepla a hmoty je přivozeným pohybem částic v komoře přístroje. Ohřev kapky je poháněn teplotním rozdílem mezi povrchem kapky a horkým vzduchem. Po ztrátě vlhkosti v kapce, dochází uvnitř kapky ke ztuhnutí materiálu, čímž vzniká pevná částice (Woo a Bhandari 2013).

Tato sušící metoda se využívá především pro výrobu práškových forem mléka, syrovátky, kvasnic a dalších vysoce kvalitních produktů, což zaručuje jejich vysokou finální kvalitu. Nevýhodou procesu sušení rozprašováním může být vysoký obsah kyslíku ve vzduchu, který je smíšen s kapkami potravin. Tento kyslík může mít negativní dopad na živiny, které jsou citlivé na teplo a náchylné k oxidaci (Ratti 2013). Díky tomu má sprejové sušení negativní vliv na denaturaci bílkovin a ztrátu biologické aktivity biologických sloučenin, kam patří vitamíny, živné bakterie a enzymy (Dantas et al. 2024).

### 1.3.1.2 Válcové a bubnové sušení

Sušení v bubnu lze použít pouze s viskózními produkty, koncentrovaných roztoků, suspenzí nebo past, proto není vhodným zástupcem víceúčelových sušiček (Mujumdar 2015b). Tento proces umožňuje sušení v atmosféře bez kyslíku, tím se zabrání oxidaci. Aplikace kontaktního sušení párou namísto tradičního konvekčního sušení horkým vzduchem umožňuje dosažení vyšší energetické účinnosti. Tento energeticky úsporný proces také minimalizuje tepelné ztráty a zvyšuje produktivitu. Bubnové sušení nebo také válečkové je často zaměňované s rotačními bubnovými sušičkami, a však oba tyto typy sušení jsou dosti odlišné (Courtois 2013).

Při sušení pomocí rotačního bubnu se produkt uvnitř stává pevným. Tyto sušičky pracují s velmi horkým vzduchem, které nejsou téměř využívány v potravinářském průmyslu, hlavní využití nachází při zpracování minerálů jako jsou fosfáty k sušení mokrého oblečení nebo ke tvorbě granulových nebo částicových materiálů (Vargas et al. 2023; Courtois 2013). Rotační sušička se skládá z dlouhého bubnu válcovitého tvaru, který je mírně nakloněn. Po celé vnitřní délce bubnu jsou instalovány unašeče. Sušící plyn proudí opačně než proud pevné látky. (Vargas et al. 2023).

Bubnové sušičky nacházejí využití při produkci sušené bramborové kaše. Také se zde vyrábí sušené mléko, které může kvůli vysokým teplotám změnit svou barvu a konzistenci. Proto je toto mléko často používáno jako zvířecí krmivo nebo jako přísada pro potravinářský průmysl. Ve výrobních procesech mimo potravinářský průmysl se využívají materiály jako parafín, vosk, jíl, sádrová struska a pálená hlína. Tyto procesy také zahrnují spalování a skládání odpadu, zpracování odpadních produktů, zbytků a kalů z čistíren odpadních vod, čímž přispívají k udržitelnému nakládání s odpady (Courtois 2013).

Na trhu lze nalézt několik variant bubnových sušiček, které mohou být vybaveny jedním nebo dvěma bubny. Dvoububnová sušička ve vakuu se skládá ze dvou horizontálních válců se stejným průměrem, které se otáčejí proti sobě (Schönfeld et al. 2021). Vnitřní povrchy dutých válců jsou ohřívány kondenzovanou párou. Do klínového prostoru mezi dvěma bubny je přiváděna suspenze vzorku, která se zde zahřívá a vytváří želatinovou strukturu. Vzorek se válkuje do tenké vrstvy při průchodu mezerou vytvořenou rotací těsně rozmístěných bubnů. Vrstva se hned za mezerou rozdělí na dva filmy želatinovaného materiálu, přičemž každý film pokryje jeden buben. Pohybem bubnů dochází k vysychání filmu, který je po vyschnutí seškrábnut z bubnu statickým škrabákem. Statické škrabáky se rozprostírají po celé délce bubnů (Kalogianni et al. 2002).



Jednobubnová sušička funguje na základě přivádění kaše nebo pasty skrze kyvadlovou trysku nebo sběrač s více tryskami do štěrbin parního ohříváče bubnu a studenějšího počítadla aplikátoru, pohybující se směrem k sobě a tvoří vroucí lázeň. Škrobové kaše želatinu jí ve varné lázni. Následně tvoří pasty, které se stávají viskóznějšími. Vzorek je aplikován na tenký plát na horkém bubnu, kde následně vysychá. Vzorek lze na buben nanést různými způsoby. (Mujumdar 2015a).

## 1.4 Analyzované vzorky

### 1.4.1 Černý rybíz

Rybíz černý má latinský název *Ribes nigrum*. Keřovitý strom se pěstuje hlavně v chladnějších oblastech Evropy, na Novém Zélandu a v Severní Asii (Bishayee et al. 2011). Přibližně 80 % světového exportu černého rybízu zajišťuje Polsko, což z něj činí předního vývozce do okolních zemí. (Michalska et al. 2017). Jedná se o malý keř s bobulovitými plodinami (obr. 1). Tmavě fialové až černé bobule rostoucí na dřevnatých keřích, mají velmi kyselou chuť, důvodem je vysoký obsah kyselin, zejména kyseliny askorbové. Černý rybíz má své specifické aroma. Aroma závisí na obsahu esterů a terpenoidů, patřící do skupiny těkavých sloučenin. Alkoholy jsou další těkavé sloučeniny, které se objevují až po fermentaci rybízu. Alkoholy neovlivňují vůni bobulí. (Kelanne et al. 2022). Tmavá barva bobulí černého rybízu je zapříčiněná vysokým obsahem antokyanů (Bakowska-Barczak et al. 2009).



Obrázek 8 Rybíz černý (fotka autora)

Čerstvé plody černého rybízu obsahují velké množství bioaktivních a funkčních sloučenin, například polyfenoly, kam patří fenolové kyseliny a flavonoidy, dále organické kyseliny, vitamíny, hlavně vitamín C, minerály, nenasycené mastné kyseliny. Pro vysoký obsah bioaktivních látek, se černý rybíz vyznačuje vysokou antioxidační aktivitou a velkou aktivitou vychytávání volných radikálů (Rachtan-Janicka et al. 2021). Velmi důležitou složkou bobulí rybízu jsou antokyany, patřící do skupiny fytochemikálií. 100 gramů čerstvého ovoce obsahuje 250 miligramů antokyanů, tyto pigmenty jsou rozpustné ve vodě (Bishayee et al. 2011; Bakowska-Barczak et al. 2009)

Černý rybíz má široké uplatnění v mnoha odvětví průmyslu, zpracovávají se všechny části keře rybízu. V lékařství jsou využívány plody a listy. V tradiční asijské a evropské medicíně se listy i plody černého rybízu využívají k léčení mnoha onemocnění. Dnes se tato plodina označuje jako "super ovoce", pro své mnohé zdravotní benefity, kam patří schopnost léčit chronická onemocnění spojená s oxidačním stresem. Fytochemikálie černého rybízu mají řadu pozitivních účinků pro lidský organismus, jako jsou imunomodulační (vlastnosti stimulující činnost imunitního systému), antimikrobiální a protizánětlivé. Dále tyto fytochemikálie snižují riziko kardiovaskulárních onemocnění (Bishayee et al. 2011). Listy rybízu nachází své uplatnění při výrobě bylinných léků k léčení revmatismu a zánětlivých problémů (Tabart et al. 2012).

Rybíz své uplatnění nachází také při výrobě kosmetiky. Nejčastější surovinou přidávající se do kosmetických produktů je olej lisovaný z bobulovitých plodů (Ligeza et al. 2016).

Černý rybíz je hojně využíván v potravinářském průmyslu, především bobule, díky své charakteristické barvě a organoleptickým vlastnostem. Tmavě zbarvené bobule nachází své uplatnění při výrobě džusů, likérů, marmelád a dalších produktů. Černý rybíz se může použít i na výrobu alkoholických nápojů, především při výrobě rybízových vín a likéru cassis. V menším množství lze využít i listy rybízu jako zvýrazňovač chuti v polévkách pro své silné aroma (Kapasakalidis et al. 2006).

#### 1.4.2 Temnoplodec černoplodý

Latinský název temnoplodce neboli aronie je *Aronia melanocarpa*. Tato rostlina pochází ze Severní Ameriky a Východní Kanady, do Evropy se dostala na počátku dvacátého století. Tento keř je řazen do čeledi růžovitých a je velmi odolný vůči škůdcům. Mezi nepoužívanější části aronie patří její tmavé, malé bobulovité plody (viz. obrázek 9) Bobule jsou velmi bohaté na fenolické sloučeniny, kam patří polyfenoly, flavonoly, flavanoly, proantokyanidiny, fenolové kyseliny a antokyany, ty svou přítomností způsobují specifické zbarvení temnoplodce. Mezi

další významné látky patří vitamín C. Jedná se o bobule s hořkou až jemně svíravou chutí, proto se v neupraveném stavu konzumují jen velmi výjimečně. (Sidor et al. 2019).



Obrázek 9 *Temnoplodec černoplodý* (Láníková, 2021)

Plodina nachází své hlavní využití v potravinářství a lékařství, slouží k výrobě barviv, aromat a konzervačních látek (Sidor et al. 2019). V potravinářském průmyslu se temnoplodec využívá hlavně na výrobu džusů, džemů, omáček, zavařenin, ovocných čajů, želé a doplňků stravy. Kvůli své specifické nahořklé chuti se zhotovený nektar z aronie mísí s dalšími ovocnými šťávami, aby se docílilo jemnější chuti. Aronie může být dále složkou ovocných vín, při kvašení lze vyrobit také likéry a lihoviny (Kapci et al., 2013).

Aronie obsahuje mnoho fenolických látek, které mají protirakovinné, antioxidační, protizánětlivé, antiaterogenní a antidiabetické účinky. Mezi další tělu prospěšné přínosy temnoplodce patří antibakteriální, hypolipidemické, hypoglykemické, antidepresivní nebo proti únavové účinky a schopnost inhibovat tvorbu melaninu. Je jednou ze složek mnoha bylinných preparátů. Temnoplodec pomáhá při léčbě kardiovaskulárních onemocnění, při zvýšené hladině lipidů nebo cholesterolu v krvi (Kapci et al. 2013).

#### 1.4.3 Růže šípková

Latinský název růže šípkové je *Rosa canina*. Můžeme se také setkat s označením šípek, které se objevuje častěji. Jedná se o velmi rozšířenou rostlinu, vyskytující se v Evropě, severní Africe a Malé Asii. Jedná se o keřovitou rostlinu z čeledi růžovitých, dorůstá do výšky až čtyř metrů, na stoncích mají hákovité trny a listy se zoubkovanými okraji (Tabaszewska a Najgebauer-Lejko 2020). Růže šípková kvete od května do června a plody (viz. obrázek 10) dozrávají od

srpna do října (Popović-Djordjević et al. 2023). Oranžovočervené, kulovité až oválné plody šípku dozrávají od září do října. Ovocnou až lehce pikantní chutí plodů se podobají borůvkám. Šípky jsou bohaté na polyfenolycké sloučeniny, antokyany, prokyanidiny, katechin, kvercetin, fenolové kyseliny, kaempferol, apigenin a resveratrol. Dále je zdrojem karotenů, tokoferolů a minerálních látek, kam patří hlavně vápník, fosfor a draslík (Tabaszewska a Najgebauer-Lejko 2020). Na každých 100 gramů čerstvých šípků připadá přibližně od 250 do 2700 mg vitamínu C, tím se řadí mezi nejvyšší zdroje z ovoce a zeleniny (Popović-Djordjević et al. 2023).



*Obrázek 10 Růže šípková (Holubová, 2010)*

Díky bohatému obsahu účinných látek jsou šípky využívány v potravinářském průmyslu, farmacii a kosmetice. Vysoký obsah bioaktivních sloučenin obsažených v šípku má pozitivní vliv na zdraví člověka, přispívají k inhibici rakovinotvorných buněk, prevenci proti kardiovaskulárním onemocněním a stárnutí. Šípky jsou také zdrojem mnoha živin a prostředkem k léčení infekcí, chřipky, chronické bolesti, vředům a zánětlivých onemocnění. Díky vysokému obsahu kyseliny askorbové se z šípků vytvářejí i vitamínové doplňky (Fascella et al. 2019). Olej ze semen šípku obsahuje velké množství nenasycených mastných kyselin, zejména linolenová, linolová a kyselina arachidonová, což jsou zároveň esenciální mastné kyseliny, které si člověk nedokáže sám vytvořit a musí je přijímat ze stravy (Grajzer et al. 2015). Prášek získaný z plodů šípků má mnoho benefitů pro zdraví člověka, snižuje osteoartrózu kolen nebo kyčlí, léčí revmatoidní artritidu, napomáhá k hojení ran a zánětů (Fascella et al. 2019).

V potravinářském průmyslu se šípek může používat v čerstvé i v sušené formě. Využití nachází při výrobě sirupů, marmelád, džemů, džusů a čajů. Bylinné čaje, z kořenů a sušených šípků mohou sloužit k podpůrné léčbě nachlazení a infekcí. Díky svým zdraví prospěšným složkám se používá jako přísada do jogurtů, probiotických nápojů a polévek (Teodorescu et al. 2023). Extrakt z šípků se využívá také ke konzervaci potravin kvůli svým antimikrobiálním a antioxidačním vlastnostem. Zbytky při zpracování šípků se přidávají do krmiv pro zvířata (Ahmad et al. 2016).

Šípkový olej lisovaný za studena, získávaný ze semen jako odpadní produkt z výroby šťáv a sirupů. Semena obsahují od 4,9 % do 17,82 % oleje (Grajzer et al. 2015). Díky všestrannosti šípkového oleje, nachází uplatnění i v kosmetickém průmyslu. Vzhledem k léčivým účinkům na pokožku se využívá pro vývoj bylinné kosmetiky a pečujících produktů na pleť (pleťové vody a krémy). Jelikož obsahuje vysokou koncentraci kyseliny linolové a linolenové (70–80 %), napomáhá při léčbě kožních problémů (jizev, dermatitidy, akné, ekzémů a popálenin). Obsah těchto kyselin, karotenoidů a vitamínu A s omlazujícími účinky činí ze šípkového oleje ideální přírodní prostředek pro péči o pleť, hydrataci a proti stárnutí (Ahmad et al. 2016).

#### 1.4.4 Jeřáb

Jedná se o menší, široce rostoucí listnaté stromy a keře patřící do čeledi růžovitých (Aimone et al. 2024). Jeřáby (rod *Sorbus*) rostou hlavně v horských oblastech Evropy, dále jsou široce pěstovány v parcích a zahradách jako okrasné stromy především v Severní Americe a Evropě (Šavikin et al. 2017). Plody jeřábu jsou kulovitého, hruškovitého nebo vejčitého tvaru (viz obrázek 11). Barva i tvar plodů se liší hlavně podle druhu jeřábu. Dle své specifické chuti se jeřáby dělí do dvou hlavních skupin, sladkoplodé a kyseloplodé (Hroneš 2009).



Obrázek 11 Jeřáb ptačí (Glaser, 2011)

Plody jsou bohaté na biologicky aktivní sloučeniny (kyselina askorbová, fenolické sloučeniny, karotenoidy, organické kyseliny a cukry), ty se také účastní antioxidační aktivity. Dále mohou fungovat jako lapače volných radikálů, redukční činidla nebo antioxidanty narušující řetězce a také inhibují oxidaci lipidů (Zymone et al. 2018). Do skupiny jeřábů patří více než 250 stromů a keřů (Aldasoro et al. 1998). Mezi hlavní zástupce druhů Jeřábu patří *Sorbus aucuparia L.* (jeřáb ptačí), *Sorbus aria L.* (jeřáb muk), *Sorbus domestica L.* (jeřáb oskeruše), *Sorbus torminalis L.* (jeřáb břek) a *Sorbus chamaemespilus L.* (jeřáb mišpulka) (Nelson-Jones et al. 2002).

Pouze vybrané druhy jeřábů našly své uplatnění v různých odvětvích, jako je lékařství, potravinářství, v kosmetickém průmyslu a v environmentálním managementu, kde slouží jako okrasné stromy. Díky vysokému obsahu biologicky aktivních sloučenin mají mnoho pozitivních vlastností, můžeme jmenovat například protizánětlivé, antioxidační, antidiabetické účinky. (Zymone et al. 2018). Plody jeřábu se nejčastěji používají jako diuretika, projímadla, proti revmatismu, problémům s ledvinami a proti gastrointestinálním poruchám (Aimone et al. 2024).

V potravinářství se plody jeřábu využívají jak v syrovém, tak v sušeném stavu. Díky své specifické svíravé a hořké chuti plodů se zpracovávají při výrobě džemů, marmelád, sirupů, žele a nápojů. Mají velký nutriční potenciál (Aimone et al. 2024).

Jeřáb moravský sladkoplodý, latinsky *Sorbus aucuparia L. subsp. Moravica*. Jeřáb moravský sladkoplodý se liší od jeřábu ptačího především chutí, velikostí plodů a tvaru listů. Chuť jeřábu moravského je více sladkokyselá, díky vyššímu obsahu cukru a nízkému množství kyseliny

sorbové a třísloviny. Bobule jeřábu moravského jsou v porovnání s jeřábem ptačím větší. Okraje listů jeřábu sladkoplodého jsou pilovité pouze v horní polovině, zatímco u jeřábu ptačího jsou listy zubaté po celé délce. (Lánská 2021; Flowerdew a Hošek 1997).

#### 1.4.5 Rakytník řešetlákový

Latinský název pro rakytník řešetlákový je *Hippophae rhamnoides* L.. Jedná se o dřeviny z čeledi hlošínovité (Elaeagnaceae), rostoucí převážně v chladnějších oblastech Asie, nejrozšířenější pěstování této plodiny je hlavně v Kan-su, Čching-chaj, dále v severních oblastech Evropy (Song et al. 2023; Chan et al. 2024). Z keřů nebo malých stromů rakytníku se využívají především oranžové bobulovité plody a v menší míře i listy této plodiny (viz. obrázek 12). Plody rakytníku mají kyselou a pikantní chuť, dále jsou bohatým zdrojem mnoha vitamínů (A, B1, B2, B6, B9, B12, C, K a E), mastných kyselin (omega 3,6,7 a 9), flavonoidů, polyfenolů, minerálů (vápník, kobalt, chrom, měď, železo, mangan, draslík a hořčík, karotenoidů, tříslovin, terpenů, aminokyselin, sacharidů a organických kyselin (Chan et al. 2024).



Obrázek 12 Rakytník (Michalcová, 2013)

Bobule rakytníku a listy mají velké využití zejména v potravinářském průmyslu, zdravotnictví, kosmetice a při výrobě pigmentů. Dále se rakytník řešetlákový využívá jako dřevina pro ekologické rekonstrukce (Song et al. 2023). Již v dávných dobách našel rakytník uplatnění v lékařství a bylinkářství, zejména v Rusku, Číně, Tibetu a Mongolsku pro své tělu přínosné

vlastnosti, kam patří protizánětlivé, antioxidační, protinádorové, antimikrobiální a imunitu posilující vlastnosti. Díky vysokému obsahu mastných kyselin zejména omega 7. Rakytník obsahuje mnohem vyšší množství omega 7 v porovnání s ostatními rostlinami. Mastné kyseliny mají mnoho pozitivních přínosů pro lidské tělo, například prevence proti obezitě, dále mají protizánětlivé, neuroprotektivní účinky a snižuje množství cholesterolu v těle. Zdraví prospěšný je také rakytníkový olej, obsahuje především přírodní karotenoidy, tokoferoly, tokotrienoly a rostlinné steroly. Olej napomáhá proti kardiovaskulárním onemocněním, snižuje hladinu triglyceridů, cholesterolu, krevního tlaku, oxidačního stresu a inzulinovou rezistenci u obézních dětí (Chan et al. 2024).

Rakytníkový olej lze využít i v kosmetickém průmyslu. Olej se přidává hlavně do pečující kosmetiky, kvůli svým hydratačním, protizánětlivým a hojícím účinkům, ty napomáhají při hojení akné, spálenin od slunce, růžovce, jizev, suchosti kůže, infekce kůže a slouží k prevenci proti vráskám (Dubey et al. 2023).

Bobulovité plody rakytníku jsou pro svou sladkou a pikantní chuť využívány v mnoha odvětvích potravinářství, při výrobě džemů, džusů, čajů, měkkých bonbonů a šťáv (Song et al. 2023). Plody rakytníku lze konzumovat i bez předešlých úprav v syrovém nebo v sušeném stavu. Při výrobě šťávy z rakytníku se získává velké množství výlisků, které mají druhotné využití. Výlisky mají vysoký obsah polysacharidů, ty napomáhají k udržení zdravé střevní mikroflóry. Rakytník je možno užívat i jako doplněk stravy, ve formě oleje, džusu, prášku nebo kapslí (Dubey et al. 2023; Xie et al. 2023).

Listy rakytníku jsou požitelné jak v čerstvé, tak sušené formě. Z listů se vyrábí bylinné čaje, kvůli tělu prospěšným látkám a obsahu bioaktivních látek. Další uplatnění nacházejí listy při výrobě krmiv pro zvěř a používají se při výrobě barviv (Dubey et al. 2023).

## 2 Experimentální část

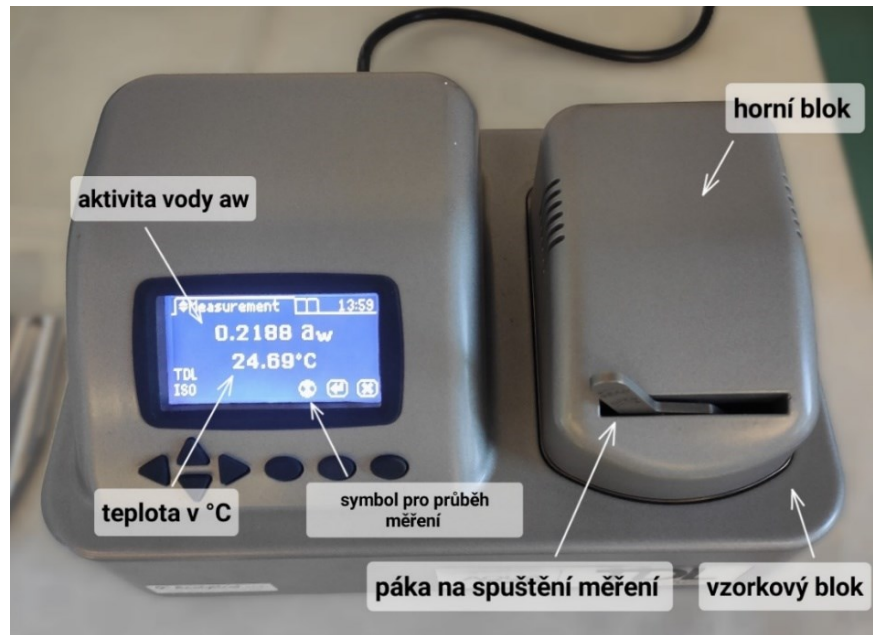
### 2.1 Přístroje a zařízení

#### 2.1.1 AquaLab TDL

AquaLab TDL (viz. obrázek 13) je nejpřesnější a nejúčinnější přístroj na měření vodní aktivity. Těkavé látky zde neovlivňují měření, což způsobuje přesnější výsledky. AquaLab vyhodnocuje výsledky do 5 minut. Odchylka tohoto přístroje je  $\pm 0,003 a_w$ . Senzor přístroje AquaLab TDL umístěný v komoře pro vzorky, měří relativní vlhkost vzduchu. Používá se zde Laditelný diodový laser, fungující na vysílání jemného vyladěného infračerveného laserového paprsku



přes prostor nad vzorkem. Senzor je schopen přesně změřit přítomnost vodní páry, jelikož vodní páry mají silné absorpční pásy v blízkém infračerveném spektru (Voelker et al. 2020; Allan et al. 2019). Výrobce přístrojů AquaLab TDL je METER Group sídlící v Pullmanu ve státě Washington, USA.



Obrázek 13 Popis přístroje AquaLab TDL (fotka autora)

### 2.1.2 Analyzátor vlhkosti KERN MLB 50-3

Jedná se o elektronický analyzátor vlhkosti s halogenovým zářičem, využívající termogravimetrie. Termogravimetrie je analytická metoda, založená na sledování změn hmotností vzorku při zahřívání či ochlazování za konstantního atmosférického tlaku nebo v inertní atmosféře (Saadatkah et al. 2020). Teplotní maximum halogenového zářiče dosahuje 160 °C a maximální hmotnost vzorku vloženého do přístroje je 50. Přístroj KERN MLB 50-3 (viz. obrázek 14) zobrazuje na displeji procentuální obsah sušiny, obsah vlhkosti a procentuální ATRO (Ruiz Celma et al. 2008). Výrobce přístrojů je firma KERN & SOHN GmbH sídlící v Německu.



Obrázek 14 KERN MLB 50-3 (fotka autora)

### 2.1.3 DVS Intrinsic PLUS

Jedná se o pokročilý přístroj pro analýzu a měření sorpčních izoterem a dynamiky sorpce vlhkosti v materiálech (viz obrázek 15). Přístroj je vybaven citlivou analytickou váhou (rozlišení  $\pm 0,1 \mu\text{g}$ ). Přístroj funguje na základě dynamické sorpce par, přístroj kontrolovaně mění relativní vlhkost vzduchu a teplotu vzorku, přičemž přesně měří změny hmotnosti ve vzorku (Muñiz-Lerma et al. 2018). Tyto přístroje vyrábí firma Surface Measurement Systems, která má sídlo v Londýně, ve Spojeném království.



*Obrázek 15 DVS Intrinsic PLUS (fotka autora)*

## 2.2 Příprava vzorků

Lyofilizované práškové vzorky byly zakoupeny na webové stránce [www.lyopotraviny.cz](http://www.lyopotraviny.cz) a každý z nich má certifikát JESENÍKY originální produkt. Certifikát JESENÍKY originální produkt identifikuje regionální produkt z oblasti Jeseníků. Nutriční hodnoty jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 Složení lyofilizovaných prášků

Vzorek	Černý rybíz	Aronie	Rakytník	Šípek	Jeřabiny
<b>Energetická hodnota</b>	214 kcal	349 kcal	375 kcal	180 kcal	349 kcal
<b>Tuky -z toho nasycené mastné kyseliny</b>	1,14 g 0,13 g	1,9 g 1,3 g	27 g 2,7 g	0,75 g -g	1,9 g 1,3 g
<b>Sacharidy -z toho cukry</b>	31,7 g 30,9 g	67,1 g 28,9 g	21 g 8,5 g	40 g 18 g	67,1 g 28,9 g
<b>Vláknina</b>	35,2 g	26,2 g	Neuvedeno	23 g	26,2 g
<b>Bílkoviny</b>	6,6 g	2,8 g	8,1 g	3 g	2,8 g
<b>Sůl</b>	0,02 g	0,005 g	0 g	-g	0,005 g

## 2.3 Postupy

### 2.3.1 Aktivita vody

Práškový vzorek byl suchou lžičkou přenesen do jednorázové plastové misky o objemu 7,5 ml, kde byl následně prášek rozprostřen a zbaven větších hrudek. Miska se vzorkem byla uzavřena těsnícím víčkem a ponechán chvíli v klidu. Poté bylo víčko opatrně odstraněno, tak aby se nedotklo spodní strany kelímku. Pinzetou byl kelímek se vzorkem přenesen do přístroje na měření aktivity vody. Po zavření přístroje bylo automaticky zahájeno měření při 25 °C, které trvalo několik minut. Měření bylo u konce, po zobrazení diskety na displeji přístroje. Z displeje byla opsána hodnota aktivity vody a následně byl vzorek vyndán opatrně pinzetou. Tento postup byl opakován dvakrát u každého vzorku.

### 2.3.2 Sušina

Byl zapnut přístroj KERN MLB 50-3 na měření sušiny. Do přístroje byla vložena hliníková miska a následně bylo stisknuté tlačítko TARE, které vynulovalo hmotnost hliníkové misky. Vzorek byl nasypán do hliníkové misky mimo přístroj a dobře rozmístěn po celé ploše. Hliníková miska se vzorkem byla vložena do přístroje, který byl následně uzavřen. Měření bylo zpuštěno dvakrát stlačením tlačítka START, to probíhalo několik minut. Teplota sušení byla

nastavena na 105 °C. Po ukončení měření byl na displeji zobrazen výsledek sušiny v procentech. Tento postup měření byl opakován dvakrát u každého vzorku.

### 2.3.3 Sorpční izotermy

Před analýzou adsorpčních izoterm byly vzorky upraveny. Pro sjednocení velikosti částic byla sebrána frakce prášku po sítem (velikost ok 0,125 mm), vzorky (ca 0,1 g) byly rozprostřeny na Petriho miskách a uloženy do exsikátoru nad čerstvě vyžíhaný silikagel. Ten byl uchováván při laboratorní teplotě bez přístupu světla minimálně jeden týden před analýzou. Silikagel byl přidán do práškového vzorku, aby absorboval veškerou vlhkost. Takto upravený vzorek byl prosát na sítu o velikosti ok 0,125 mm. Proseté vzorky lyofilizovaných prášků byly vloženy do exsikátoru za sníženého tlaku a uchovány minimálně jeden týden na tmavém místě.

Kalibrace čidla vlhkosti byla provedena pomocí solí NaCl, MgNO<sub>3</sub> a KCl při 25 °C. Před měřením bylo nutné nastavit potřebné parametry (DVS Control, v. 1.3.00). Adsorpční izotermy byly měřeny při teplotě 25 °C.

Pomocí kopisti byl nabrán lyofilizovaný vzorek (ca 10 mg) a rozprostřen na misce tak, aby vytvořil vrstvu o stejné výšce a bez viditelných hrudek. Miska se vzorkem byla vložena nazpět do komory, kde se nacházely mikrováhy k přesnému měření hmotnosti vzorku. Vzorek byl před započítím adsorpce vystaven proudu suchého (relativní vlhkosti < 2,0 %) vzduchu o rychlosti 200 ccm po dobu 180 min. Během této doby došlo k odstranění zbytkové vlhkosti se vzorku (iniciační fáze). Adsorpce vlhkosti probíhala v rozmezí 20–90 % relativní vzdušné vlhkosti (RH) v 5% RH krocích. Hmotnost vzorku byla monitorována každou minutu. Vzorek byl vystaven každé úrovni RH dokud nebyla splněna rovnovážná podmínka, tj.  $dm/dt < 0,002 \%$  po dobu 20 min. Výsledky jsou znázorněné jako změna hmotnosti v závislosti na relativní vzdušné vlhkosti. Hmotnost vzorku po iniciační fázi byla použita jako referenční hodnota.

### 3 Výsledky a diskuze

#### 3.1 Aktivita vody a obsah vlhkosti prášku z lyofilizovaných plodů

Nejnižší hodnotu aktivity vody vykazoval prášek z jeřábu ( $0,157 \pm 0,001$ ) následovaný aronií a šípkem ( $0,213-0,217$ ). Nejvyšší hodnotu aktivity vody vykazoval vzorek rakytníku ( $0,501 \pm 0,001$ ). Velmi nízká hodnota aktivity vody naznačuje, že prášek z jeřábu je velmi suchý a má minimální riziko mikrobiálního růstu. Tato hodnota zaručuje mikrobiologickou stabilitu a dlouhou trvanlivost. Hodnota aktivity vody u rakytníku je podstatně vyšší než u ostatních zmíněných prášků. Aktivita vody  $0,501$  naznačuje, že prášek z rakytníku má dostatek volné vody pro podporu růstu některých mikroorganismů, zejména kvasinek a plísní. Proto je riziko mikrobiálního růstu vyšší.

U všech vzorků je aktivita vody pod  $0,6$ , což je známkou jejich mikrobiální stability díky nízkému obsahu vlhkosti. Nicméně, vzorek rakytníku s vyšším obsahem vlhkostí si vyžaduje zvláštní pozornost.

*Tabulka 7 Hodnoty aktivity vody a obsahu vlhkosti*

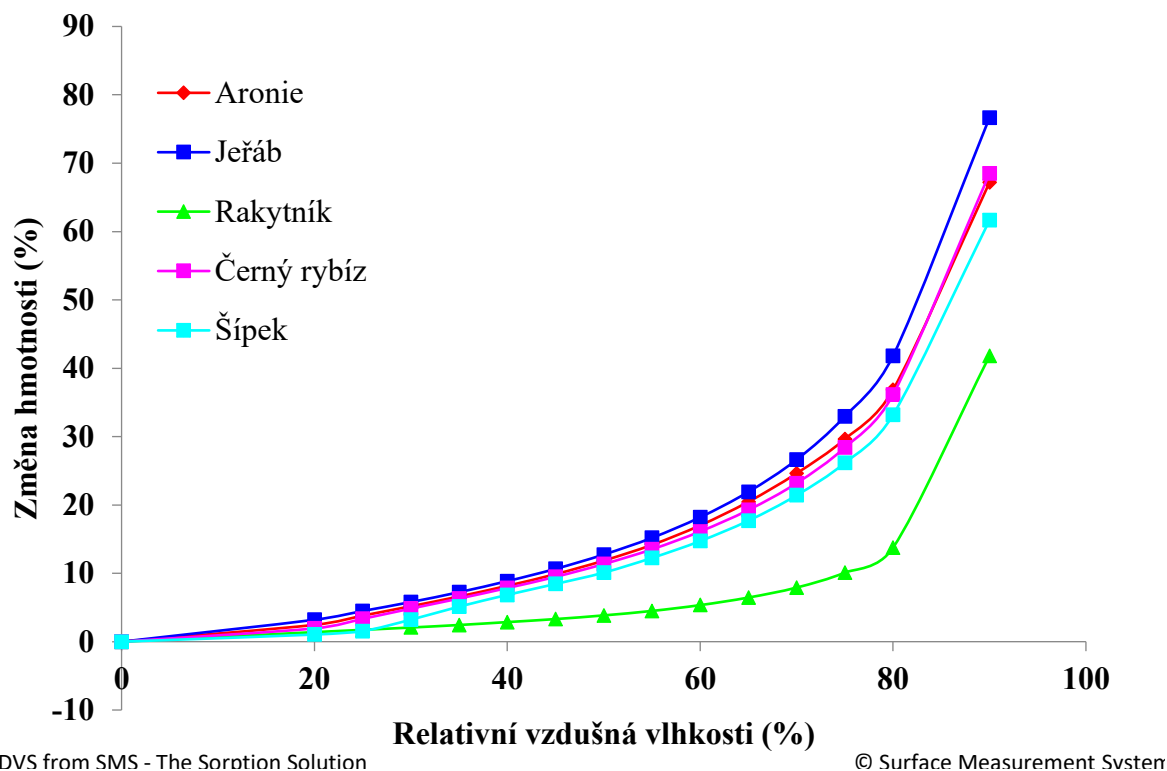
Vzorek	Aktivita vody	Obsah vlhkosti (%)
Černý rybíz	$0,241 \pm 0,003$	$4,9 \pm 0,5$
Aronie	$0,213 \pm 0,002$	$5,1 \pm 0,2$
Šípek	$0,217 \pm 0,003$	$3,5 \pm 0,1$
Jeřáb	$0,157 \pm 0,001$	$2,94 \pm 0,01$
Rakytník	$0,501 \pm 0,001$	$5,5 \pm 0,4$

Aritmetický průměr  $\pm$  standardní odchylka (N = 2)

Vzorek s nejnižším obsahem vlhkosti je prášek z plodů jeřábu ( $2,94$  %) následovaný práškem z šípku. Černý rybíz, aronie a rakytník měly podobný obsah vlhkosti ( $4,9-5,5$  %).

#### 3.2 Adsorpční izotermy prášku z lyofilizovaných plodů

Všechny čtyři vzorky (jeřáb, aronie, rybíz a šípek) vykazují velmi podobné adsorpční vlastnosti, a odpovídají typu III (viz. obrázek 17). Hmotnost vzorků postupně roste s rostoucí relativní vlhkostí. Při  $60\%$  relativní vlhkosti došlo k adsorpci vlhkosti v rozmezí  $14,7-18,2$  %. Při hodnotách nad  $65\%$  relativní vlhkosti byla pozorována výrazně vyšší adsorpce vlhkosti ve srovnání s intervalem  $20-60\%$  RH.



Obrázek 17 Adsorpční izotermy prášku z lyofilizovaných plodů při 25 °C

Největší změna hmotnosti v důsledku adsorpce vlhkosti byla zaznamenána při RH nad 70 %, například aronie adsorbovala 33 % vlhkosti při 75 % RH a 42 % při 80 % RH. Zvýšením relativní vlhkosti z 85 na 90 % došlo k téměř dvojnásobnému zvýšení hmotnosti vzorků. Z grafu lze také vyčíst, že prášek z jeřábu měl největší schopnost adsorpce vlhkosti v rozmezí 70–90 % RH, zatímco šípek měl tuto schopnost nejméně. Rybíz a aronie projevily podobnou úroveň adsorpce vlhkosti při různých hodnotách RH.

Z tabulky složení lze pozorovat, že rybíz, aronie a jeřabiny mají vysoký obsah cukrů, což potvrzuje přirozená sladkost plodů. Naopak šípek má nižší obsah cukrů. Rakytník je výjimečný svým vysokým obsahem tuků, což pravděpodobně ovlivňuje jeho schopnost adsorpce vody.

## 4 Závěr

Prášky z lyofilizovaných plodů se bezprostředně po výrobě vyznačují nízkou aktivitou vody a nízkým obsahem vlhkosti. S rostoucí relativní vzdušnou vlhkostí od 20 do 60 % došlo k nárůstu hmotnosti u vzorků aronie, jeřábu, černého rybízu a šípku o 14–17 %. V případě vysokých hodnot vzdušné vlhkosti (vyšší než 60 %) tvořila vlhkost až třetinu hmotnosti vzorků. Prášek z rakytníku měl výrazně horší schopnost adsorpce vlhkosti, pravděpodobně z důvodu vysokého obsahu tuků. Vlhkost vzduchu během skladování při 25 °C by neměla překročit hodnotu 60 %.



## 5 Literatura

AHMAD, Naveed, Farooq ANWAR a Anwar-ul-Hassan GILANI. Chapter 76-Rose Hip (*Rosa canina* L.) Oils. In: *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* [online]. Amsterdam: Elsevier, 2016, s. 667–675 [vid. 2024-04-28]. ISBN 978-0-12-416641-7. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-416641-7.00076-6

AIMONE, Clelia, Emanuela CALCIO GAUDINO, Mladen BRNCIC, Francisco J. BARBA, Giorgio GRILLO a Giancarlo CRAVOTTO. *Sorbus* spp. Berries Extraction In Subcritical Water: Bioactives Recovery And Antioxidant Activity. *Applied Food Research*. 2024, **4**(1), 100391. ISSN 27725022. Dostupné z: doi:10.1016/j.afres.2024.100391

ALDASORO, Juan Jose, Carlos AEDO, Carmen NAVARRO a Felix Munoz GARMENDIA. The Genus *Sorbus* (Maloideae, Rosaceae) In Europe And In North Africa: Morphological Analysis And Systematics. *Systematic Botany*. 1998, **23**(2), 189. ISSN 03636445. Dostupné z: doi:10.2307/2419588

ALLAN, Matthew C., Erica N. GRUSH, Bartek P. RAJWA, Christian E. BUTZKE a Lisa J. MAUER. Determination Of The Water Activities Of Wines And Spirits. *Food Analytical Methods*. 2019, **12**(12), 2753–2763. Dostupné z: doi:10.1007/s12161-019-01632-2

AREESIRISUK, Atsadawut, Apinun WANLAPA, Jantima TEEKA, Dolnapa KAEWPA a Chiu-Hsia CHIU. Potential Of Infrared Drying And Cell-Protective Agent Efficiency On Survival Of *Lactobacillus Plantarum* Probiotic In Fermented Soybean Meal. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2023, **53**, 102843. ISSN 18788181. Dostupné z: doi:10.1016/j.bcab.2023.102843

BAKOWSKA-BARCZAK, Anna M., Andreas SCHIEBER a Paul KOŁODZIEJCZYK. Characterization Of Canadian Black Currant (*Ribes nigrum* L.) Seed Oils And Residues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2009, **57**(24), 11528–11536. ISSN 0021-8561, 1520-5118. Dostupné z: doi:10.1021/jf902161k

BELESSIOTIS, V. a E. DELYANNIS. Solar Drying. *Solar Energy* [online]. 2011, **85**(8), s. 1665–1691. ISSN 0038092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2009.10.001

BERK, Zeki. *Food process engineering and technology*. 3rd ed. London: Academic Press. Food Science And Technology International Series. 2018a. ISBN 978-0-12-812018-7.

BERK, Zeki. Physical Properties Of Food Materials. In: *Food Process Engineering and Technology* [online]. Elsevier, 2018b, s. 1–29 [vid. 2024-05-20]. ISBN 978-0-12-812018-7. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-812018-7.00001-4

BHANDARI, B. Introduction to food powders. In: *Handbook of Food Powders* [online]: Elsevier, 2013, s. 1–25 [vid. 2024-04-07]. ISBN 978-0-85709-513-8. Dostupné z: doi:10.1533/9780857098672.1

BISHAYEE, Anupam, Thomas MBIMBA, Roslin J. THOPPIL, Erzsébet HÁZNAGY-RADNAI, Péter SIPOS, Altaf S. DARVESH, Hans G. FOLKESSON a Judit HOHMANN. Anthocyanin-Rich Black Currant (*Ribes nigrum* L.) Extract Affords Chemoprevention Against Diethylnitrosamine-Induced Hepatocellular Carcinogenesis In Rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2011, **22**(11), 1035–1046. ISSN 09552863. Dostupné z: doi:10.1016/j.jnutbio.2010.09.001

CAURIE, Matthew. Hysteresis phenomenon in foods. *International Journal of Food Science & Technology*. 2007, **42**(1), 45–49. ISSN 0950-5423, s. 1365-2621. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2621.2006.01203.x

COURTOIS, F. Roller and drum drying for food powder production. In: *Handbook of Food Powders*.: Elsevier, 2013, s. 85–104 [vid. 2024-05-02]. ISBN 978-0-85709-513-8. Dostupné z: doi:10.1533/9780857098672.1.85

CUQ, B., C. GAIANI, C. TURCHIULI, L. GALET, J. SCHER, R. JEANTET, S. MANDATO, J. PETIT, I. MURRIETA-PAZOS, A. BARKOUTI, P. SCHUCK, E. RONDET, M. DELALONDE, E. DUMOULIN, G. DELAPLACE a T. RUIZ. Advances in Food Powder Agglomeration Engineering. In: *Advances in Food and Nutrition Research* [online]. Elsevier, 2013, s. 41–103 [vid. 2024-06-11]. ISBN 978-0-12-410540-9. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-410540-9.00002-8

DANTAS, Adriana, Marc PIELLA-RIFÀ, Diogo Pontes COSTA, Xavier FELIPE a Pere GOU. Innovations In Spray Drying Technology For Liquid Food Processing: Design, Mechanisms, And Potential For Application. *Applied Food Research*. 2024, **4**(1), s. 100382. ISSN 27725022. Dostupné z: doi:10.1016/j.afres.2023.100382

DUBEY, Roshan Kumar, Satyam SHUKLA, Vaishnavi SHUKLA a Sumit SINGH. Sea buckthorn: A Potential Dietary Supplement With Multifaceted Therapeutic Activities.

*Intelligent Pharmacy*. 2023, S2949866X23001296. ISSN 2949866X. Dostupné z: doi:10.1016/j.ipha.2023.12.003

ERTEKIN, Can, Turkan AKTAS, Ilknur ALIBAS a Hajar ESSALHI. Drying Of Fruits And Vegetables. In: *Drying Technology in Food Processing* [online]. B.m.: Elsevier, 2023, s. 491–542 [vid. 2024-05-19]. ISBN 978-0-12-819895-7. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-819895-7.00004-3

ESTEBAN, M.A. a A. MARCOS. Equations For Calculation Of Water Activity In Cheese From Its Chemical Composition: A Review. *Food Chemistry*. 1990, **35**(3), s 179–186. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/0308-8146(90)90031-X

FASCELLA, Giancarlo, Francesca D'ANGIOLILLO, Michele Massimo MAMMANO, Margherita AMENTA, Flora V. ROMEO, Paolo RAPISARDA a Gabriele BALLISTRERI. Bioactive Compounds And Antioxidant Activity Of Four Rose Hip Species From Spontaneous Sicilian Flora. *Food Chemistry*. 2019, **289**, s. 56–64. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2019.02.127

FLOWERDEW, Bob a Jan HOŠEK. *Ovoce: velká kniha plodů*. Praha: Volvox Globator. 1997. ISBN 978-80-7207-052-7.

GLASER, Z., 17.9.2011, *Sorbus aucuparia* jeřáb ptačí. In: *botanickafotogalerie.cz* [online]. Rašovka (okr. Liberec). Dostupné z: [https://www.botanickafotogalerie.cz/fotogalerie.php?lng=cz&latName=Sorbus%20aucuparia&czName=je%C5%99%C3%A1b%20pta%C4%8D%C3%AD&title=Sorbus%20aucuparia%20%7C%20je%C5%99%C3%A1b%20pta%C4%8D%C3%AD&showPhoto\\_variant=photo\\_description&show\\_sp\\_descr=true&spec\\_syntax=species&sortby=lat](https://www.botanickafotogalerie.cz/fotogalerie.php?lng=cz&latName=Sorbus%20aucuparia&czName=je%C5%99%C3%A1b%20pta%C4%8D%C3%AD&title=Sorbus%20aucuparia%20%7C%20je%C5%99%C3%A1b%20pta%C4%8D%C3%AD&showPhoto_variant=photo_description&show_sp_descr=true&spec_syntax=species&sortby=lat)

GÖRNER, Fridrich a Ľubomír. VALÍK. *Aplikovaná mikrobiológia požívatin: princípy mikrobiológie požívatin: potravinársky významné mikroorganizmy a ich skupiny: mikrobiológia potravinárskych výrob: ochorenia mikrobiálneho pôvodu, ktorých zárodky sú prenášané požívatinami*. Bratislava: Malé centrum. 2004. ISBN 978-80-967064-9-5.

GRAJZER, Magdalena, Anna PRESCHA, Katarzyna KORZONEK, Anna WOJAKOWSKA, Mariusz DZIADAS, Anna KULMA a Halina GRAJETA. Characteristics Of Rose Hip (*Rosa canina* L.) Cold-Pressed Oil And Its Oxidative Stability Studied By The Differential Scanning

Calorimetry Method. *Food Chemistry*. 2015, **188**, s 459–466. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2015.05.034

GRANT, W. D. Life at low water activity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 2004, **359**(1448), s. 1249–1267. ISSN 0962-8436, 1471-2970. Dostupné z: doi:10.1098/rstb.2004.1502

GUO, Qiushan, Da-Wen SUN, Jun-Hu CHENG a Zhong HAN. Microwave Processing Techniques And Their Recent Applications In The Food Industry. *Trends in Food Science & Technology*. 2017, **67**, s. 236–247. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2017.07.007

HOLUBOVÁ, D., 13.11.2010, *Rosa canica* růže šípková. In: *botanickafotogalerie.cz* [online]. Brno-Židenice. Dostupné z: [https://www.botanickafotogalerie.cz/fotogalerie.php?lng=cz&latName=Rosa%20canina&czName=r%C5%AF%C5%BEe%20%C5%A1%C3%ADpkov%C3%A1&title=Rosa%20canina%20%7C%20r%C5%AF%C5%BEe%20%C5%A1%C3%ADpkov%C3%A1&showPhoto\\_variant=photo\\_description&show\\_sp\\_descr=true&spec\\_syntax=species&sortby=lat](https://www.botanickafotogalerie.cz/fotogalerie.php?lng=cz&latName=Rosa%20canina&czName=r%C5%AF%C5%BEe%20%C5%A1%C3%ADpkov%C3%A1&title=Rosa%20canina%20%7C%20r%C5%AF%C5%BEe%20%C5%A1%C3%ADpkov%C3%A1&showPhoto_variant=photo_description&show_sp_descr=true&spec_syntax=species&sortby=lat)

HRONEŠ, Michal. *Sorbus aucuparia* subsp. *aucuparia* - jeřáb ptačí pravý. 2009. ISSN 1805-126X.

HUANG, Dan, Pei YANG, Xiaohong TANG, Lei LUO a Bengt SUNDEN. Application Of Infrared Radiation In The Drying Of Food Products. *Trends in Food Science & Technology*. 2021, **110**, s. 765–777. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2021.02.039

HUI, Yiu H., ed. Fundamentals Of Food Dehydration. In: *Food drying science and technology: microbiology, chemistry, applications*. Lancaster, Pa: DEStech Publ, 2008a, s. 1–42. ISBN 978-1-932078-56-5.

HUI, Yiu H., ed. Solar Assisted Drying Of Foods. In: *Food drying science and technology: microbiology, chemistry, applications*. Lancaster, Pa: DEStech Publ. 2008b, s. 83-98. ISBN 978-1-932078-56-5.

CHAN, Leong-Perng, Tung-Wen YEN, Ya-Ping TSENG, Tina YUEN, Michael YUEN, Hywel YUEN a Chia-Hua LIANG. The Impact Of Oral Sea-Buckthorn Oil On Skin, Blood Markers, Ocular, And Vaginal Health: A Randomized Control Trial. *Journal of Functional Foods*. 2024, **112**, 105973. ISSN 17564646. Dostupné z: doi:10.1016/j.jff.2023.105973

CHEN, Xiao Dong a Arun S. MUJUMDAR, ed. *Drying Of Food*. In: *Drying Technologies In Food Processing*. Oxford: Blackwell Pub, 2008, s. 2-8. ISBN 978-1-4051-5763-6

CHEN, Yuan, Tarun Tejasvi MUTUKURI, Nathan E. WILSON a Qi (Tony) ZHOU. *Pharmaceutical Protein Solids: Drying Technology, Solid-State Characterization And Stability*. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2021, **172**, s. 211–233. ISSN 0169409X. Dostupné z: doi:10.1016/j.addr.2021.02.016

IJABADENIYI, O. A. a Y. PILLAY. *Microbial Safety Of Low Water Activity Foods: Study Of Simulated And Durban Household Samples*. *Journal of Food Quality*. 2017, s. 1–7. ISSN 0146-9428, 1745-4557. Dostupné z: doi:10.1155/2017/4931521

INGLEZAKIS, Vassilis J., Stavros G. POULOPOULOS a Hossein KAZEMIAN. *Insights Into The S-Shaped Sorption Isotherms And Their Dimensionless Forms*. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2018, **272**, s 166–176. ISSN 13871811. Dostupné z: doi:10.1016/j.micromeso.2018.06.026

JAFARI, Seid Mahdi a MALEKJANI, Narjes. *Inraduction*. In: *Drying technology in food processing: unit operations and processing equipment in the food industry*. Cambridge, MA Kidlington: Woodhead Publishing. 2023, s. 3–4. ISBN 978-0-12-822783-1.

JIA, Yangyang, Ibrahim KHALIFA, Lanlan HU, Wei ZHU, Jin LI, Kaikai LI a Chunmei LI. *Influence Of Three Different Drying Techniques On Persimmon Chips' Characteristics: A Comparison Study Among Hot-Air, Combined Hot-Air-Microwave, And Vacuum-Freeze Drying Techniques*. *Food and Bioproducts Processing*. 2019, **118**, s. 67–76. ISSN 09603085. Dostupné z: doi:10.1016/j.fbp.2019.08.018

KALOGIANNI, E.P., V.A. XYNOGALOS, T.D. KARAPANTSIOS a M. KOSTOGLU. *Effect Of Feed Concentration On The Production Of Pregelatinized Starch In A Double Drum Dryer*. *LWT*. 2002, **35**(8), s. 703–714. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1006/fstl.2002.0925

KAPASAKALIDIS, Petros G., Robert A. RASTALL a Michael H. GORDON. *Extraction Of Polyphenols From Processed Black Currant ( Ribes nigrum L.) Residues*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006, **54**(11), s. 4016–4021. ISSN 0021-8561, 1520-5118. Dostupné z: doi:10.1021/jf0529991



[%20temnoplodec%20%C4%8Dernoplod%C3%BD%20\(%E2%80%9C%C4%8Dern%C3%BD%20je%C5%99%C3%A1b%E2%80%9D\)&showPhoto\\_variant=photo\\_description&show\\_sp\\_descr=true&spec\\_syntax=species&sortby=lat](#)

LÁNSKÁ, Dagmar. *Jedlé rostliny z přírody*. Druhé Revidované A Doplněné Vydání. Praha: Aventinum. 2021. ISBN 978-80-7442-127-3.

LI, Heping a Hosahalli RAMASWAMY. Microwave Drying. In: *Food drying science and technology: microbiology, chemistry, applications*. Lancaster, Pa: DEStech Publ, 2008, s. 127–155. ISBN 978-1-932078-56-5.

LIGEŻA, Małgorzata, Dominika WYGLĄDACZ, Aleksandra TOBIASZ, Kamila JAWORECKA a Adam REICH. Natural Cold Pressed Oils As Cosmetic Products. *Family Medicine & Primary Care Review*. 2016, **4**, s 443–447. ISSN 1734-3402. Dostupné z: doi:10.5114/fmpcr.2016.63699

LIU, Yongzhong, Yanfei ZHAO a Xiao FENG. Exergy Analysis For A Freeze-Drying Process. *Applied Thermal Engineering*. 2008, **28**(7), s. 675–690. ISSN 13594311. Dostupné z: doi:10.1016/j.applthermaleng.2007.06.004

MEDA, Laetitia a Cristina RATTI. REHYDRATION OF FREEZE-DRIED STRAWBERRIES AT VARYING TEMPERATURES. *Journal of Food Process Engineering*. 2005, **28**(3), s. 233–246. ISSN 0145-8876, 1745-4530. Dostupné z: doi:10.1111/j.1745-4530.2005.00404.x

MICHALCOVÁ, D. *Hippophaë Rhamnoides* Rakytník Řešetlákový. In: *botanickafotogalerie.cz*. Brno-Jundrov. 20.10.2013 Dostupné z: [https://www.botanickafotogalerie.cz/fotogalerie.php?lng=cz&latName=Hippopha%C3%AB%20rhamnoides&czName=rakytn%C3%ADk%20%C5%99e%C5%A1etl%C3%A1kov%C3%BD%20\(rakytn%C3%ADk%20%C3%BAzkolist%C3%BD\)&title=Hippopha%C3%AB%20rhamnoides%20%7C%20rakytn%C3%ADk%20%C5%99e%C5%A1etl%C3%A1kov%C3%BD%20\(rakytn%C3%ADk%20%C3%BAzkolist%C3%BD\)&showPhoto\\_variant=photo\\_description&show\\_sp\\_descr=true&spec\\_syntax=species&sortby=lat](https://www.botanickafotogalerie.cz/fotogalerie.php?lng=cz&latName=Hippopha%C3%AB%20rhamnoides&czName=rakytn%C3%ADk%20%C5%99e%C5%A1etl%C3%A1kov%C3%BD%20(rakytn%C3%ADk%20%C3%BAzkolist%C3%BD)&title=Hippopha%C3%AB%20rhamnoides%20%7C%20rakytn%C3%ADk%20%C5%99e%C5%A1etl%C3%A1kov%C3%BD%20(rakytn%C3%ADk%20%C3%BAzkolist%C3%BD)&showPhoto_variant=photo_description&show_sp_descr=true&spec_syntax=species&sortby=lat)

MICHALSKA, Anna, Aneta WOJDYŁO, Krzysztof LECH, Grzegorz P. ŁYSIAK a Adam FIGIEL. Effect Of Different Drying Techniques On Physical Properties, Total Polyphenols And Antioxidant Capacity Of Blackcurrant Pomace Powders. *LWT*. 2017, **78**, s. 114–121. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2016.12.008

MOHANA, Y., R. MOHANAPRIYA, T. ANUKIRUTHIKA, K.S. YOHA, J.A. MOSES a C. ANANDHARAMAKRISHNAN. Solar Dryers For Food Applications: Concepts, Designs, And Recent Advances. *Solar Energy*. 2020, **208**, s. 321–344. ISSN 0038092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2020.07.098

MUJUMDAR, Arun S., ed. Atmospheric Single Drum Dryers. In: *Handbook of industrial drying*. Fourth edition. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group. 2015a, s. 249. ISBN 978-1-4665-9665-8.

MUJUMDAR, Arun S. Introduction. In: *Handbook of industrial drying*. 4th ed. Boca Raton (Fla.): CRC press. 2015b, s. 249. ISBN 978-1-4665-9665-8.

MUJUMDAR, Arun S. a Chung Lim LAW. Drying Technology: Trends And Applications In Postharvest Processing. *Food and Bioprocess Technology*. 2010, **3**(6), s. 843–852. ISSN 1935-5130, 1935-5149. Dostupné z: doi:10.1007/s11947-010-0353-1

MUÑIZ-LERMA, Jose, Amy NOMMEOTS-NOMM, Kristian WATERS a Mathieu BROCHU. A Comprehensive Approach To Powder Feedstock Characterization For Powder Bed Fusion Additive Manufacturing: A Case Study On Alsi7mg. *Materials*. 2018, **11**(12). ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma11122386

NELSON-JONES, E., D. BRIGGS a A. SMITH. The Origin Of Intermediate Species Of The Genus Sorbus. *Theoretical and Applied Genetics*. 2002, **105**(6), s. 953–963. ISSN 0040-5752, 1432-2242. Dostupné z: doi:10.1007/s00122-002-0957-6

PARDHI, Chandrakumar B a Jiwanlal L BHAGORIA. Development And Performance Evaluation Of Mixed-Mode Solar Dryer With Forced Convection. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2013, **4**(1), 23. ISSN 2251-6832. Dostupné z: doi:10.1186/2251-6832-4-23

POPOVIĆ-DJORDJEVIĆ, Jelena, Bojana ŠPIROVIĆ-TRIFUNOVIĆ, Ilinka PEĆINAR, Luiz FERNANDO CAPP A DE OLIVEIRA, Đurđa KRSTIĆ, Dragana MIHAJLOVIĆ, Milica Fotirić AKŠIĆ a Jesus SIMAL-GANDARA. Fatty Acids In Seed Oil Of Wild And Cultivated Rosehip (*Rosa Canina L.*) From Different Locations In Serbia. *Industrial Crops and Products*. 2023, **191**, 115797. ISSN 09266690. Dostupné z: doi:10.1016/j.indcrop.2022.115797



QUIRIJNS, Elisabeth J, Anton Jb VAN BOXTEL, Wilko Kp VAN LOON a Gerrit VAN STRATEN. Sorption Isotherms, GAB Parameters And Isotheric Heat Of Sorption. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005, **85**(11), s. 1805–1814. ISSN 0022-5142, 1097-0010. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.2140

RACHTAN-JANICKA, Joanna, Alicja PONDER a Ewelina HALLMANN. The Effect Of Organic And Conventional Cultivations On Antioxidants Content In Blackcurrant (*Ribes Nigrum L.*) Species. *Applied Sciences*. 2021, **11**(11), 5113. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app11115113

RATTI, C. Freeze Drying For Food Powder Production. In: *Handbook of Food Powders* [online]. Elsevier, 2013, s. 57–84 [vid. 2024-05-09]. ISBN 978-0-85709-513-8. Dostupné z: doi:10.1533/9780857098672.1.57

RATTI, Cristina. Dehydration Of Food. General Concepts. In: *Advances in food dehydration*. Boca Raton: CRC Press. 2009, s. 1–37. ISBN 978-0-429-14729-6.

REID, David S. a Owen R. FENNEMA. Water And Ice. In: *Fennema's food chemistry, 4th Edition*. 4th. ed. Boca Raton (Fla.): CRC press, Food science and technology. 2008, 169, s. 17–82. ISBN 978-0-8493-9272-6.

RUIZ CELMA, A., S. ROJAS a F. LOPEZ-RODRÍGUEZ. Mathematical Modelling Of Thin-Layer Infrared Drying Of Wet Olive Husk. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensificatio*. 2008, **47**(9–10), s. 1810–1818. ISSN 02552701. Dostupné z: doi:10.1016/j.cep.2007.10.003

SAADATKHAH, Nooshin, Adrián CARILLO GARCIA, Sarah ACKERMANN, Philippe LECLERC, Mohammad LATIFI, Said SAMIH, Gregory S. PATIENCE a Jamal CHAOUKI. Experimental methods in chemical engineering: Thermogravimetric analysis—TGA. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. 2020, **98**(1), s. 34–43. ISSN 0008-4034, 1939-019X. Dostupné z: doi:10.1002/cjce.23673

SCHÖNFELD, Barbara, Ulrich WESTEDT a Karl G. WAGNER. Vacuum Drum Drying – A Novel Solvent-Evaporation Based Technology To Manufacture Amorphous Solid Dispersions In Comparison To Spray Drying And Hot Melt Extrusion. *International Journal of Pharmaceutics*. 2021, **596**, 120233. ISSN 03785173. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijpharm.2021.120233

SIDOR, Andrzej, Agnieszka DROŹDŹYŃSKA a Anna GRAMZA-MICHAŁOWSKA. Black Chokeberry (*Aronia Melanocarpa*) And Its Products As Potential Health-Promoting Factors - An Overview. *Trends in Food Science & Technology*. 2019, **89**, s. 45–60. ISSN 09242244. Dostupné z: doi:10.1016/j.tifs.2019.05.006

SILVA, Neiton C., Ricardo C. SANTANA, Claudio R. DUARTE a Marcos A. S. BARROZO. Impact Of Freeze-Drying On Bioactive Compounds Of Yellow Passion Fruit Residues. *Journal of Food Process Engineering*. 2017, **40**(4), e12514. ISSN 0145-8876, 1745-4530. Dostupné z: doi:10.1111/jfpe.12514

SILVA-ESPINOZA, Marilú A., Charfedinne AYED, Timothy FOSTER, María Del Mar CAMACHO a Nuria MARTÍNEZ-NAVARRETE. The Impact Of Freeze-Drying Conditions On The Physico-Chemical Properties And Bioactive Compounds Of A Freeze-Dried Orange Puree. *Foods*. 2019, **9**(1), 32. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods9010032

SONG, Yating, Guoyun ZHANG, Ning CHEN, Jianguo ZHANG a Caiyun HE. Metabolomic And Transcriptomic Analyses Provide Insights Into The Flavonoid Biosynthesis In Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides L.*). *LWT*. 2023, **187**, 115276. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2023.115276

ŠAVIKIN, Katarina P., Gordana M. ZDUNIĆ, Dijana B. KRSTIĆ-MILOŠEVIĆ, Helena J. ŠIRCELJ, Danijela D. STEŠEVIĆ a Dejan S. PLJEVLJAKUŠIĆ. *Sorbus Aucuparia* And *Sorbus Aria* As A Source Of Antioxidant Phenolics, Tocopherols, And Pigments. *Chemistry & Biodiversity*. 2017, **14**(12), e1700329. ISSN 1612-1872, 1612-1880. Dostupné z: doi:10.1002/cbdv.201700329

TABART, Jessica, Thierry FRANCK, Claire KEVERS, Joël PINCEMAIL, Didier SERTEYN, Jean-Olivier DEFRAIGNE a Jacques DOMMES. Antioxidant And Anti-Inflammatory Activities Of *Ribes Nigrum* Extracts. *Food Chemistry*. 2012, **131**(4), s. 1116–1122. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2011.09.076

TABASZEWSKA, Małgorzata a Dorota NAJGEBAUER-LEJKO. The Content Of Selected Phytochemicals And In Vitro Antioxidant Properties Of *Rose Hip* (*Rosa Canina L.*) Tinctures. *NFS Journal*. 2020, **21**, s. 50–56. ISSN 23523646. Dostupné z: doi:10.1016/j.nfs.2020.09.003

TEODORESCU, Adina Andreea, Ștefania Adelina MILEA, Bogdan PĂCULARU-BURADA, Oana Viorela NISTOR, Doina Georgeta ANDRONOIU, Gabriela RÂPEANU a Nicoleta

STĂNCIUC. Customized Technological Designs To Improve The Traditional Use Of Rosa Canina Fruits In Foods And Ingredients. *Plants*. 2023, **12**(4), 754. ISSN 2223-7747. Dostupné z: doi:10.3390/plants12040754

VARGAS, Armando Rojas, Liudmila Pérez GARCÍA, Crispin Sánchez GUILLEN, Forat Yasir ALJABERI, Ali Dawood SALMAN, Saja Mohsen ALARDHI a Phuoc-Cuong LE. Performance Evaluation Of A Flighted Rotary Dryer For Lateritic Ore In Concurrent Configuration. *Heliyon*. 2023, **9**(11), e21345. ISSN 24058440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2023.e21345

VELÍŠEK, Jan. Interakce V Potravinách. In: *Chemie potravin*. Vyd. 2., upr. Tábor: OSSIS. 2002a , s. 148. ISBN 978-80-86659-01-5.

VELÍŠEK, Jan. Sorpční Izotermy. In: *Chemie potravin*. Vyd. 2., upr. Tábor: OSSIS. 2002b, s. 151–153. ISBN 978-80-86659-01-5.

VELÍŠEK, Jan. Voda V Potravinách. In: *Chemie potravin*. Vyd. 2., upr. Tábor: OSSIS. 2002c, s. 113–114. ISBN 978-80-86659-01-5.

VISAVALE, G. L. Principles, Classification And Selection Of Solar Dryers. In: *Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations*. 2012, s. 1–50. ISBN 978-981-07-3336-0.

VOELKER, Adrienne L., Abigail A. SOMMER a Lisa J. MAUER. Moisture Sorption Behaviors, Water Activity-Temperature Relationships, And Physical Stability Traits Of Spices, Herbs, And Seasoning Blends Containing Crystalline And Amorphous Ingredients. *Food Research International*. 2020, **136**, 109608. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2020.109608

WOO, M.W. a B. BHANDARI. Spray Drying For Food Powder Production. In: *Handbook of Food Powders*. Elsevier, 2013, s. 29–56 [vid. 2024-05-01]. ISBN 978-0-85709-513-8. Dostupné z: doi:10.1533/9780857098672.1.29

XIE, Xinyao, Yongcheng SONG, Xiufang BI, Xiaocui LIU, Yage XING a Zhenming CHE. Characterization Of Sea Buckthorn Polysaccharides And The Analysis Of Its Regulatory Effect On The Gut Microbiota Imbalance Induced By Cefixime In Mice. *Journal of Functional Foods*. 2023, **104**, 105511. ISSN 17564646. Dostupné z: doi:10.1016/j.jff.2023.105511

YANNIOTIS, Stavros a Jiří BLAHOVEC. Model Analysis Of Sorption Isotherms. *LWT - Food Science and Technology*. 2009, **42**(10), s. 1688–1695. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2009.05.010

ZEECE, Michael. Chapter One - Chemical Properties Of Water And Ph. In: *Introduction to the Chemistry of Food*. Academic press, 2020, s. 1-36. ISBN 978-0-12-809434-1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809434-1.00001-3>

ZYMONE, Kristina, Lina RAUDONE, Raimondas RAUDONIS, Mindaugas MARKSA, Liudas IVANAUSKAS a Valdimaras JANULIS. *Phytochemical Profiling of Fruit Powders of Twenty Sorbus L. Cultivars*. *Molecules*. 2018, **23**(10), 2593. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules23102593