

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Vliv lyofilizace na vlastnosti dýňového prášku
Diplomová práce

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michaela Štěpánková**
Osobní číslo: **C21439**
Studijní program: **N0531A130030 Hodnocení a analýza potravin**
Téma práce: **Vliv lyofilizace na vlastnosti dýňového prášku**
Téma práce anglicky: **The characteristics of freeze-dried pumpkin powder**
Zadávající katedra: **Katedra analytické chemie**

Zásady pro vypracování

1. Popište botanické zařazení dýně (*Cucurbita* sp.) a její výživové složení. S využitím zahraničních odborných periodik popište využití dýňového prášku/mouky v potravinách, zdůrazněte výhody obohacování potravin dýňovým práškem/moukou. V rámci teoretické části popište princip lyofilizace (výhody, nevýhody).
2. Připravte dýňový prášek lyofilizací za různých podmínek a charakterizujte ho na základě vybraných fyzikálních a chemických parametrů.
3. Výsledky vyhodnoťte s využitím statistických metod a kriticky diskutujte s dostupnou literaturou.

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

Seznam doporučené literatury:

Podle pokynů vedoucího práce.

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

Konzultant diplomové práce: **MSc. Sali Muriqi**
Katedra analytické chemie

Datum zadání diplomové práce: **7. února 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **5. května 2023**

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

L.S.

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

V Pardubicích dne 20. února 2023

Prohlašuji:

Práci s názvem „Vliv lyofilizace na vlastnosti dýňového prášku“ jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

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

V Pardubicích dne 20. 4. 2023

Bc. Michaela Štěpánková v. r.

Poděkování

Ráda bych zde poděkovala především vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Liboru Červenkovi, Ph.D. za odborné vedení, věcné připomínky, cenné rady, pomoc, ochotu a vstřícný přístup při zpracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat konzultantovi Ing. Sali Muriqi a Ing. Tomášovi Mikyskovi, Ph.D. za jejich čas, ochotu a pomoc při provádění experimentů. Také bych chtěla poděkovat celé své rodině a přátelům za podporu během studia.

ANOTACE

První část diplomové práce popisuje dýně, jejich druhy, klimatické a pěstitelské požadavky, výživovou hodnotu a význam v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Druhá část práce se zabývá pojmem lyofilizace, popisuje její princip a průběh, výhody i nevýhody a také její využití. Třetí část této práce obsahuje stručné informace o fyzikálních a chemických parametrech, které byly v této práci zvoleny pro charakterizaci dýňového prášku sušeného pomocí různě nastavených parametrů při lyofilizaci. Vybrané parametry byly vyhodnoceny v závěrečné části.

KLÍČOVÁ SLOVA

antioxidant, fenolická látka, funkční vlastnost, karoteny, sorpce vlhkosti

TITLE

The characteristics of freeze-dried pumpkin powder

ANNOTATION

The first part of the master's thesis describes pumpkins, their varieties, climatic and cultivation conditions, nutritional value, and their significance in the food and pharmaceutical industry. The second part focuses on lyophilization, defines the term, describes the crucial principles and the process itself, and pays attention to its uses, advantages, and disadvantages. The third part includes information about physical and chemical parameters used to characterize the pumpkin powder, freeze-dried based on various lyophilization settings. Selected parameters were evaluated in the final section.

KEYWORDS

antioxidant, phenolic substance, functional property, carotenes, moisture sorption

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	11
TERMINOLOGIE.....	12
ÚVOD.....	14
1 DÝNĚ	15
1.1 Botanické zařazení a druhy	15
1.2 Historie a původ	15
1.3 Vzhled rostliny	15
1.4 Klimatické požadavky.....	16
1.5 Vhodná výživa a zavlaha	16
1.6 Choroby a škůdci.....	16
1.7 Doba sklizně a vhodné skladování.....	17
1.8 Obsahové látky a výživová hodnota dýně.....	17
1.9 Význam dýně ve výživě a lékařství	18
2 LYOFILIZACE	20
2.1 Princip a průběh lyofilizace	20
2.2 Lyofilizátor a jeho součásti	22
2.3 Výhody a nevýhody lyofilizace	22
2.4 Využití lyofilizace v potravinářství a přírodních vědách.....	23
3 FYZIKÁLNÍ PARAMETRY	24
3.1 Vlhkost a aktivita vody v potravinách	24
3.2 Měření barevnosti.....	24
3.3 Vlhkost a sorpční izotermy	25
3.4 Objemová hmotnost	27
3.5 Specifická hmotnost.....	28
3.6 Carr Index a Hausnerův poměr a jejich výpočet.....	28
3.7 Vaznost vody a její výpočet	29
3.8 Bobtnací kapacita a její výpočet	29
3.9 Index rozpustnosti ve vodě a jeho výpočet	29
4 CHEMICKÉ PARAMETRY	31
4.1 Fenolické látky a metody jejich stanovení.....	31
4.2 Látky s antioxidačním účinkem a metody jejich stanovení	31
4.2.1 β -karoten a jeho význam ve výživě.....	32

5	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	34
5.1	Přístroje a pomůcky.....	34
5.2	Použité chemikálie	35
5.3	Použitý vzorek dýně.....	35
5.4	Příprava a lyofilizace vzorku	35
5.5	Postupy analýz pro stanovení fyzikálních parametrů.....	37
5.5.1	Stanovení obsahu vlhkosti.....	37
5.5.2	Úprava vzorku	37
5.5.3	Měření barevnosti.....	37
5.5.4	Analýza sorpčních vlastností.....	37
5.5.5	Měření objemové hmotnosti.....	38
5.5.6	Měření specifické hmotnosti	38
5.5.7	Výpočet Carr Indexu a Hausnerova poměru	38
5.5.8	Stanovení vaznosti vody.....	38
5.5.9	Stanovení bobtnací kapacity.....	39
5.5.10	Stanovení indexu rozpustnosti ve vodě	39
5.6	Postupy analýz pro stanovení chemických parametrů	39
5.6.1	Extrakce vzorku.....	39
5.6.2	Stanovení celkového obsahu fenolických látek.....	40
5.6.3	Stanovení antioxidační kapacity metodou s DPPH radikálem.....	40
5.6.4	Stanovení obsahu β -karotenu	41
5.7	Zpracování dat.....	41
6	VÝSLEDKY A DISKUZE	42
6.1	Výsledky fyzikálních vlastností dýňového prášku.....	42
6.1.1	Obsah vlhkosti.....	42
6.1.2	Vliv lyofilizace na barevnost dýňového prášku	43
6.1.3	Vliv lyofilizace na sorpční vlastnosti dýňového prášku.....	45
6.1.4	Vliv lyofilizace na sypné vlastnosti dýňového prášku	48
6.1.5	Vliv lyofilizace na vaznost vody, bobtnací kapacitu a index rozpustnosti dýňového prášku.....	50
6.1.6	SEM snímky dýňového prášku.....	54
6.2	Vliv lyofilizace na obsah vybraných látek v dýňovém prášku	56
6.2.1	Obsah fenolických látek	56
6.2.2	Antioxidační kapacita dýňového prášku	57
6.2.3	Vliv lyofilizace na obsah β -karotenu v dýňovém prášku	58

6.3	Analýza hlavních komponent.....	59
7	ZÁVĚR	61
8	POUŽITÁ LITERATURA	62
9	PŘÍLOHY	73

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 – Fázový diagram vody [33]	20
Obrázek 2 – Barevný prostor $L^* a^* b^*$ (systém CIELAB) [44].....	25
Obrázek 3 – Typy adsorpčních izoterm (osa x – aktivita vody, osa y – vlhkost) [56]	26
Obrázek 4 – Schéma průběhu lyofilizace s postupným snižováním tlaku	36
Obrázek 5 – Schéma průběhu lyofilizace s postupným snižováním tlaku	36
Obrázek 6 – Obsah vlhkosti v dýňovém prášku	42
Obrázek 7 – Adsorpční (modré) a desorpční (červené) izotermy vzorků lyofilizovaného dýňového prášku	46
Obrázek 8 – Naměřené hodnoty vaznosti vody prášku lyofilizované dýně	51
Obrázek 9 – Naměřené hodnoty bobtnací kapacity prášku lyofilizované dýně	52
Obrázek 10 – Naměřené hodnoty indexu rozpustnosti prášku lyofilizované dýně	53
Obrázek 11 – SEM snímky lyofilizovaných dýňových prášků	55
Obrázek 12 – Naměřené obsahy β -karotenu v prášku lyofilizované dýně.....	58
Tabulka 1 – Naměřené hodnoty jednotlivých parametrů barevnosti lyofilizované dýně.....	43
Tabulka 2 – Odhady parametrů Caurie modelu popisující izotermy vzorků lyofilizovaného dýňového prášku (postup s pomalým snižováním tlaku).....	47
Tabulka 3 – Odhady parametrů Caurie modelu popisující izotermy vzorků lyofilizovaného dýňového prášku (postup s rychlým snížením tlaku)	47
Tabulka 4 – Naměřené a vypočítané hodnoty vybraných fyzikálních charakteristik u lyofilizovaného dýňového prášku	48
Tabulka 5 – Naměřené hodnoty antioxidačních charakteristik prášku lyofilizované dýně.....	56

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ATC	Antioxidant capacity (Antioxidační kapacita)
CI	Carr Index (Carrův index)
CUPRAC	Cupric Reduction Antioxidant Capacity (zkouška antioxidační aktivity na redukci mědi)
DPPH	2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power (zkouška antioxidační aktivity na redukci železa)
HR	Hausner Ratio (Hausnerův poměr)
mbar	milibar (vedlejší jednotka tlaku)
ORAC	Oxygen Radical Absorbance Capacity (schopnost eliminovat kyslíkové radikály)
Pa	pascal (jednotka tlaku)
RH	Relative Humidity (relativní vlhkost vzduchu)
SWC	Swelling Capacity (bobtnací kapacita)
TEAC	Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (antioxidační aktivita vyjádřená v ekvivalentu Troloxu)
TPC	Total Phenolic Content (celkový obsah fenolů)
Trolox	6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-karboxylová kyselina
UV-Vis	Ultraviolet-Visible (ultrafialovo-viditelná)
WHC	Water Holding Capacity (vaznost vody)
WSI	Water Solubility Index (index rozpustnosti ve vodě)

TERMINOLOGIE

adsorpce: navázání molekul na povrch látky [1]

afinita: schopnost látky slučovat se či reagovat s jinou látkou [2]

analgetika: látky používané ke tlumení bolesti [3]

apoptóza: programovaná buněčná smrt sloužící k odstranění nežádoucích buněk [4]

artritida: onemocnění kloubů projevující se jejich tuhnutím, otokem a bolestí [5]

asociativní: sdružující, slučující, spojující [6]

ateroskleróza: onemocnění tepen a cév vznikající především ukládáním tuku do jejich stěn [7]

degenerativní: postupně chátrající nebo zhoršující se [vlastní definice autora]

degradace: snížení, znehodnocení, úpadek [vlastní definice autora]

desorpce: uvolnění navázaných molekul z povrchu látky [vlastní definice autora]

diferenciace: biologický proces kdy se buňky začínají rozlišovat (specializovat) [vlastní definice autora]

difúze: samovolné rozptylování částic z místa jejich vysoké koncentrace do místa s nízkou koncentrací [8]

elektroforéza: separační metoda dělicí látky dle jejich odlišné pohyblivosti ve stejnosměrném elektrickém poli [vlastní definice autora]

fytochemikálie: biologicky aktivní látky v rostlinách sloužící především k jejich ochraně [vlastní definice autora]

hydrofobní: neinteragující nebo odpuzující vodu [vlastní definice autora]

inhibice: zpomalení, zastavení, znemožnění nějaké funkce či vlastnosti [vlastní definice autora]

kalabasa: druh tykve pocházející z Ameriky [9]

konkávní: vyhloubený, vydutý [vlastní definice autora]

konvexní: vypouklý [vlastní definice autora]

morfologie: biologická struktura, velikost a tvar [10]

nehygroskopický: nepohlcující a nezadržující vodu [vlastní definice autora]

patogen: mikroorganismus schopný způsobit závažné onemocnění [vlastní definice autora]

rekonstituce: znovuoobnovení, přestavení, opětovné sestavení [vlastní definice autora]

sigmoidní: matematická funkce zakřivená do „S“ tvaru [11]

termolabilní: citlivý vůči vyšším teplotám [vlastní definice autora]

ÚVOD

Čeleď *Cucurbitaceae* (tykvovité) obsahuje mnoho druhů rostlin, včetně důležitých plodin, které je možné pro své jedlé plody (melouny, okurky, dýně atd.) pěstovat i v České republice. Dýně (*Cucurbita* sp.) je velmi starou kulturní plodinou, které se v současné době dostává stále více pozornosti. Díky obsahu nutričně hodnotných látek (polyfenoly, karotenoidy, tokoferoly aj.) mají dýně příznivý vliv na lidský organismus. Používají se například při řešení trávicích problémů, pro podporu činnosti mozku nebo za účelem snížení krevní srážlivosti a tlaku. Kromě toho se dýně s oblibou využívají i pro kulinářské účely a v potravinářském průmyslu. Tento botanický druh zahrnuje mnoho odrůd, které se mohou lišit velikostí, barvou, tvarem, chutí či látkovým složením.

Aby bylo možné využít prospěšných látek a vlastností, které dýně nabízí, je potřeba výchozí surovinu zpracovat co nejšetrněji. Poměrně oblíbenou a šetrnou metodou, která se nejčastěji používá pro sušení ovoce a zeleniny, je lyofilizace. Tato technika, jejíž princip je založen na sublimaci vody (či jiného rozpouštědla), využívá velmi nízkého tlaku (vakua) i sušících teplot, takže je vhodná zejména pro dehydrataci surovin obsahujících termolabilní látky. Nicméně značnou nevýhodou lyofilizace je dlouhá doba sušení, která se odráží především na vysoké energetické spotřebě.

Cílem této práce bylo ověřit vliv různých podmínek lyofilizace na fyzikální a chemické parametry vzniklého prášku.

1 DÝNĚ

1.1 Botanické zařazení a druhy

Tato rostlina, nazývaná též jako tykev, se řadí do skupiny plodové zeleniny. Řadí se do čeledi *Cucurbitaceae*, která zahrnuje mnoho druhů, jež slouží nejen pro lidskou výživu, ale i jako zdroj užitečných vláken pro výrobu mycích hub, klobouků apod. [12]. V tomto ohledu je nejvýznamnější rod *Cucurbita*. Mezi jeho nejčastější a nejvyužívanější druhy patří *C. argyrosperma* C. Huber (tykev stříbrná), *C. ficifolia* Bouché (tykev fikolistá), *C. moschata* Duch. (tykev muškátová), *C. maxima* Duch. (tykev velkoplodá) a *C. pepo*. L. (tykev obecná) [13, 14]. Obrázky zmíněných druhů jsou uvedeny v *Příloze 1*.

1.2 Historie a původ

Pěstování dýně se objevilo už za dob starých Řeků, Římanů a Egyptanů. V těchto dobách byla nejvíce známá kalabasa (lagenárie). Využívána byla zejména její dřevnatělá část, která sloužila pro výrobu nádob či plovoucích bojek. Tento druh dýně tedy nesloužil jako zdroj potravy, a to především kvůli jeho značné hořkosti. Avšak postupem času zemědělci objevili i jedlé druhy a tím se rozmohlo využití dýní jakožto potravy [15].

Přesný původ dýní není zcela znám, nicméně jako jejich původní oblast je označována Jižní Amerika [15]. Obecně lze říci, že se dýním daří nejvíce v oblastech tropů a subtropů. Jedná se zejména o území Afriky a Madagaskaru, Střední a Jižní Ameriky, Jihovýchodní Asie a Malajsie [14]. Do Evropy byla dýně přivezena až v 16. století [16].

1.3 Vzhled rostliny

Dýně je jedna z morfologicky nejpestřejších rostlin plodové zeleniny. Nicméně někdy se také označuje jako ovoce, protože její plod obsahuje semena. Značnou část této pnoucí se rostliny tvoří listy, které jsou převážně řapíkaté, srstnaté (drsne) a vyřezávané. Stonek může mít délku až 10 m. Květy nálevkovitého tvaru jsou většinou žluté až oranžové. Po jejich odkvětu se tvoří plody, které mají různou velikost i tvar (zvonový, válcový, kyjovitý, kulatý, podlouhlý). Jejich kůra může být hladká, hrbolatá nebo rýhovaná. Barva může být také různorodá, ale nejčastěji se jedná o odstíny zelené, žluté a oranžové [15–17].

1.4 Klimatické požadavky

Všechny zástupci z čeledi tykvovitých patří k teplomilným rostlinám. Jejich semena vyžadují teplotu alespoň 15 °C, nicméně optimální rozmezí teplot pro jejich klíčení je 29–32 °C. Výsev dýní se tradičně provádí v polovině dubna. Samotné dýně nejvíce rostou při denních teplotách 23–29 °C a teplotách 15–21 °C v noci. Pokud teplota klesne pod 10 °C, růst se zastaví. Poškození rostlin a zpomalení zrání nastává už při 5 °C. Zhruba po jedné hodině, kdy je rostlina vystavena mrazu (teploty nižší než 0 °C), dochází k jejímu úhynu [18, 19]. Vliv teploty podnebí také ovlivňuje kvetení a násadu plodů. Dýně se řadí mezi jednodomé rostliny, což znamená, že každá rostlina vytváří jak samčí, tak samičí květy. Zpočátku se díky nižším teplotám (pod 22 °C) u většiny kultivarů tvoří pouze samčí květy, které poskytují pyl. Nicméně existují i kultivary (tykev letní), které vlivem chladnějšího podnebí tvoří nejprve květy samičí [18].

1.5 Vhodná výživa a závlaha

Pro pěstování dýní je nejvhodnější písčité půda, která je slabě kyselá (pH 6–6,5). Je také žádoucí, aby obsahovala dostatek organické hmoty, kterou je možné do půdy zapracovat při orbě využitím statkovým hnojiv nebo kompostu [14]. Díky středně hlubokému kořenovému systému, jenž dokáže poměrně dobře nalézat vodu v půdě, se dýně běžně pěstují bez závlahy. Nicméně vodní stres má značný vliv na výslednou velikost a počet plodů rostliny, takže je vhodné v období tvorby květu a plodu využít doplňkovou závlahu [18, 20].

Dýni je vhodné využívat jako předplodinu kukuřice, vojtěšky nebo pšenice. Naopak její výsev se hodí zařadit po jeteli či luštěninách. Jelikož má některé společné choroby s okurkami, je vhodné jejich pěstování na stejné půdě oddělit alespoň čtyř roční dobou [21].

1.6 Choroby a škůdci

Nejčastější chorobu, postihující listy dýní, způsobuje rostlinný houbový patogen *Erysiphe cichoracearum* (padlí). Jeho výskyt podporuje nedostatek světla, nízká vzdušná vlhkost ve spojení s teplotami nad 22 °C a nadbytečné hnojení dusíkem. Infikovaná rostlina má bílé moučnaté skvrny na listech, které se postupně rozšiřují po celé jeho ploše, až nakonec vytvoří souvislý povlak. Následně dochází ke zpomalení růstu, žloutnutí a sesychání napadených částí rostliny. Pokud není infekce včas zastavena, celá rostlina uhynie. Mezi preventivní opatření, která vedou ke snížení rizika výskytu této choroby, patří odstraňování posklizňových zbytků z půdy či používání přípravků, které jsou vyrobeny na bázi síry nebo rostlinných olejů.

Velmi častá je také hniloba (především u mladých plodů) způsobená vlhkým a deštivým počasím. V tomto případě je rostlina napadena šedou plísní *Botrytis cinerea*. Snížit riziko jejího výskytu lze například vhodnou závlahou a dostatečným prouděním vzduchu. Tykvovité rostliny jsou napadány také viry. Nejčastěji se jedná o virus mozaiky okurkové či o virus žluté mozaiky cuketové. Mezi škůdce, kteří způsobují pěstitelům velké ztráty, patří zejména plzáci. Semena a dozrávající plody jsou v oblibě různých hlodavců [14].

1.7 Doba sklizně a vhodné skladování

Sklizení dýní je žádoucí až v dostatečné zralosti rostlin, která se pozná podle toho, když je obtížné slupku u stopky propíchnout nehtem. Během manipulace s plody je nutné zamezit mechanickému poškození slupky, jelikož i drobné oděrky mohou následně během skladování znamenat lepší přístup pro patogeny, a tedy i vyšší riziko rozvoje hniloby. Aby byla skladovatelnost co nejdélejší, je potřeba nechat slupku vytvrdit uchováním v teplotách 23–27 °C [22]. Teplota, při které je skladování dýní nejvhodnější, se pohybuje od 10 °C do 13 °C. Pro dlouhou a správnou skladovatelnost je nutné zajistit dobrou cirkulaci a nízkou vlhkost vzduchu [23].

1.8 Obsahové látky a výživová hodnota dýně

Velkou část (75–95 %) dýně tvoří voda, ve které se nachází mnoho rostlinných látek a která slouží jako reakční prostředí pro složité chemické procesy. Díky takto vysokému obsahu vody je dýně potravinou s nízkou energetickou hodnotou.

Díky fotosyntéze, kdy za účasti chlorofylu, oxidu uhličitého, vody a slunečního záření, se v rostlině tvoří sacharidy, které lze rozdělit na redukující a neredukující cukry. Jejich množství se odvíjí od stupně zralosti a konkrétního druhu dýně. Obecně v dýních převažují cukry redukující (25 g/kg sušiny) nad neredukujícími (19 g/kg sušiny). Nejvíce zastoupená je glukóza, poté fruktóza a sacharóza [15, 24]. Z makroživin lze v dýni nalézt i malý obsah tuků, který je koncentrován především v semenech, kde plní funkci rezervní látky. Jedná se zejména o nenasycené mastné kyseliny (nad 70 %), kde převažuje obsah olejové a linolové kyseliny. Další složkou, která tvoří pouze minoritní obsah dýně (do 0,8 %), jsou bílkoviny. Dýně obsahuje také velké množství vlákniny [15].

Obsah nutričně prospěšných látek v dýni závisí především na jejím druhu, odrůdě a přírodních podmínkách. Nicméně i samotný postup během pěstování může mít vliv na výsledné hodnoty obsahových látek [25]. Jejich množství je proměnlivé také během dozrávání a

skladování. U některých druhů dýní (*Cucurbita moschata*) dochází např. k vyšší akumulaci karotenoidů během skladování, díky čemuž se barva dužiny mění na tmavě oranžovou [26]. Naopak je tomu u kyseliny askorbové, jejíž obsah se s časem snižuje [27]. Biologickou hodnotu plodu může také ovlivnit způsob zaštípnutí stonku či pořadí plodu vyrostlého na rostlině. Spektra nutričních látek se liší i v jednotlivých částech rostliny (tzn. ve slupce, dužině či v semenech) [28, 29]. Mezi nejvýznamnější chemické látky, které lze v dýních nalézt, patří např. polyfenoly (flavonoidy, lignany), steroly, tokoferoly, rostlinná barviva (chlorofyl, karotenoidy), alkaloidy (kukurbitaciny), terpenoidy, saponiny, aminokyseliny (tryptofan, tyrosin, fenylalanin), enzymy a mastné kyseliny [15, 30]. Dýně obsahuje také široké spektrum vitamínů a minerálů. Z vitamínů lze jmenovat kyselinu askorbovou (vitamin C), thiamin (vitamin B₁), riboflavin (vitamin B₂), niacin (vitamin B₃), kyselinu pantotenovou (vitamin B₅), pyridoxin (vitamin B₆), kyselinu listovou (vitamin B₉), vitamin A (β-karoten) a vitamin E. Z minerálů lze uvést draslík, vápník, hořčík, fosfor, sodík, železo, selen, zinek a měď [15].

1.9 Význam dýně ve výživě a lékařství

Jedlá dýně se často využívá jako potravina či surovina v kuchyni. Většinou se používá pouze její dužina. Ta se často zpracovává do podoby přírodního práškového pigmentu, který se přidává do různých potravin a výrobků v cukrářském, pekařském a mléčném průmyslu (sýry) [31]. Dýně se také používá např. za účelem zvětšení objemu jídel, aniž by se nějak výrazně zvýšila jejich energetická hodnota, což je výhodnou strategií v redukčních dietách. Lze ji tímto způsobem využít do kaší, omáček, pyré či do sladkých dezertů. Při pečení dodává těstu vláčnost, sladkost a také slabě oranžovou barvu. Hodí se i na přípravu dýňových polévek, placek, zavařenin, smoothie, zeleninových hranolek apod.

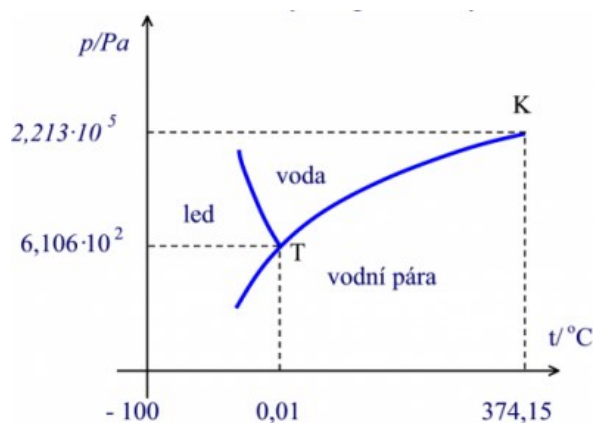
Kromě dužiny lze konzumovat také semena dýní. Ty mohou být také lisována pro výrobu dýňového oleje, který díky vhodnému složení mastných kyselin pomáhá snižovat krevní srážlivost a vysoký krevní tlak či podporuje správnou činnost mozku [15]. Vysoký obsah vlákniny (0,3–2,3 g na 100 g surové dýně) pomáhá snižovat riziko vzniku zácpy a také váže a odvádí z těla škodlivé látky. Napomáhá stimulovat střevní činnost a udržovat zdravé tenké střevo. Tyto účinky jsou důsledkem částečné metabolizace vlákniny v tlustém střevě, kterou zajišťují střevní mikroorganismy. Ty ji rozkládají na mastné kyseliny s krátkým řetězcem, jež dokáží snížit pH střevního obsahu [24]. Díky bohatému obsahu nutričně prospěšných látek a fytochemikálií se dýně používají při různých zdravotních obtížích (např. při trávicích problémech). Konkrétně triterpenoidy a kukurbitaciny jsou využívány pro výrobu

potravinových doplňků a léků v oblasti léčby rakoviny, diabetu, srdečních onemocnění, zánětů či slouží jako analgetika. Byl také prokázán účinek proteinových izolátů z dýňových semen na snížení vysokých hladin jaterních enzymů, které jsou často způsobeny podvýživou nebo nízkou proteinovou stravou [30, 32].

2 LYOFILIZACE

Lyofilizace je metoda, při které dochází k odstraňování vody ze zvoleného materiálu. Dehydratace probíhá pomocí vakuové sublimace, což znamená, že surovina musí být na začátku zmrazená a sušení probíhá při teplotě a tlaku, jejichž hodnoty jsou pod trojným bodem vody „T“ (tlak pod 611 Pa a teplota pod 0,01 °C) viz *Obrázek 1* [33] či přítomného rozpouštědla. Jedná se o metodu šetrnější než klasické sušení vysokými teplotami. Díky tomu si surovina zachovává svoji strukturu, barvu, chuť, vůni a látky citlivé na teplo [34–37].

Počátky metody sušení mrazem (lyofilizace) byly zaznamenány koncem 19. století. Nicméně do průmyslového využití začala tato metoda pronikat až po 2. světové válce. První komerční aplikace se týkaly farmaceutického průmyslu (krevní plazma, živé buňky, antibiotika). V potravinářském průmyslu se lyofilizace začala aplikovat až koncem 50. let 20. století [37].



Obrázek 1 – Fázový diagram vody [33]

2.1 Princip a průběh lyofilizace

Lyofilizační proces se obvykle skládá ze 3 fází. První fází je zmrazení suroviny, druhou fází je primární sušení a na závěr probíhá sekundární sušení. Během těchto fází probíhá celkem 5 operací – zmrazení, sublimace, desorpce, vakuové čerpání a kondenzace par [34].

1. Zmrazení

Samotné lyofilizaci předchází zmrazení výchozí suroviny. Přítomné rozpouštědlo (nejčastěji voda) či emulze se pomocí velmi nízkých teplot uvede do pevného skupenství, dojde tedy k procesu krystalizace. Zmrazenou surovinu je žádoucí rozprostřít rovnoměrně po celé polici, aby plocha, ze které bude unikat pára, byla co největší. Stejně tak je vhodné vytvořit co

nejtenčí vrstvu materiálu, protože oba tyto aspekty vedou k efektivnější (rychlejší) lyofilizaci. Způsob provedení této počáteční fáze ovlivňuje tvar, velikost a rozložení ledových krystalků [38]. Je žádoucí celý vzorek zmrazit na jednotnou teplotu, aby dehydratace probíhala rovnoměrně a na konci lyofilizace byly všechny kousky/části materiálu vysušeny stejně [34]. U některých surovin (např. čerstvé ovoce) se volí rychlé šokové mrazení, při kterém vznikají malé krystalky ledu. Díky tomu nedojde k narušení původní struktury [36]. Nicméně velké krystaly (vytvořené pomalým mražením) způsobují během sublimace menší odpor pro proudění vodní páry, jelikož vytvářejí větší póry v materiálu. Tato skutečnost se pak projevuje ve snížené době primárního sušení a také ovlivňuje výslednou strukturu dehydratovaného materiálu [38, 40].

2. Primární sušení

Během této fáze, nazývané též sublimační sušení, dochází k odstraňování vodní páry ze zmrazeného vzorku, který má počáteční teplotu $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Díky vhodně zvoleným podmínkám (kombinace tlaku, doby sušení, popř. teploty polic) se led ve vzorku rovnou odpařuje (tzn. že přítomné rozpouštědlo neprochází kapalnou fází). Postupně se zvyšuje teplota na policích, čímž se vzorek zbavuje veškeré volné a částečně vázané vody. Její molekuly jsou nesený v podobě páry do kondenzoru, který se udržuje při extrémně nízkých teplotách (až $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$). Zde dochází ke kondenzaci par v podobě ledových krystalů na povrchu kondenzoru. Jelikož se odpařování s ubývající vlhkostí v sušeném materiálu zpomaluje, je nutné také snižovat tlak a postupně vytvářet vakuum. Díky sníženému tlaku v lyofilizační komoře dochází ke snížené tepelné vodivosti, tedy přenosu tepla do produktu. Pokud by se použil atmosférický (vyšší) tlak, klesla by difuzivita vodní páry a celková doba lyofilizace by se prodloužila. Je nutné zajistit, aby vakuová vývěva měla dostatečný výkon pro udržení vakua, protože kdyby se teplota zvýšila příliš rychle a tlak v komoře by vystoupal nad optimální hranici, sušený materiál by prošel varem, který je během tohoto procesu nežádoucí.

Primární sušení obvykle končí při teplotách okolo $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlakem, který neklesá pod cca $0,014\text{ mbar}$. Na konci tohoto procesu se získává produkt, který může být vysušený až z 90% [34, 36–38].

3. Sekundární sušení

Po primárním sušení zůstávají v komoře stále molekuly vody, které už ale nejsou přímo v sušeném materiálu. Jedná se o nezmrzlou vodu adsorbovanou na pevné matrici vzorku. Proto je tato fáze také někdy nazývaná jako desorpční sušení, jehož součástí je difúze. Aby bylo

možné vodu odpařit, zvyšuje se teplota zhruba až do 50 °C. Běžně se lyofilizací dosahuje konečné vlhkosti kolem 1–3 % [36, 37, 40]. Sekundární sušení vyžaduje zhruba polovinu času primárního sušení [38]. Výsledné chemické a fyzikální vlastnosti sušeného materiálu závisí zejména na nastavených teplotách polic lyofilizátoru a také na celkové době sušení [34, 36, 37].

2.2 Lyofilizátor a jeho součásti

Lyofilizátor se obvykle skládá ze 4 základních částí. Konkrétně se jedná o sušící komoru, vývěvu, zdroj tepla a kondenzátor.

Sušící komora je místem, kde probíhá samotná dehydratace suroviny. Musí být schopna udržet maximální vakuum a její součástí jsou police, na které se rozprostírá zmrazený vzorek. Tyto police mohou být teplotně regulovány, čímž umožňují realizovat předem nastavené teplotní podmínky lyofilizace. Aby bylo možné dosáhnout optimálních hodnot vakua, musí být na sušící komoru napojené vakuové čerpadlo, které také zajišťuje odvod nekondenzovatelných plynů. Teplota zdroje tepla se může pohybovat od –30 °C do –150 °C. Nicméně pro praktické aplikace není takto široké rozmezí teplot potřeba a volba vhodné teploty tepelného zdroje závisí většinou na původní vlhkosti materiálu [38].

Kondenzátor slouží k zachycení vodní páry uvolněné během sublimace ze vzorku. Ta se na jeho povrchu přemění v ledové krystalky, které jsou poté ze systému odstraněny. Aby byla kondenzace efektivní, kondenzátor musí mít dostatečnou chladicí a povrchovou kapacitu. Pro běžné komerční lyofilizátory se používají kondenzátory s provozní teplotou kolem –65 °C [38]. Modernější přístroje umožňují dosáhnout i nižší teploty (–110 °C) [39].

2.3 Výhody a nevýhody lyofilizace

Hlavní výhodou lyofilizace je zachování nutričně důležitých látek v potravinářských materiálech, které jsou prospěšné pro lidský organismus. Díky použití nízkých sušících teplot nedochází k degradaci především termolabilních látek. Mezi ně lze zařadit např. kyselinu askorbovou, karotenoidy, tokoferoly nebo fenoly. Surovina sublimačním sušením také neztrácí svoji původní strukturu, barvu, chuť a vůni [35]. Z biotechnologického hlediska je použití lyofilizace výhodné v zachování biochemických, morfologických a imunologických vlastností [34]. Sublimačním sušením dochází také k významnému snížení aktivity vody, čímž se zvýší mikrobiální stabilizace, a naopak se sníží oxidace tuků. Díky tomu se významně prodlouží trvanlivost potraviny, takže výrobky sušené touto metodou jsou vhodné pro delší skladování. Tato metoda se využívá také pro šetrnou konzervaci ovoce či zeleniny, které chceme

konzumovat i mimo jejich sezónu [35]. Oproti ostatním metodám sušení, lyofilizace poskytuje dobrou stabilitu suroviny při pokojové teplotě, definovanou porézní strukturu a také snadnou rekonstrukci vzorku opětovným přidáním vody [34]. Za další možnou výhodu lze považovat i to, že obecně dehydratované výrobky jsou díky zbavené vodě lehčí a nezaberou tolik místa, a proto jsou vhodné např. jako svačiny na různé výlety apod. Pro někoho mohou být sensoricky atraktivnější, zejména díky jejich větší křupavosti a křehkosti ve srovnání se sušením horkým vzduchem. Dehydratací také dochází ke zkoncentrování látek jako jsou např. barviva a aromatické látky. Toho lze pak využít především pro kulinářské účely (ochucování či barvení nápojů a potravin) [35].

Mezi hlavní nevýhody lyofilizace patří dlouhá doba sušení, která znamená vysokou energetickou spotřebu (3x až 10x více energie než pro sušení horkým vzduchem). Také díky nákladné údržbě a provozu patří tato metoda zatím k nejdražším. Všechny tyto aspekty se pak odrážejí na ceně výsledných produktů [34, 35]. Po procesu lyofilizace se sice nemění struktura, ale pórovitost potravin se zvyšuje. Následkem toho má vzdušný kyslík větší přístup k molekulám bioaktivních látek (karotenoidy, fenoly, kyselina askorbová apod.), které tak mohou snáze oxidovat [35]. Z výživového hlediska jsou lyofilizované potraviny často nutričně bohaté, nicméně do redukční diety vhodné nejsou. Především díky minimálnímu obsahu vody lze zkonzumovat větší množství lyofilizované potravin, než by tomu bylo u stejné potravin v původním stavu. Obecně všechny sušené výrobky mají mnohem menší sytící efekt i přes jejich větší energetickou (kalorickou) hodnotu.

2.4 Využití lyofilizace v potravinářství a přírodních vědách

Tato metoda sušení nachází největší uplatnění pro „přírodní“ a „bio“ potraviny, výrobky určené pro extrémní sporty (práškové energeticky bohaté pokrmy), exkluzivní potravinářské produkty apod. Lyofilizovat lze například ovoce, zeleninu, maso, kávu, čaj, houby, sýry, mléko a mléčné výrobky, bylinky, květiny, koření, klíčky, včelí pyl nebo hmyz [36, 41]. Lyofilizované ovoce se dá kromě přímé konzumace využít např. pro ochucování pitné vody. V práškové podobě mohou některé potraviny (červená řepa, jahody, špenát, dýně atd.) posloužit jako přírodní barvivo či dochucovadlo do kaší, smoothie, polévek apod. [41].

Velké využití lyofilizace nalézá také v oblasti uchovávání biologických materiálů v biotechnologické (bakterie, plísně, enzymy, DNA, proteiny) a farmaceutické sféře (léčiva, zdravotnické prostředky, speciální chemikálie, antibiotika, kosmetické přípravky) [34].

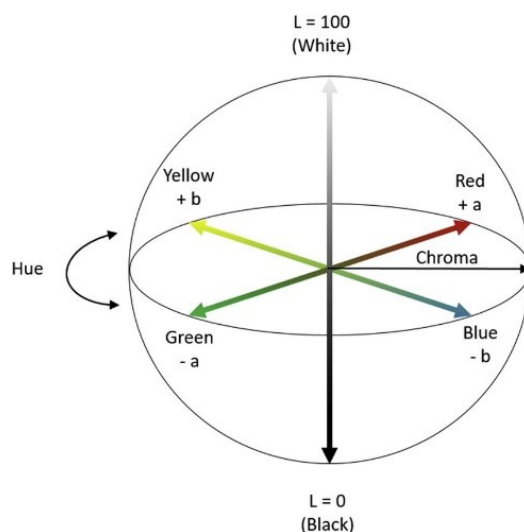
3 FYZIKÁLNÍ PARAMETRY

3.1 Vlhkost a aktivita vody v potravinách

Zejména u potravinářských produktů patří měření vlhkosti k jedním z nejčastějších a nejdůležitějších analýz. Nicméně všudypřítomné molekuly vody mohou způsobit potíže při snaze o získání přesných výsledků vlhkosti v potravinách, jelikož neustále dochází k výměně vlhkosti mezi potravinami a okolním prostředím. Pro potravinářské podniky je obsah vody v jejich produktech důležitý zejména z ekonomického hlediska. U některých potravin byly vymezeny zákonné limity pro obsah vody, které musí být dodržovány. Důvodem je splnění kompozičních standardů (např. sýr cheddar), kvality (např. džemy a želé) nebo konzervace a stability (např. sušená zelenina či ovoce, koření). Vysoký obsah vody je u některých potravin žádoucí např. kvůli dobré textuře a vzhledu čerstvého ovoce a zeleniny. Díky přítomnosti vody může v potravinách docházet k různým chemickým, enzymatickým a mikrobiálním reakcím. Nicméně samotný kvantitativní obsah vody neurčuje stabilitu potravin. Ta se hodnotí pomocí parametru nazvaného aktivita vody, jenž zohledňuje množství volné (chemicky nevázané) vody [42, 43].

3.2 Měření barevnosti

Vlivem různých interakcí světelných vln (lom, odraz, přenos, absorpce) s předměty se tvoří vjem, který člověk vnímá jako barvu. Nicméně zejména díky okolnímu prostředí a subjektivnímu vnímání jednotlivce je výsledný popis barvy nepřesný. Proto se využívá instrumentálního měření barevnosti, kde se pracuje s barevným prostorem L, a, b (systém HunterLab) nebo častěji $L^*a^*b^*$ (systém CIELAB). Ten se skládá z kartézských souřadnic a^* , b^* a L^* (viz *Obrázek 2* [44]). Osa a^* značí přechod červené barvy ($+a^*$) na zelenou ($-a^*$) a osa b^* vyjadřuje přechod žluté barvy ($+b^*$) na modrou ($-b^*$). Osa L^* udává měrnou světlost a může nabývat hodnot od 0 (nejtmavší černá) po 100 (nejjasnější bílá). Každou barvu lze ještě specifikovat hodnotami odstínu (h) a sytosti (C^*) [45, 46].



Obrázek 2 – Barevný prostor $L^* a^* b^*$ (systém CIELAB) [44]

3.3 Vlhkost a sorpční izotermy

Pomocí tzv. sorpčních izoterem lze charakterizovat vztah mezi rovnovážným obsahem vody a vodní aktivitou. Posuzování termodynamického stavu vody v potravinách má význam z hlediska chemických, fyzikálních a mikrobiálních změn, které mohou následně ovlivnit kvalitu potravinářských výrobků. Izoterma může být sestrojena jak pro adsorpci, tak pro desorpci vlhkosti potravinou. Pokud jsou naměřené hodnoty vlhkosti při stejné aktivitě vody u adsorpční a desorpční křivky odlišné, jedná se o jev označovaný jako sorpční hystereze. Pro změření sorpčních izoterem se práškový materiál umístí do inkubovaných komor s řízenou vlhkostí, kde je udržována konstantní teplota a relativní vzdušná vlhkost. Před samotným měřením se analyzovaná látka ještě vystaví proudu suchého vzduchu. Jen tak mohou být získána data z oblasti nízkých hodnot vodní aktivity. V případě adsorpčních izoterem se v komoře postupně navyšuje vlhkost, jež se adsorbuje suchým materiálem, a tak dochází k přírůstku jeho hmotnosti a ke zvýšení aktivity vody. Nicméně vztah mezi rostoucí vlhkostí a aktivitou vody je nelineární. Konkrétní tvar izoterem se liší především v závislosti na typu měřeného materiálu, jenž může mít různou afinitu k vodě [42, 52–54].

Existuje několik faktorů, které mohou sorpční vlastnosti ovlivňovat. Jedním z nich je samotné složení vzorku, kdy záleží, jestli je analyzovaný potravinářský materiál složen převážně ze sacharidů nebo bílkovin. Dále také hraje roli velikost částic prášku, která by měla být v ideálním případě stejně velká, jinak by výsledné porovnání jednotlivých izoterem mohlo

být zkresleno. Dalším faktorem, který může mít na průběh izoterem vliv, je použitý způsob sušení výchozí suroviny [55].

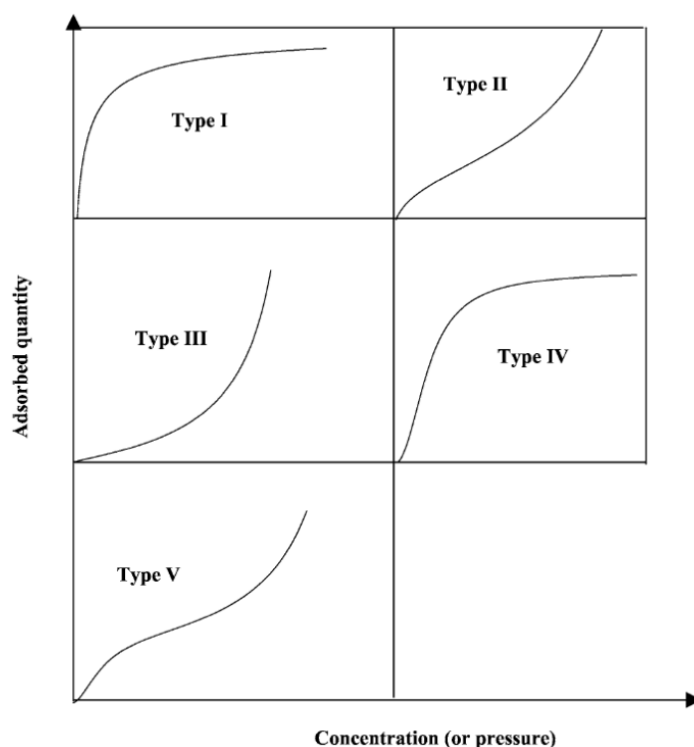
Nejčastěji se podle tvaru rozlišuje 5 typů sorpčních izoterem (Obrázek 3 [56]):

Křivka typu I – typická pro mikroporézní látky, při nízké aktivitě vody má konkávní průběh, při vyšší aktivitě vody dochází až k nasycení adsorbovaného množství vody, což se projevuje téměř vodorovnou přímkou.

Křivka typu II – typická pro neporézní materiály, při nízké aktivitě vody je konkávní, poté lineární a při vyšší aktivitě vody se její tvar mění v konvexní (sigmoidní tvar).

Křivka typu III – typická pro hydrofobní materiály, celý její průběh má konvexní tvar.

Křivky typu IV a V – tyto křivky jsou modifikacemi typů II a III [55].



Obrázek 3 – Typy adsorpčních izoterem (osa x – aktivita vody, osa y – vlhkost) [56]

Pro popis sorpčních vlastností lze využít například model Caurie, pomocí něhož lze analyzovat vlastnosti sorbované vody [57, 58]. Tento model využívá následující vztah (*Rovnice 1*):

$$\ln\left(\frac{1}{M}\right) = -\ln(c_d M_0) + \frac{c_d}{M_0} \ln \frac{1-a_w}{a_w} \quad (1)$$

M..... obsah vody [g/g]

c_d hustota sorbované vody [g/ml]

M_0 obsah vody v monomolekulární vrstvě [g/g]

a_w aktivita vody

Pomocí stejného modelu [58] lze také vypočítat plochu sorpce (*Rovnice 2*) a počet monomolekulárních vrstev (*Rovnice 3*):

$$S = \frac{54,45}{A} \quad (2)$$

S..... směrnice křivky

54,45...konstanta zahrnující průměr a tvar molekuly vody

A.....plocha sorpce [m²/g]

$$N = \frac{2}{S} \quad (3)$$

N..... počet monomolekulárních vrstev

3.4 Objemová hmotnost

Hodnota objemové hmotnosti se stanovuje zejména pro porézní materiály, kde objem pórů ovlivňuje celkovou hustotu. Vyjadřuje se jako hmotnost na celkovou jednotku objemu. Je ovlivněna způsobem, teplotou i celkovou dobou sušení. Tento parametr je důležitý zejména z ekonomického hlediska, protože se od něho odvíjí náklady na balicí materiál a dopravu (čím vyšší objemová hmotnost, tím nižší náklady) [59–61].

3.5 Specifická hmotnost

Tento parametr se měří podobně jako objemová hmotnost s tím rozdílem, že s práškovým materiálem se po určitou dobu pravidelně vibruje nebo se aplikuje určitý počet setřesení (poklepání). Hodnoty specifické hmotnosti jsou vyšší u částic pravidelného tvaru (koule) a naopak nižší u nepravidelných částic (např. jehly). Specifická hmotnost se projevuje zejména při zhutňování, toku či skladování velkého množství sypkého materiálu.

Objemová (ρ_o) i specifická hmotnost (ρ_s) závisí na tvaru a velikosti částic, stejně tak jako na jejich povrchové energii a morfologii [59, 62, 63].

3.6 Carr Index a Hausnerův poměr a jejich výpočet

Oba tyto parametry slouží k posouzení kvality (tekutosti a soudržnosti) sypkého materiálu. Lze je vypočítat s využitím objemové a specifické hmotnosti. Pokud jsou hodnoty u obou parametrů vyšší, znamená to, že analyzovaný materiál je kompaktnější a méně sypký [62, 64].

Carrův index (CI) vyjadřuje tekutost prášku a jeho výpočet lze provést podle *Rovnice 4* [59]:

$$CI [\%] = \frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_s} \times 100 \quad (4)$$

ρ_s specifická hmotnost [g/cm³]

ρ_o objemová hmotnost [g/cm³]

Je ovlivněn několika faktory: velikostí, distribucí a morfologií částic, obsahem vlhkosti a hygroscopickou a elektrostatickou povahou materiálu. Aby byl práškový materiál ideálně (volně) tekoucí (CI < 15 %), částice by měly být relativně velké, kulového tvaru a bez vlhkosti [65].

Hausnerův poměr (HR) vyjadřuje soudržnost (kompaktnost) prášku a lze ho vypočítat pomocí *Rovnice 5* [59]:

$$HR = \frac{\rho_s}{\rho_o} \quad (5)$$

Faktory ovlivňující jeho hodnoty jsou analogické faktorům pro Carr Index. Kategorie, do kterých lze rozdělit práškové materiály podle Hausnerova poměru jsou pouze tři. Nízká soudržnost je definována hodnotami HR < 1,2 a naopak vysokou soudržnost vykazují materiály s HR > 1,4 [65].

3.7 Vaznost vody a její výpočet

Vaznost vody (WHC) je schopnost látky absorbovat a zadržovat vodu. Někdy se také označuje jako WAI (Water Absorption Index) [49]. Souvisí například s rozpustností, objemovou hmotností, velikostí či strukturou částic analyzovaného materiálu [66, 67]. Vztah (Rovnice 6 [59]) pro její výpočet je následující:

$$WHC [g/g] = \frac{(M_2 - M)}{M_1} \quad (6)$$

M.....hmotnost prázdné centrifugační zkumavky [g]

M₁.....navážka vzorku [g]

M₂.....hmotnost centrifugační zkumavky se sedlinou po odstředění [g]

3.8 Bobtnací kapacita a její výpočet

Tento parametr, někdy označovaný jako bobtnací index, se používá pro potraviny (např. pekařské výrobky) za účelem zhodnocení jejich kvality a vhodnosti pro další použití. U potravinářských materiálů vyjadřuje především míru schopnosti škrobu vázat vodu a bobtnat. Také sděluje informaci o rozsahu asociativních sil ve škrobových granulích. Indikuje jejich mezimolekulární nekovalentní vazby a poměr α -amylózy a amylopektinu. Bobtnací kapacita (SWC) může být ovlivněna např. způsobem zpracování či velikostí částic analyzovaného materiálu [68]. Její výpočet lze provést pomocí Rovnice 7 [59]:

$$SWC [ml/g] = \frac{(V_2 - V_1)}{M} \quad (7)$$

M.....navážka vzorku [g]

V₁.....objem suchého vzorku [ml]

V₂.....objem nabobtnaného vzorku [ml]

3.9 Index rozpustnosti ve vodě a jeho výpočet

Index rozpustnosti ve vodě (WSI) vyjadřuje množství látek, které jsou schopny se rozpustit v přebytku přidané vody. Na rozpustnost má vliv např. obsah škrobu či bílkovin (včetně jejich konkrétní struktury). Znalost tohoto parametru je důležitá pro odhad chování zejména u potravinářských materiálů, které se pak dále zpracovávají jako stabilizátory, pojiva či zdroje bílkovin. V praxi se pak dají materiály s určitou hodnotou rozpustnosti ve vodě využít

jako zahušťovadla pro tekuté či polotekuté potraviny [49, 69, 70]. Výpočet WSI lze provést podle *Rovnice 8* [59]:

$$WSI [\%] = \frac{(S_2 - S)}{S_1} \times 100 \quad (8)$$

S.....hmotnost prázdné odpařovací misky [g]

S₁.....navážka vzorku [g]

S₂.....hmotnost odpařovací misky po vysušení [g]

4 CHEMICKÉ PARAMETRY

4.1 Fenolické látky a metody jejich stanovení

Jedná se o skupinu látek, která se řadí do třídy fytochemikálií. Ty je možné najít pouze u rostlin (jako jejich sekundární metabolity), kterým slouží především svou ochrannou funkcí (ochrana před ultrafialovým zářením, mikrobiální infekcí a predací) [71–73].

Mezi významné skupiny fenolických látek patří flavonoidy (anthokyany), flavonoly (kvercetin, rutin), fenolické kyseliny (chlorogenová kyselina) a kyselina askorbová [73]. Z chemického hlediska fenoly obsahují minimálně jeden benzenový kruh, na který je kovalentní vazbou vázána alespoň jedna hydroxylová skupina. Díky velké strukturní rozmanitosti mají fenolické sloučeniny různorodé využití. Některé jsou s oblibou využívány pro lidskou potřebu jako aktivní látky antioxidačně působící na organismus (sezamol, kapsaicin) nebo jako barevné pigmenty (kurkumin) a příchutě (vanilin) využívané v potravinářství. Také se dají použít pro své dezinfekční účinky (kresoly) nebo při výrobě plastů a azobarviv. Nicméně některé fenoly mají i toxické účinky (chlorfenol) [71, 74]. Fenolové sloučeniny jsou spojeny i s antioxidační aktivitou a mají významnou roli např. při stabilizaci tuků, kde omezují jejich oxidační degradaci [75].

Stanovení fenolických látek lze provést jak pomocí spektrofotometrických, chromatografických (kapalinová i plynová chromatografie), tak i elektroforetických metod (kapilární elektroforéza) [76]. Poměrně využívanou spektrofotometrickou metodou je Folin-Ciocalteauv test. Využívá se Folin-Ciocalteuova činidla (směs kyseliny fosfomolybdenové a fosfowolframové), které v přítomnosti fenolických látek vytváří modrý komplex (chromofor obsahující komplex fosfomolybdenu a fosfowolframu). Tato reakce se provádí v alkalickém prostředí a výsledná intenzita modré barvy je přímo úměrná koncentraci fenolů. Jejich kvantifikace se provádí měřením absorbance v rozmezí vlnových délek od 720 do 765 nm [77].

4.2 Látky s antioxidačním účinkem a metody jejich stanovení

Mezi antioxidanty se řadí látky, které pomáhají konzervovat potraviny (zpomalují kažení, žluknutí či změnu barvy) nebo jsou prostřednictvím stravy a potravinových doplňků přijímány pro zlepšení zdraví a prevenci degenerativních onemocnění (artritida, ateroskleróza, Parkinsonova a Alzheimerova choroba apod.) [77, 78]. Ke snížení senzorycké i nutriční hodnoty potravin dochází vlivem degradačních procesů jako jsou například oxidační reakce nebo následný rozklad oxidačních produktů. Kromě použití antioxidačních látek lze oxidaci omezit

použitím nižších teplot, inaktivací některých enzymů, zabráněním přístupu kyslíku nebo použitím vhodných obalů [79]. Jelikož existuje mnoho chemicky odlišných antioxidantů (karotenoidy, melatonin, polyfenoly, trísloviny, glutathion, vitamíny, koenzym Q10 atd.), tak i mechanismy oxidační inhibice se často liší. Nejčastěji dochází k reakci antioxidantů s volnými radikály, které vznikají rozkladem hydroperoxidů. Vysoké hodnoty volných radikálů způsobují oxidační stres, čímž dochází k porušení oxidačně-redukční rovnováhy v organismu. Následkem toho vzniká poškození buněk a tkání, v extrémních případech dochází i ke genovým mutacím. Pokud je tedy člověk vystavován nadměrnému stresu, velké fyzické námaze či se pohybuje ve znečištěném životním prostředí, měl by dbát alespoň na vhodnou stravu bohatou na potraviny s vysokou antioxidační aktivitou [77, 79].

Míra antioxidační aktivity se dá zjistit pomocí různých spektrofotometrických metod: FRAP metoda (593 nm), TEAC metoda (645, 734 a 815 nm), ORAC metoda (fluorescenční excitace 485 nm a emise 520 nm), CUPRAC metoda (450 nm), metoda využívající DPPH radikál (515–520 nm) [77]. Poměrně oblíbená a rutinní (zejména pro analýzu vzorků rostlinných extraktů) je metoda využívající reakci stabilního DPPH radikálu (2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl) se vzorkem. Jeho intenzivní fialová barva se po styku s antioxidanty zeslabuje či dokonce mění na světle žlutou, což se při spektrofotometrickém měření projeví jako pokles absorbance. Z chemického hlediska dochází k redukci nepárového valenčního elektronu (v DPPH) po přijetí vodíkového atomu (od antioxidační látky). K výhodám této metody patří jednoduché a rychlé provedení, nicméně pH roztoku, polarita rozpouštědla či výskyt určitých látek (kovové ionty, pigmenty, přírodní kyseliny) může následné spektrofotometrické měření nepříznivě ovlivnit [80, 81]. Naměřená absorbance se přepočítává na % inhibice pomocí Rovnice 9 [77]:

$$I [\%] = \frac{(A_{sp} - A_{vz})}{A_{sp}} \times 100 \quad (9)$$

I..... inhibice [%]

A_{sp}....absorbance slepého pokusu

A_{vz}....absorbance vzorku

4.2.1 β-karoten a jeho význam ve výživě

β-karoten je látka patřící do skupiny karotenoidů (stejně jako například lutein či lykopen). Významnou vlastností karotenoidů je antioxidační působení v organismu, kde chrání buňky před poškozením volnými radikály. β-karoten, jakožto prekurzor, je také nezbytný

pro syntézu vitamínu A. Podílí se rovněž na řadě biologických funkcí jako je například diferenciaci, růst nebo apoptóza buňky. Blahodárný vliv má také na zdraví pokožky a očí. Jedná se o pigment, jehož zbarvení je nejčastěji žluté, oranžové až červené. Toho se využívá v potravinářském průmyslu, kde se uplatňuje jako přírodní barvivo (pro mléčné produkty, sladkosti, jedlé tuky a oleje apod.).

Jeho nevýhodou je citlivost na světlo, teplo a vzdušný kyslík. Nejčastěji se získává umělou syntézou, nicméně existují i přírodní postupy, kdy se β -karoten extrahuje ze sinic a mikrořas [47–51].

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1 Přístroje a pomůcky

Analytické váhy KERN ABJ 320-4NM	(Kern & Sohn GmbH, Německo)
Analyzátor vlhkosti KERN DLB 160-3A	(Kern & Sohn GmbH, Německo)
Automatické pipety	(VWR International LLC, USA)
Centrifuga Sorvall ST4R Plus-MD	(Thermo Fisher Scientific Inc., Německo)
Centrifugační zkumavky	
DVS Intrinsic Plus	(Surface Measurement Systems Ltd., USA)
Exsikátory	(Siccobohler GmbH, Německo)
Kovové síto	
Kuchyňský nůž	
Laboratorní nádoby	(Fisher Scientific, spol. s r. o., ČR)
Lyofilizátor L4-110	(Gregor Instruments s. r. o., ČR)
Mixér Grindomix GM 200	(Retsch GmbH, Německo)
Posuvné měřítko INOX	(SOMET CZ s. r. o., ČR)
Q150R Plus – Rotary Pumped Coater	(Quorum Technologies Ltd., GRB)
Skenovací elektronový mikroskop TESCAN VEGA3-SBU	(TESCAN ORSAY HOLDING, a. s., ČR)
Skleněné zkumavky s víčkem	
Spektrofotometr UltraScan VIS	(Hunter Associates Laboratory, Inc., USA)
Spektrofotometr UV-VIS Shimadzu UV-2600	(Shimadzu Corporation KK, Japonsko)
Sušárna Apex AX 120	(Carbolite Gero Ltd., Německo)
Třepačka rotační	(VWR International LLC, USA)
Ultrazvuková lázeň SONOREX RK 106	(BANDELIN electronic GmbH & Co. KG, Německo)
Vodní lázeň Memmert	(Memmert GmbH + Co. KG, Německo)
Vortex V-1 plus	(Biosan Ltd., Lotyšsko)

5.2 Použité chemikálie

2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl, p. a.	(Sigma-Aldrich Corp., MO, USA)
6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-karboxylová kyselina, p. a.	(Sigma-Aldrich Corp., MO, USA)
Aceton, p. a.	(Honeywell International Inc., USA)
β -karoten, ≥ 93 % (UV)	(Sigma-Aldrich Corp., MO, USA)
Destilovaná voda	(Univerzita Pardubice, ČR)
Folin-Ciocalteuovo činidlo, p. a.	(Sigma-Aldrich Corp., MO, USA)
Kyselina gallová, p. a.	(Sigma-Aldrich Corp., MO, USA)
Methanol ≥ 99 %	(Honeywell International Inc., USA)
Uhličitán sodný, p. a.	(Mallinckrodt Baker, Inc., USA)

5.3 Použitý vzorek dýně

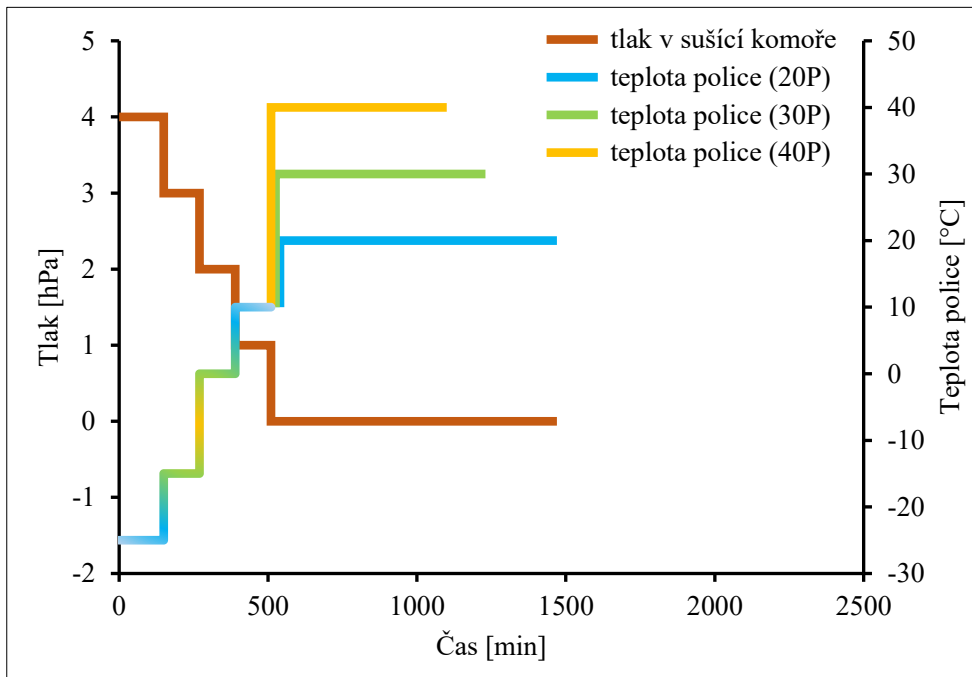
Pro analýzy provedené v této práci byla použita dýně (*Cucurbita* sp.) zakoupená na podzim roku 2021 ve velkoobchodním řetězci JIP východočeská, a. s. Tento vzorek byl ve zmíněném období vybrán s ohledem na jeho sezónnost a dobrou dostupnost. Jeho příprava i samotné analýzy byly provedeny v laboratořích Univerzity Pardubice.

Praktická část této práce byla zahájena už koncem roku 2021 v rámci vypracovávání Studentské vědecké a odborné činnosti (SVOČ) [82].

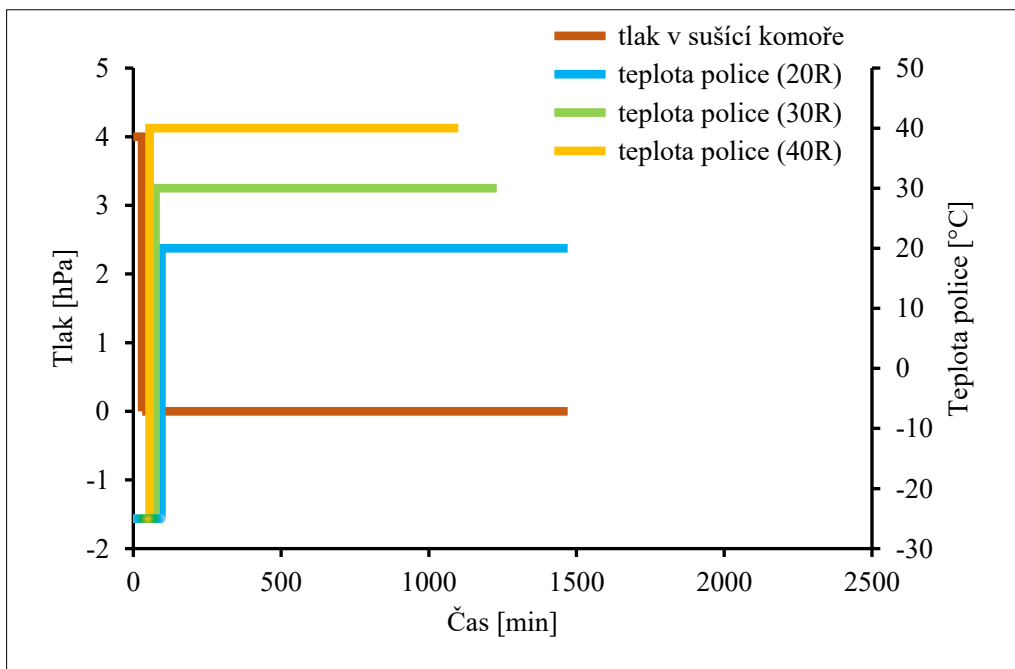
5.4 Příprava a lyofilizace vzorku

Dýně byla zbavena dužiny a semen a poté byla nakrájena na přibližně stejně velké plátky (cca 3 cm \times 4,5 cm) s tloušťkou cca 70 mm. Ty byly uchovávány při -25 °C několik dní a poté předány na police lyofilizátoru (*Příloha 2*).

Lyofilizace byla provedena v různých nastaveních při teplotě kondenzoru -110 °C. Dosažení vakua bylo provedeno dvěma způsoby – postupným snižováním tlaku („P“ jako postupně) a rychlým snížením tlaku („R“ jako rychle). Po nastavení vakua na hodnotu 0 hPa byla použita různá konečná teplota polic – 20, 30 a 40 °C. Se zvyšující se konečnou teplotou police byla zkrácena doba trvání lyofilizace (1440 min v případě teploty police 20 °C, 1200 min v případě 30 °C a 1020 min pro 40 °C). U lyofilizace s postupným snižováním tlaku byly pro teplotu polic s 40 °C provedeny 2 lyofilizace (druhá lyofilizace byla prodloužena o 2 h) a vysušené vzorky byly po rozdrocení smíchány. Schématický průběh lyofilizace s postupným snižováním tlaku je znázorněn na *Obrázku 4* a lyofilizace s rychlým snížením tlaku je zobrazena na *Obrázku 5*.



Obrázek 4 – Schéma průběhu lyofilizace s postupným snižováním tlaku „P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace



Obrázek 5 – Schéma průběhu lyofilizace s postupným snižováním tlaku „R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace

5.5 Postupy analýz pro stanovení fyzikálních parametrů

5.5.1 Stanovení obsahu vlhkosti

Pro toto stanovení byly kousky lyofilizované dýně rozdrceny pouze tloučkem v třecí misce. Vznikl prášek, který byl přesypán a rozprostřen na celou plochu hliníkové vážicí misky analyzátoru vlhkosti. Analýza vlhkosti probíhala při 105 °C do konstantní hmotnosti vzorku, která byla oznámena zvukovou signalizací přístroje. Vzorek z každé lyofilizace byl měřen třikrát. Výsledky byly vyjádřeny jako % vlhkosti.

5.5.2 Úprava vzorku

Vzorek byl zpracován mletím (8000 rpm po dobu 10 s) a následně proset přes síto (velikost oka 1 mm²). Takto upravený vzorek byl umístěn do hermeticky uzavíratelných sklenic a skladován při -25 °C.

5.5.3 Měření barevnosti

K měření barevnosti byl použit spektrofotometr UltraScan VIS s geometrií D/8° a zdrojem světla D65, jeho standardizace byla provedena na bílou kachli. Prášek lyofilizované dýně byl kovovou kopistí vpraven do křemenné kyvety, která byla upevněna na skleněném víčku a během každého měření byla navíc obalována černým papírem, aby se zamezilo zkreslení výsledků okolním světlem. Hodnocení barevnosti probíhalo v barevném prostoru L*a*b* (systém CIELAB) a barevnost byla měřena v odrazu v módu RSEX (Reflectance Specular Excluded). Experimentem byly zjištěny parametry L*, a*, b*, C* a h. Každý vzorek byl analyzován třikrát. K vyhodnocení výsledků byl použit EasyMatch QC software (ver. 4.96, Hunter Associates Laboratory, Inc., USA).

5.5.4 Analýza sorpčních vlastností

Pro tuto analýzu byl použit přístroj DVS Intrinsic Plus, jehož principem je detekce změn hmotnosti vzorku v čase (dm/dt). Měření probíhalo při konstantní teplotě (25 °C) a rovnovážné relativní vlhkosti pohybující se od 0 do 85 %, která byla regulována pomocí směsi redestilované vody a vzduchu a regulátoru hmotnostního průtoku (200 sccm). Přibližně stejná množství vzorků (cca 6–7 mg) byla dávkována na ultracitlivou mikrováhu (citlivost 0,1 µg) a po spuštění předem nastaveného programu byly vzorky nejprve sušeny proudem vzduchu (RH < 0,1 %) po dobu 240 minut. Po jejich vysušení následovalo už samotné měření adsorpce a desorpce. Kontinuální monitorování změny hmotnosti vzorku bylo prováděno každých 60 sekund. Měření

bylo ukončeno nastavenou kritickou podmínkou na $dm/dt < 0,002 \%$ po dobu 20 minut. Naměřené výsledné hodnoty byly graficky zpracovány jako závislost obsahu vlhkosti (mg/g) na aktivitě vody (a_w) – tedy jako sorpční izotermy [77]. K vyhodnocení výsledků byl použit program DVS Standard Analysis Suite (v. 7.4, Surface Measurement Systems Ltd.). Pro další vyhodnocení sorpčních vlastností byl použit model Caurie [57, 58] a jeho *Rovnice 1, 2, 3*.

5.5.5 Měření objemové hmotnosti

Měření objemové hmotnosti bylo provedeno podle Ízli et al. (2022) [59]. Přibližně 0,5 g prášku lyofilizované dýně bylo šetrně vloženo do 10 ml odměrného válce a z něho byl odečten objem, který prášek zaujímal. Pro každý vzorek byla provedena 3 měření. Výsledná hodnota objemové hmotnosti byla vyjádřena jako poměr hmotnosti vzorku k objemu vzorku odečteného z válce (g/cm^3). Výsledky byly přepočteny na sušinu vzorku.

5.5.6 Měření specifické hmotnosti

Měření specifické hmotnosti bylo provedeno také podle Ízli et al. (2022) [59]. Přibližně 0,5 g prášku lyofilizované dýně bylo vloženo do 10 ml odměrného válce, se kterým bylo 125× poklepáno o desku stolu. Následně byl odečten objem, který prášek zaujímal. Pro každý vzorek byla provedena 3 měření. Výsledná hodnota specifické hmotnosti byla vyjádřena jako poměr hmotnosti vzorku k objemu vzorku odečteného z válce (g/cm^3). Výsledky byly přepočteny na sušinu vzorku.

5.5.7 Výpočet Carr Indexu a Hausnerova poměru

Výsledné hodnoty obou parametrů byly zjištěny pouze matematickým výpočtem (dosazením zjištěných výsledků objemové a specifické hmotnosti). Pro výpočet Carr indexu byla použita *Rovnice 4* a k výpočtu Hausnerova poměru byla využita *Rovnice 5* [59].

5.5.8 Stanovení vaznosti vody

Měření WHC bylo provedeno s drobnými modifikacemi podle článku Ízli et al. (2022) [59]. Přibližně 0,6 g prášku lyofilizované dýně bylo vloženo do předem zvážené centrifugační zkumavky. Ke vzorku bylo přidáno 10 ml destilované vody a směs byla třepáním důkladně promíchána. Poté byla zkumavka vložena do vodní lázně (60 °C, 30 min). Po jejím ochlazení bylo provedeno odstředění centrifugou (6000 rpm, 20 min). Oddělená tekutina nad sedimentem byla odpipetována a sediment byl spolu se zkumavkou zvážen. Pro každý vzorek byla

provedena 3 měření. Výsledná hodnota vaznosti vody byla vypočítána pomocí *Rovnice 6* a výsledky byly přepočteny na sušinu vzorku.

5.5.9 Stanovení bobtnací kapacity

Pro posouzení SWC byl aplikován postup (s malou modifikací) Ízli et al. (2022) [59]. Přibližně 0,8 g prášku lyofilizované dýně bylo vloženo do 25 ml odměrného válce a objem, který suchý vzorek zaujímal, byl zaznamenán. Do válce bylo přidáno 10 ml destilované vody a směs byla kopistí důkladně promíchána. Válec byl umístěn do temna, kde se nechal 24 h při pokojové teplotě, aby vzorek mohl dostatečně nabobtnat. Poté se odečetl objem mokrého prášku. Pro každý vzorek byla provedena 3 měření. Výsledná hodnota bobtnací kapacity byla vypočítána pomocí *Rovnice 7* a výsledky byly přepočteny na sušinu vzorku.

5.5.10 Stanovení indexu rozpustnosti ve vodě

Měření WSI bylo provedeno s drobnými modifikacemi podle Ízli et al. (2022) [59]. Přibližně 0,24 g prášku lyofilizované dýně bylo vloženo do centrifugační zkumavky. Ke vzorku bylo přidáno 12 ml destilované vody a směs byla třepáním důkladně promíchána. Poté byla zkumavka vložena do vodní lázně (80 °C, 30 min). Po jejím ochlazení bylo provedeno odstředění centrifugou (6000 rpm, 20 min). Oddělená tekutina nad sedimentem byla odpipetována do předem zvážené odpařovací misky, která byla poté vložena do sušárny vyhřáté na 105 ± 5 °C na 24 h. Následně byla misky s odparkem přemístěna do exikátoru a po vychladnutí zvážena. Pro každý vzorek byla provedena 3 měření. Výsledná hodnota indexu rozpustnosti ve vodě byla vypočítána pomocí *Rovnice 8* a výsledky byly přepočteny na sušinu vzorku.

5.6 Postupy analýz pro stanovení chemických parametrů

5.6.1 Extrakce vzorku

Pro stanovení celkového obsahu fenolických látek a antioxidační kapacity byla provedena extrakce vzorku. Přibližně 0,2 g prášku lyofilizované dýně bylo vloženo do centrifugační zkumavky, následně bylo přidáno 10 ml 90% methanolu a směs byla důkladně promíchána na vortexu (15 s). Poté byly zkumavky umístěny na 15 min do ultrazvukové lázně, a nakonec byly odstředěny v centrifuze (6000 rpm, 20 min). Oddělená tekutina nad sedimentem byla odpipetována do uzavíratelných zkumavek a uložena při -25 °C. Pro každý vzorek byly provedeny dvě extrakce.

5.6.2 Stanovení celkového obsahu fenolických látek

Postup tohoto stanovení byl převzat (s drobnou modifikací) z diplomové práce Kateřiny Jelínkové (2018) [84]. Do skleněné zkumavky s víčkem bylo pipetováno 400 µl extraktu, přidáno 5 ml destilované vody a 0,5 ml Folin-Ciocalteuova činidla (zředěného s destilovanou vodou v poměru 1 : 7). Tento roztok byl ponechán 5 minut v temnu při laboratorní teplotě. Pak následovalo ještě přidání 1 ml 5% Na₂CO₃. Takto připravené roztoky byly po promíchání ponechány 60 minut v temnu při laboratorní teplotě. Po uplynutí této doby byla změřena absorbance při vlnové délce 765 nm. Stejný postup byl aplikován i na slepý pokus, který místo extraktu vzorku obsahoval 400 µl extrakčního činidla (90% methanol).

Celková koncentrace fenolických látek v prášku lyofilizované dýně byla stanovena pomocí kalibrační přímky kyseliny gallové (*Příloha 4*) a výsledky vyjádřeny jako ekvivalent kyseliny gallové v mg/g sušiny [mg GAE/g] vzorku. Pro zhotovení kalibrační přímky byl připraven zásobní roztok kyseliny gallové o koncentraci 453 mg/l (0,0453 g kyseliny gallové bylo naváženo do 100 ml odměrné baňky a doplněno methanolem po rysku). Z tohoto roztoku byla ředěním připravena kalibrační řada v rozmezí 4,53–190,26 µg/ml.

5.6.3 Stanovení antioxidační kapacity metodou s DPPH radikálem

Postup pro provedení této analýzy byl převzat (s drobnou modifikací) z diplomové práce Lady Jarešové (2018) [85]. Do skleněné zkumavky s víčkem bylo pipetováno 400 µl extraktu a přidáno 5 ml methanolickeho roztoku DPPH (12,5 mg standardu DPPH bylo naváženo do 500 ml odměrné baňky a doplněno methanolem po rysku). Tento roztok byl promíchán a ponechán 60 minut v temnu při laboratorní teplotě. Po uplynutí této doby byla změřena absorbance při vlnové délce 517 nm. Stejný postup byl aplikován i na slepý pokus, který místo extraktu vzorku obsahoval 400 µl extrakčního činidla (90% methanol).

Absorbance každého vzorku byla přepočítána na % inhibice podle *Rovnice 9*. Antioxidační kapacita (ATC) prášku lyofilizované dýně byla stanovena pomocí kalibrační přímky Troloxu (*Příloha 5*) a výsledky vyjádřeny jako ekvivalent Troloxu v mg/g sušiny [mg TE/g] vzorku. Pro zhotovení kalibrační přímky byl připraven zásobní roztok Troloxu o koncentraci 800 mg/l (0,02 g Troloxu bylo naváženo do 25 ml odměrné baňky a doplněno methanolem po rysku). Z tohoto roztoku byla ředěním připravena kalibrační řada v rozmezí 8–120 µg/ml.

5.6.4 Stanovení obsahu β -karotenu

Množství β -karotenu ve vzorcích bylo stanoveno s využitím UV-Vis spektrofotometrické metody [83]. Navážky lyofilizovaného dýňového prášku se pohybovaly kolem 0,1 g. Vzorky byly navažovány do zkumavek, do kterých bylo přidáváno 5 ml chlazeného acetonu, který sloužil jako extrakční činidlo. Extrakce probíhala v rotační třepačce (20 ot/min.) po dobu 15 min a při teplotě 5 °C. Následovalo odstředění centrifugou (4000 rpm, 10 min.). Odstředěná kapalná fáze byla odpipetována do jiné zkumavky a k sedimentu bylo opět přidáno 5 ml chlazeného acetonu a stejný postup extrakce i centrifugace byl proveden podruhé. Oba podíly kapalných fází byly smíchány a poté podrobeny analýze na spektrofotometru UV-VIS Shimadzu při vlnové délce 449 nm.

Během celého experimentu byly všechny roztoky (včetně odpipetovaných kapalných fází po centrifugaci) skladovány uzavřené v chladničce, jelikož β -karoten je látka citlivá na světlo, teplo i kyslík. Pro každý vzorek byly provedeny 2 navážky a každá z nich byla spektrometrem změřena třikrát.

Obsah β -karotenu v prášku lyofilizované dýně byl stanoven pomocí kalibrační přímky β -karotenu (*Příloha 3*) a výsledky vyjádřeny v mg/g sušiny vzorku. Pro zhotovení kalibrační přímky byl připraven zásobní roztok β -karotenu o koncentraci 908 mg/l (0,0227 g β -karotenu bylo naváženo do 25 ml odměrné baňky a doplněno acetonem po rysku). Z tohoto roztoku byla ředěním připravena kalibrační řada v rozmezí 90,8–236,08 μ g/ml.

5.7 Zpracování dat

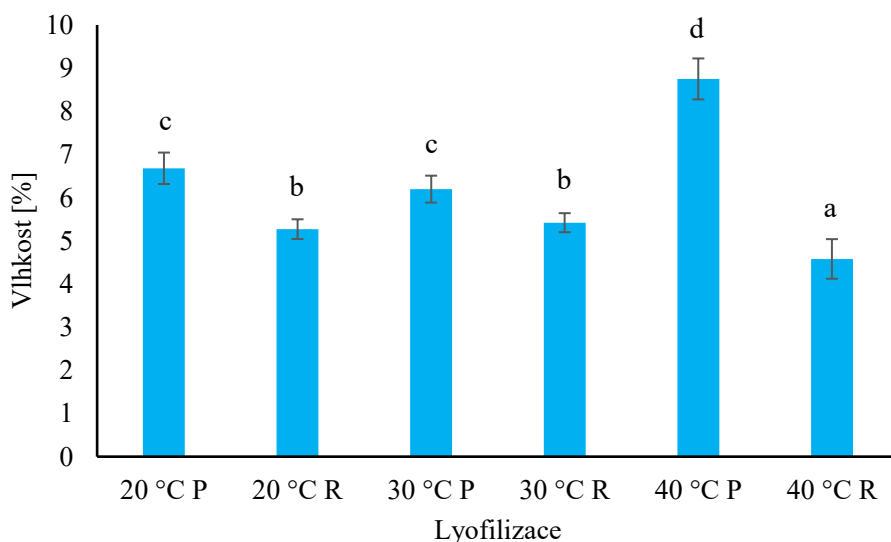
Diplomová práce byla sepsána v textovém editoru Microsoft Word 365 a naměřené hodnoty ze všech provedených experimentů byly zpracovány s použitím programu Microsoft Excel 365. Statistické vyhodnocení dat proběhlo v programu Statistica 14 (StatSoft CR s. r. o., ČR) s využitím dvoufaktorové analýzy rozptylu (ANOVA), kdy jako faktory byly použity konečná teplota polic (20, 30 a 40 °C) a rychlost dosažení vakua (rychle vs. pomalu). Pro vícenásobné párové porovnání dosažených výsledků byl použit Duncanův test. Pro redukci proměnných byla použita metoda analýzy hlavních komponent (PCA). Data byla před analýzou standardizována. Všechny statistické testy proběhly na hladině pravděpodobnosti $p = 0,05$.

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

6.1 Výsledky fyzikálních vlastností dýňového prášku

6.1.1 Obsah vlhkosti

U lyofilizací, které byly provedeny s rychlým snížením tlaku, byly naměřené hodnoty vlhkosti nižší než u sušení s pomalým snížením tlaku ($p < 0,001$). Je možné, že díky delší době působení většího podtlaku došlo k efektivnější (vyšší) sublimaci vody ze vzorků. Nejvyšší vlhkost ($8,75 \pm 0,47$ %) byla naměřena u dýňového prášku který byl lyofilizován s postupným snížením tlaku s konečnou teplotou 40 °C. Naopak nejnižší vlhkost ($4,58 \pm 0,46$ %) byla u prášku sušeného při stejné teplotě, ale s rychlým snížením tlaku. Obsah vlhkosti ve vzorcích je znázorněn na *Obrázku 6*.



Obrázek 6 – Obsah vlhkosti v dýňovém prášku

„P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace, „R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace, různá písmenka značí významné rozdíly v hodnotách ($p < 0,05$), aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka ($N = 3$)

Mujaffar et al. (2015) naměřili interval vlhkosti 4,37–7,17 % pro vzorky lyofilizované (při 30 °C) do konstantní hmotnosti. Ve srovnání se sušením horkým vzduchem (65 °C) byly tyto hodnoty průměrně vyšší. Výsledky vlhkosti v rámci stejných způsobů sušení se lišily také u jednotlivých odrůd dýní [86]. U dýňové slupky sušené lyofilizací Lim et al. (2021) změřili 6,19 % vlhkosti. V porovnání se vzorky sušenými v peci (80 °C) byl tento obsah vody nejvyšší. Také se ukázalo, že v případě sušení horkým vzduchem byla nižší vlhkost zjištěna u vzorku, který byl sušený delší dobu. Pravděpodobně má tedy na konečný obsah vody vliv teplota i doba

sušení. Navíc bylo provedeno srovnání velikostí částic sušených prášků s hodnotami vlhkosti. Lyofilizace vedla ke vzniku největších částic a výsledné prášky tak měly nižší hustotu (resp. byly poréznější). To se projevilo na celkově otevřenější struktuře, která si díky tomu držela větší podíl vlhkosti [87]. Po lyofilizačním sušení (trvajícím 72 h) Aydin a Gocmen (2015) naměřili hodnotu vlhkosti 12,56 %, kdežto po sušení v peci (60 °C, 24 h) byl obsah vody o něco vyšší. Na nižší hodnotě se nejspíše projevila delší doba sušení [88]. Výsledná vlhkost má efekt na objemovou a specifickou hmotnost, smáčivost, rozpustnost a tokové vlastnosti [65]. Díky nižší vlhkosti si potravinářské materiály zachovávají svoji kvalitu, jsou stabilnější a odolnější vůči enzymatickým a oxidačním změnám [49].

6.1.2 Vliv lyofilizace na barevnost dýňového prášku

Co se týká parametru L^* , tak po lyofilizaci s rychlým snížením tlaku byly lyofilizované prášky dýně celkově světlejší než u postupného snižování tlaku ($p < 0,05$). Použitá konečná teplota sušení měla na měrnou světlost také vliv – čím vyšší teplota, tím byl výsledný prášek lyofilizované dýně tmavší. Důvodem může být neenzymatické hnědnutí (karamelizace, Maillardovy reakce, oxidace kyseliny askorbové), ke kterému dochází při vyšších teplotách [59, 89].

Tabulka 1 – Naměřené hodnoty jednotlivých parametrů barevnosti lyofilizované dýně

lyofilizace	parametry barevnosti				
	L^*	a^*	b^*	C^*	h (°)
20 °C P	$^{c}65,76 \pm 0,19$	$^{c}8,95 \pm 0,19$	$^{b}23,31 \pm 0,08$	$^{b}24,97 \pm 0,14$	$^{a}69,00 \pm 0,36$
20 °C R	$^{d}67,17 \pm 0,42$	$^{b}7,45 \pm 0,40$	$^{ab}22,26 \pm 0,18$	$^{ab}23,48 \pm 0,30$	$^{dc}71,51 \pm 0,78$
30 °C P	$^{b}63,99 \pm 0,87$	$^{c}8,45 \pm 0,14$	$^{b}23,43 \pm 0,37$	$^{b}24,91 \pm 0,30$	$^{c}70,16 \pm 0,60$
30 °C R	$^{c}65,92 \pm 0,47$	$^{b}7,62 \pm 0,06$	$^{ab}22,31 \pm 0,71$	$^{ab}23,58 \pm 0,68$	$^{d}71,14 \pm 0,52$
40 °C P	$^{a}62,03 \pm 0,10$	$^{c}8,49 \pm 0,29$	$^{ab}22,95 \pm 0,64$	$^{b}24,47 \pm 0,69$	$^{b}69,70 \pm 0,28$
40 °C R	$^{c}65,4 \pm 0,59$	$^{a}6,57 \pm 0,57$	$^{a}21,79 \pm 1,17$	$^{a}22,76 \pm 1,27$	$^{c}73,24 \pm 0,64$

„P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace, „R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace, různá písmenka značí významné rozdíly v hodnotách ($p < 0,05$), aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka ($N = 3$)

Parametr a^* byl ovlivněn především způsobem snižování tlaku. Lyofilizace provedená rychlou technikou vedla k výrazně nižším hodnotám ve srovnání s technikou pomalou ($p < 0,05$) – to znamená, že vzorky dýňového prášku byly ve výsledku méně červené.

Vliv teploty políc se u lyofilizace „P“ na parametru a^* neprojevil, nicméně u „R“ metody s použitou konečnou teplotou police 40 °C došlo k významnému snížení hodnoty a^* .

Na parametru b^* se rychlost snižování tlaku ani použitá konečná teplota sušení nijak významně neprojevila.

Sytost vzorků (parametr C^*) byla ovlivněna zejména technikou snižování tlaku ($p < 0,001$) a to tak, že v případě lyofilizace provedené s postupným snižováním tlaku byly naměřené hodnoty sytosti vyšší. Při porovnání jednotlivých teplot políc (v rámci stejné techniky) nebyl prokázán významný rozdíl u žádného ze vzorků, nicméně v případě „P“ techniky lyofilizace se projevila nepřímá závislost na teplotě – s rostoucí teplotou políc hodnoty C^* parametru klesaly.

U parametru h byl prokázán jak vliv teploty políc ($p < 0,01$), tak vliv rychlosti sušení ($p < 0,001$). V případě rychlého snížení tlaku byly naměřeny hodnoty od 71,14° do 73,24° a u pomalého snižování tlaku byly hodnoty odstínu v rozmezí 69,00–70,16°; tzn. že rychlá technika vedla k vyšším hodnotám parametru h . Při porovnání stejných teplot políc u rozdílných technik byly zjištěny významné rozdíly až na srovnání teploty 30 °C – u 30 °C „P“ metody byla naměřena hodnota 70,16° ± 0,60 a u „R“ metody hodnota 71,14° ± 0,52. Výsledné hodnoty parametrů barevnosti jsou zobrazeny v *Tabulce 1*.

V *Příloze 6* je možné subjektivně posoudit barevnost všech vzorků. Lyofilizované prášky dýně, které vznikly po použití pomalého snižování tlaku během sušení (první sloupec vzorků na fotografii), by se měly jevit červenější než vzorky sušené rychlou metodou. Lze také zhodnotit měrnou světlost, tzn. nejsvětlejší vzorek by měl být „20 °C R“ a naopak jako nejtmavší by se měl jevit vzorek označený „40 °C“.

V experimentu Ízli et al. (2022) vzorky sušením ztmavly, vzrostla jejich sytost a v barevném spektru se více posunuly k červené a žluté barvě [59]. Práce Nawirska et al. (2009) srovnávala různé odrůdy druhů *C. maxima* a *C. pepo*. sušené odlišnými metodami. Výsledky ukázaly, že sušené vzorky *C. maxima* byly tmavší, červenější a žlutější než *C. pepo* [90]. Lim et al. (2021) zjistili, že parametr měrné světlosti se nejspíše odvíjí od teploty i doby sušení (jeho hodnoty klesají při vyšších teplotách a delší době sušení). Lyofilizovaný prášek byl nejsvětlejší a jeho celková změna barvy byla oproti čerstvé dýni nejmenší [87]. Pereira et al. (2020) u sušených vzorků čtyř odrůd *C. maxima* zjistili následující rozmezí hodnot: L^* 73,7–84,1; a^* -0,8–4,7; b^* 28,1–46,7. Je patrné, že barevnost se v rámci jednoho druhu může velmi lišit [49]. Porovnání parametrů barevnosti mezi *C. moschata* a *C. maxima* provedli Indrianingsih et al. (2019). Zjistili, že tmavší a výrazně červenější i žlutější byly vzorky dýně velkoplodé [91].

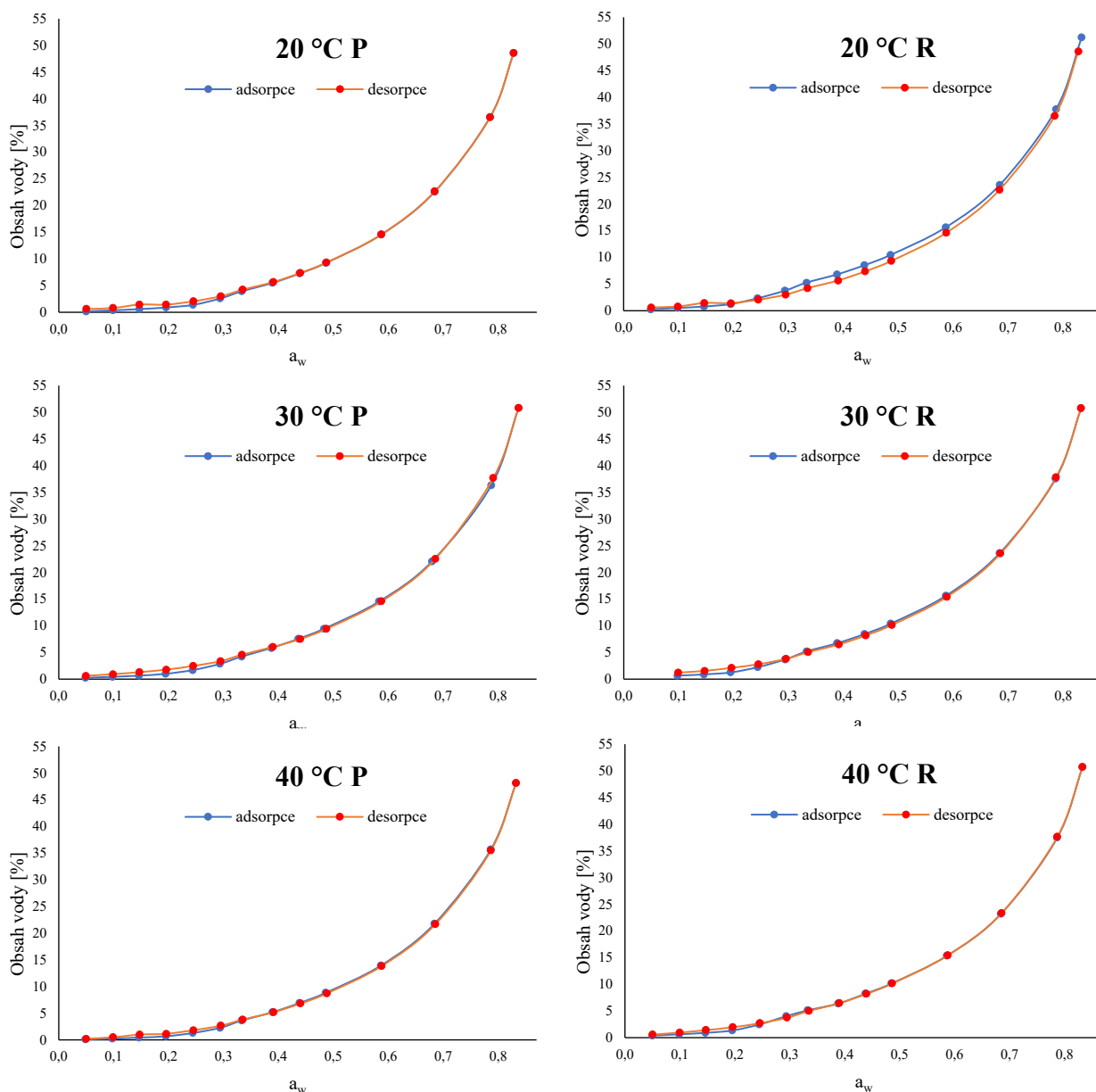
Výsledky barevnosti naměřené v této práci jsou ve srovnání s výše zmíněnými publikacemi většinou u všech parametrů nižší. Důvodem mohl být konkrétní analyzovaný vzorek dýně, jelikož bylo vyzpozorováno, že nejen v rámci druhu, ale i odrůd, se výsledky barevnosti lišily. Rozdílné hodnoty mohou být naměřeny i u jednotlivých částí dýně nebo vlivem různé dlouhé doby sušení. Také se zde mohl projevit použitý postup experimentu – lyofilizované prášky dýně byly měřeny v kyvetě, která mohla výsledky zkreslit.

6.1.3 Vliv lyofilizace na sorpční vlastnosti dýňového prášku

Z *Obrázku 7* je patrné, že zaznamenané izotermy všech vzorků jsou takřka totožné. Jejich tvar odpovídá křivkám typu III (*Obrázek 3*) a konvexní průběh adsorpčních a desorpčních křivek je u jednotlivých vzorků téměř shodný.

Al-Ghamdi et al. (2020) provedli podobný experiment, kde došli ke stejnému vyhodnocení sorpčních izoterem lyofilizované dýně. Stanovené izotermické křivky charakterizují dýňový prášek jako makroporézní a hydrofobní materiál, což může být dáno převahou sacharidů a vlákniny v sušině dýně. Nehygrokopické vlastnosti mohou být také dány přítomností a vzájemnou kombinací ostatních přítomných složek jako jsou bílkoviny, minerály, vitamíny a popel [97]. Sorpčními vlastnostmi lyofilizovaného dýňového prášku se zabýval i Stepien et al. (2020). Ke vzorkům byla přidávána různá množství inulinu (rozpustná rostlinná vláknina). Nicméně byl proveden i experiment s čistým dýňovým práškem (bez přídavku inulinu) a tvar jeho sestavené sorpční izotermy byl taktéž vyhodnocen jako křivka typu III. Důvodem byl zejména vysoký obsah nízkomolekulárních cukrů, které jsou typické pro mnoho druhů ovocí. U dýňového prášku obohaceného o inulin nebo maltodextrin (oligosacharid) se tvar křivky změnil na typ II (sigmoidní tvar), který je pro potravinářské výrobky nejčastější a charakterizuje materiály, které jsou složeny z látek s vysokou molekulovou hmotností (polysacharidy a proteiny) [98]. Je tedy možné, že tvar sorpčních izoterem dýňového prášku by se mohl podobat více typu křivky II, pokud by dýně obsahovala více vlákniny (např. při zvolení jiného druhu dýně nebo pokud by dýně byla analyzována v menším stupni zralosti).

Z *Obrázku 7* je také zjevné, že ani u jednoho vzorku nebyla zjištěna významná hystereze. Z toho tedy vyplývá, že dýňový prášek vykazuje menší afinitu k vodě a také to dokazuje volnou dostupnost a pohyb vody v tomto materiálu. Ke stejnému závěru došli i Al-Ghamdi et al. (2020) [97]. Jednotlivé vzorky se významně neliší ani v maximálním množství adsorbované vody, která se pohybuje od 48,12 % (vzorek „40 °C P“) do 51,23 % (vzorek „20 °C R“).



Obrázek 7 – Adsorpční (modré) a desorpční (červené) izotermy vzorků lyofilizovaného dýňového prášku

„P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace, „R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace

Pomocí modelu Caurie byly také zjištěny následující parametry sorpčních izoterm: M_0 [% H₂O] – obsah vlhkosti v monovrstvě, c_d [g/ml] – hustota sorbované vody, A [m²/g] – plocha sorpce, N – počet adsorbovaných monovrstev. Jejich vypočítané hodnoty jsou uvedeny v *Tabulce 2* a *3*. Nejprve byla sestavena závislost podle *Rovnice 1* (*Příloha 7–10*), ze které byly zjištěny parametry M_0 a c_d . Poté bylo možné z parametrů přímky (směrnice a úsek) dopočítat parametr A (pomocí *Rovnice 2*) a parametr N (pomocí *Rovnice 3*). Adsorpci a následnou desorpci vlhkosti byla zaznamenána změna plochy od 11,10 % (vzorek

„40 °C R“) do 34,63 % (vzorek „20 °C R“). Vzorčky sušené při postupném snižování tlaku (při stejné teplotě) měly vždy menší plochu a počet monovrstev.

Tabulka 2 – Odhady parametrů Caurie modelu popisující izotermy vzorků lyofilizovaného dýňového prášku (postup s pomalým snižováním tlaku)

parametry izoterem	lyofilizace					
	20 °C P		30 °C P		40 °C P	
	adsorpce	desorpce	adsorpce	desorpce	adsorpce	desorpce
M₀ [% H ₂ O]	3,41	4,11	3,61	4,23	3,14	3,60
c_d [g/ml]	2,30	2,19	2,28	2,20	2,27	2,22
A [m ² /g]	40,71	51,51	43,33	52,73	37,83	44,38
A [% změna]	26,53		21,67		17,31	
N	1,50	1,89	1,59	1,94	1,39	1,63

„P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace

Tabulka 3 – Odhady parametrů Caurie modelu popisující izotermy vzorků lyofilizovaného dýňového prášku (postup s rychlým snížením tlaku)

parametry izoterem	lyofilizace					
	20 °C R		30 °C R		40 °C R	
	adsorpce	desorpce	adsorpce	desorpce	adsorpce	desorpce
M₀ [% H ₂ O]	3,90	4,86	3,94	4,39	4,01	4,34
c_d [g/ml]	2,39	2,21	2,37	2,28	2,34	2,27
A [m ² /g]	44,77	60,28	45,55	52,74	47,09	52,31
A [% změna]	34,63		15,79		11,10	
N	1,64	2,21	1,67	1,94	1,73	1,92

„R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace

6.1.4 Vliv lyofilizace na sypné vlastnosti dýňového prášku

Celkově nižší hodnoty objemové hmotnosti byly prokázány u lyofilizace s rychlým snížením tlaku ($p < 0,001$) – naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí 0,12–0,14 g/cm³, a naopak u „P“ techniky vzorky vykazovaly vyšší objemovou hmotnost (0,15–0,18 g/cm³) viz *Tabulka 4*. Navíc u „R“ techniky byly vzorky sušeny při konečných teplotách políc déle, než u „P“ lyofilizace. Je tedy možné, že delší čas sušení a rychlé snížení tlaku se podílí na vzniku poréznějších a fragmentovanějších částic prášku dýně [59]. Konečná teplota sušení měla na objemovou hmotnost vliv také ($p < 0,001$) – u „P“ metody byla zaznamenána nepřímá závislost tohoto parametru na teplotě, takže čím vyšší byla použitá teplota police, tím nižší objemová hmotnost byla u vzorků naměřena. Byl prokázán také statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými teplotami sušení (v rámci stejné metody snižování tlaku) až na porovnání vzorků „30 °C P“ s 40 °C P“ a „20 °C R“ s „30 °C R“.

Tabulka 4 – Naměřené a vypočítané hodnoty vybraných fyzikálních charakteristik u lyofilizovaného dýňového prášku

lyofilizace	Objemová hmotnost [g/cm ³]	Specifická hmotnost [g/cm ³]	Carr Index [%]	Hausnerův poměr
20 °C P	^e 0,18 ± 0,00	^e 0,27 ± 0,00	^{de} 33,72 ± 0,54	^c 1,51 ± 0,01
20 °C R	^b 0,13 ± 0,01	^{bd} 0,20 ± 0,01	^{de} 34,16 ± 2,21	^c 1,52 ± 0,05
30 °C P	^d 0,16 ± 0,01	^e 0,22 ± 0,01	^{bc} 28,88 ± 0,22	^b 1,41 ± 0,00
30 °C R	^{bc} 0,14 ± 0,00	^{cd} 0,21 ± 0,01	^d 33,58 ± 2,56	^c 1,51 ± 0,06
40 °C P	^{cd} 0,15 ± 0,00	^b 0,19 ± 0,00	^a 20,44 ± 1,59	^a 1,26 ± 0,03
40 °C R	^a 0,12 ± 0,01	^a 0,17 ± 0,00	^{ce} 30,45 ± 3,00	^{bc} 1,44 ± 0,06

„P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace, „R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace, různá písmenka značí významné rozdíly v hodnotách ($p < 0,05$), aritmetický průměr ± směrodatná odchylka ($N = 3$)

Dirim a Çalışkan (2012) naměřili hodnotu 0,113 g/cm³ objemové hustoty u vzorku dýňového pyré lyofilizovaného při teplotě police 30 °C [65]. Stejný experiment provedli Mujaffar et al. (2015) [86], kteří došli k rozmezí výsledků 0,15 g/cm³ až 0,26 g/cm³. U kousků dýně lyofilizované při teplotě od –50 °C do –45 °C v experimentu Que et al. (2008) byla naměřena hodnota objemové hmotnosti 0,33 g/cm³. Došli také ke zjištění, že vzorky dýně sušené lyofilizací byly poréznější, a tak vykazovaly nižší hodnoty objemové hmotnosti než vzorky sušené horkým vzduchem (70 °C) [75].

Nejvyšší hodnota specifické hmotnosti ($0,27 \pm 0,00 \text{ g/cm}^3$) byla naměřena u vzorku „20 °C P“ a naopak nejnižší hodnota ($0,17 \pm 0,00 \text{ g/cm}^3$) byla změřena u vzorku „40 °C R“. Specifická hmotnost byla významně ovlivněna jak použitou technikou ($p < 0,001$), tak i konečnou teplotou sušení ($p < 0,001$). Stejně jako u objemové hmotnosti, i zde se u „P“ techniky projevila nepřímá závislost sledovaného parametru na teplotě (s rostoucí konečnou teplotou polic klesala hodnota specifické hmotnosti). Mezi jednotlivými teplotami polic byl v rámci stejné techniky také prokázán rozdíl, až na srovnání teplot 20 a 30 °C u lyofilizace s rychlým snížením tlaku. Porovnání výsledků ze sušení se stejnými teplotami polic ukázalo, že až na teplotu 30 °C byly mezi jednotlivými technikami také prokázány významné rozdíly. Z porovnání rozdílů naměřených hodnot mezi objemovou a specifickou hmotností vzorků sušených při stejné konečné teplotě vyplývá, že čím nižší byla použitá teplota, tím větší rozdíl byl zjištěn – tzn. nejvíce se setřepaly vzorky sušené při 20 °C. Ke stejnému zjištění bylo dospěno po srovnání výsledků İzli et al. (2022) – vzorky sušené při nejnižší teplotě (60 °C) se v průměru setřepaly nejvíce [59]. Je tedy možné, že vzorky sušené nižší teplotou jsou poréznější.

Lim et al. (2021) naměřili pro lyofilizovanou dýňovou slupku hodnotu $0,32 \text{ g/cm}^3$. U sušení horkým vzduchem a v peci byly naměřeny více než dvojnásobné hodnoty specifické hmotnosti, což opět dokazuje, že lyofilizací vznikl poréznější prášek [87].

Carr Index byl spočítán pomocí *Rovnice 4*. Vypočítané hodnoty se pohybovaly v rozmezí 20,44–34,16 %. Sledovaný parametr byl ovlivněn teplotou ($p < 0,001$) tak, že čím vyšší byla použitá teplota sušení, tím menší hodnota Carr Indexu byla naměřena. U techniky s postupným snižováním tlaku byl prokázán významný rozdíl i v rámci jednotlivých teplot polic, kdežto u „R“ techniky byl rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší naměřenou hodnotou Carr Indexu pouze 3,71 %. Rychlost sušení také ovlivnila zkoumaný parametr ($p < 0,001$) – rychlou technikou bylo dosaženo vyšších hodnot Carr Indexu. Při srovnání stejných teplot polic se ukázalo, že rozdíly mezi vypočítanými hodnotami jsou větší s vyšší konečnou teplotou sušení – tzn. rozdíl hodnot při teplotě polic 20 °C činil pouze 0,44 %, u teploty 30 °C byl rozdíl 4,7 % a rozdíl hodnot Carr Indexu u teploty polic 40 °C byl dokonce 10,01 %.

Rozmezí hodnot Carr Indexu 15,28–35,10 % bylo naměřeno İzli et al. (2022). Zároveň se ukázalo, že s rostoucí použitou teplotou sušení hodnoty Carr Indexu klesaly [59]. Výsledky lyofilizované dýně se pohybují také v tomto rozmezí a taktéž byla prokázána nepřímá závislost tohoto parametru na teplotě. Znamená to tedy, že použití nižších teplot sušení nejspíše vede k horší tekutosti výsledných prášků. Dirim a Çalışkan (2012) po vyhodnocení výsledků došli k hodnotě 23,14 %. Podle klasifikační tabulky pro Carr Index je tato hodnota tekutosti

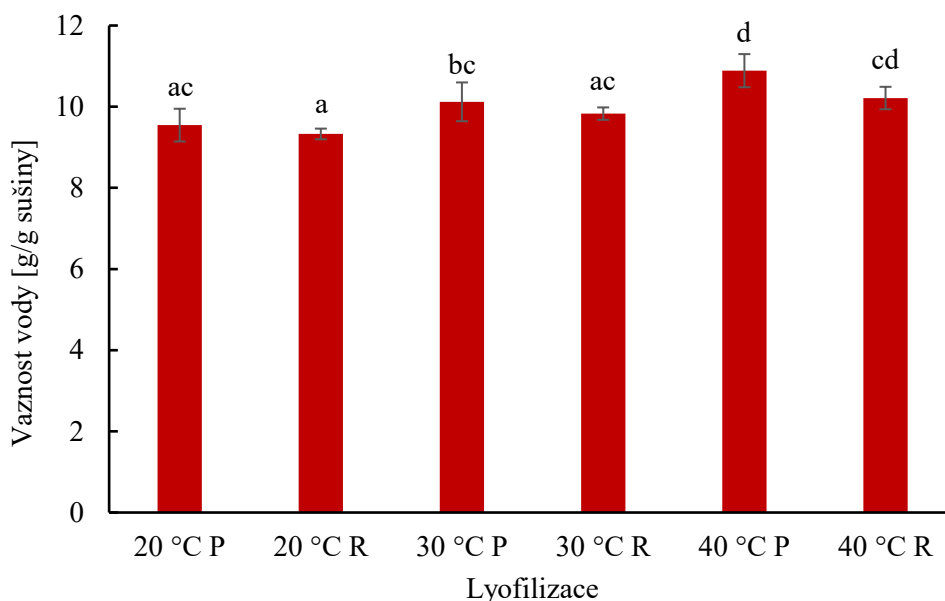
průměrná. Vzorky analyzované v této práci spadají do stejné kategorie, jejíž rozmezí je dané od 20 do 35 % [65]. K výsledku CI 22,30 % došel Lim et al. (2021). Naměřené hodnoty u sušení v peci (30,96 %) a horkým vzduchem (29,06 %) byly vyšší, což mohlo být způsobeno také velikostí částic prášku, kdy největší částice byly naměřeny právě u vzorků sušených pomocí lyofilizace [87]. To znamená, že lepší tekutost (nižší CI) vykazují materiály s většími částicemi [65].

Podle *Rovnice 5* byly zjištěny hodnoty Hausnerova poměru, které byly ovlivněny teplotou polic ($p < 0,001$) stejně jako u Carr Indexu (s rostoucí teplotou sušení hodnoty sledovaného parametru klesaly). Taktéž mezi jednotlivými teplotami polic byl u „P“ techniky prokázán významný rozdíl. U sledovaného parametru byly vypočítány nižší hodnoty v případě lyofilizace s postupným snižováním tlaku ($p < 0,01$). Kromě vzorku „40 °C P“ (HR $1,26 \pm 0,03$), který ještě spadá do střední kategorie soudržnosti, všechny ostatní vzorky mají HR $> 1,4$, což lze interpretovat jako vysokou míru soudržnosti [65].

Ízli et al. (2022) u analyzovaných vzorků naměřily hodnoty HR od 1,13 do 1,54. Stejně jako u Carr Indexu se zde projevila nepřímá závislost Hausnerova poměru na teplotě sušení [59]. Hodnoty HR zjištěné v rámci této práce spadají do stejného rozmezí a taktéž i u nich byla prokázána nepřímá závislost vůči teplotě. Výsledek 1,30 zjištěný Dirim a Çalışkan (2012) spadá do střední kategorie soudržnosti, která je určena intervalem hodnot 1,2–1,4 [65].

6.1.5 Vliv lyofilizace na vaznost vody, bobtnací kapacitu a index rozpustnosti dýňového prášku

Výsledky vaznosti vody se pro vzorky lyofilizovaného dýňového prášku pohybovaly od 9,33 g/g sušiny do 10,89 g/g sušiny. Byl prokázán pouze vliv teploty sušení ($p < 0,01$) a to takový, že sledovaný parametr stoupal s rostoucí teplotou, zatímco rychlost sušení výsledné hodnoty neovlivnila. Nicméně celkově nižší hodnoty WHC byly zaznamenány u lyofilizace s rychlým snížením tlaku. Naměřené hodnoty vaznosti vody (WHC) vzorků jsou znázorněny na *Obrázku 8*.



Obrázek 8 – Naměřené hodnoty vaznosti vody prášku lyofilizované dýně

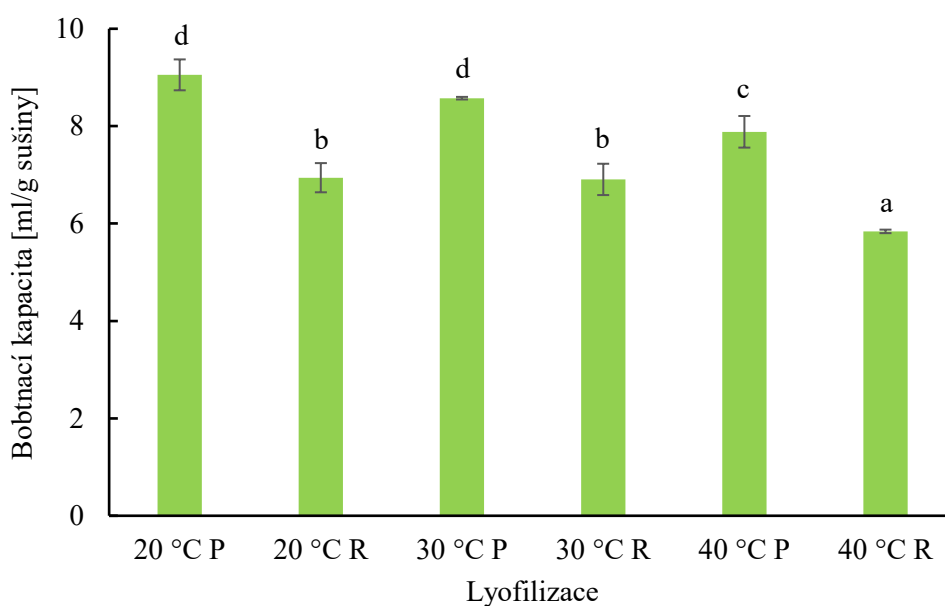
„P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace, „R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace, různá písmenka značí významné rozdíly v hodnotách ($p < 0,05$), aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka ($N = 3$)

Ízli et al. (2022) naměřili WHC v rozmezí 4,32–9,20 g/g. Také bylo prokázáno, že čím nižší byla použitá teplota sušení, tím vyšší byly výsledky vaznosti vody [59].

Hodnoty vzorků analyzovaných v této práci byly průměrně vyšší a zároveň u nich byla prokázána opačná závislost WHC na teplotě. Je možné, že výsledky byly zkresleny kvůli nedokonalému odpipetování kapaliny nad sedimentem, protože po odstředění centrifugou nedošlo k ideálnímu oddělení kapalně a pevné fáze (sediment měl gelový charakter). Pereira et al. (2020) naměřily u vzorků dýně (sušených při 65 °C v peci) interval WHC 6,2 g/g do 11,5 g/g. Mimo jiné zkoumali také obsah vlákniny – vzorek s nejvyšším obsahem vlákniny vykazoval nejvyšší hodnotu WHC a naopak [49].

Zejména v potravinářství je většinou žádoucí, aby se práškové materiály efektivně smáčely a rozpouštěly bez tvorby hrudek a žmolků [59]. Potravinářské práškové materiály s vysokou absorpcí vody (resp. vysokou hodnotou WHC) lze použít např. jako zahušťovadla do omáček a polévek nebo je lze využít jako přísadu do instantních nudlí, mléčných výrobků, zmrzlin či pečiva, koláčů apod., které si díky tomu pak udržují žádanou vláčnost [49].

Nejnižší hodnota bobtnací kapacity ($5,84 \pm 0,04$ ml/g sušiny) byla změřena u vzorku „40 °C R“ a naopak nejvyšší ($9,05 \pm 0,32$ ml/g sušiny) u vzorku „20 °C P“. U tohoto parametru byl prokázán, jak vliv techniky sušení ($p < 0,001$), tak i vliv teploty polic ($p < 0,001$). U „R“ metody lyofilizace byly naměřené hodnoty nižší než u pomalého snižování tlaku. Co se týká teploty polic, tak výsledky bobtnací kapacity s rostoucí teplotou klesaly (u „P“ metody má tato nepřímá závislost lineárnější průběh než u „R“ metody). U obou technik byl v rámci jednotlivých teplot sušení prokázán významný rozdíl, až na srovnání teplot 20 a 30 °C. Naměřené hodnoty bobtnací kapacity (SWC) vzorků jsou znázorněny na *Obrázku 9*.



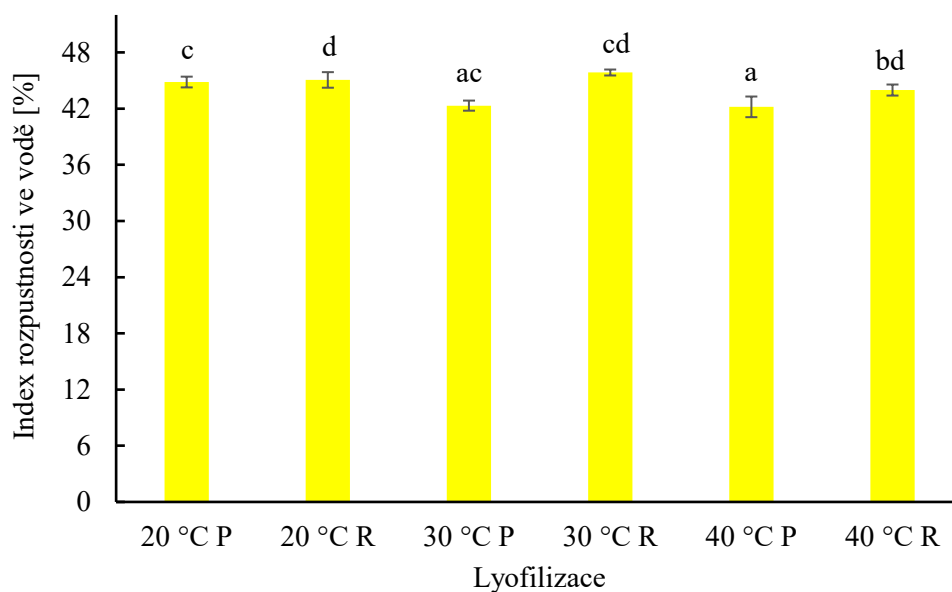
Obrázek 9 – Naměřené hodnoty bobtnací kapacity prášku lyofilizované dýně

„P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace, „R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace, různá písmenka značí významné rozdíly v hodnotách ($p < 0,05$), aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka ($N = 3$)

Rozmezí hodnot SWC 9,28–18,05 ml/g bylo naměřeno İzli et al. (2022). I zde se stejně jako u WHC prokázala nepřímá závislost sledovaného parametru na sušící teplotě [59]. Tento trend byl prokázán i v této práci, nicméně naměřené hodnoty byly v průměru nižší. Degada (2022) ve své práci naměřil bobtnací kapacitu u dýňové mouky v intervalu od 3,78 ml/g do 7,18 ml/g. Došel k závěru, že na hodnoty SWC má vliv konkrétní druh dýně – pro mouku dýně *C. maxima* byly u všech zkoumaných typů sušení naměřeny vyšší hodnoty SWC než u druhu *C. pepo*. Po srovnání jednotlivých typů sušení (solární, sluneční sušení a sušení v peci při 60 °C) byly vypořádováno, že nejvyšší hodnoty SWC vykazovaly vzorky sušené v peci, a naopak nejnižší byly zaznamenány u vzorků sušených sluncem [99].

Bobtnací kapacita (stejně jako viskozita) je závislá především na obsahu a druhu přítomných sacharidů. Čím více amylopektinu škrob obsahuje, tím vyšší je SWC [100, 101]. Bobtnací index škrobových složek se při sušení vysokými teplotami snižuje [100]. Rozpustná vláknina má vysokou hydratační schopnost a díky tomu dokáže tvořit viskózní roztoky [88]. Nicméně na gelových vlastnostech práškových materiálů se podílí také přítomné bílkoviny. Ty ovlivňují především emulgaci, rozpustnost dusíku, pění a absorpci vody a oleje [100].

U vzorků lyofilizované dýně byl index rozpustnosti ve vodě naměřen v rozmezí 42,19–45,85 %. Na výsledné hodnoty měla vliv především technika snižování tlaku ($p < 0,001$), kdy vyšších hodnot WSI bylo dosaženo u „R“ lyofilizace. Vliv teploty na sledovaný parametr byl také prokázán ($p < 0,01$), ale pouze v případě techniky „P“ byla zaznamenána nepřímá závislost bobtnací kapacity na teplotě sušení. Naměřené hodnoty indexu rozpustnosti ve vodě (WSI) vzorků jsou znázorněny na *Obrázku 10*.



Obrázek 10 – Naměřené hodnoty indexu rozpustnosti prášku lyofilizované dýně

„P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace, „R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace, různá písmenka značí významné rozdíly v hodnotách ($p < 0,05$), aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka ($N = 3$)

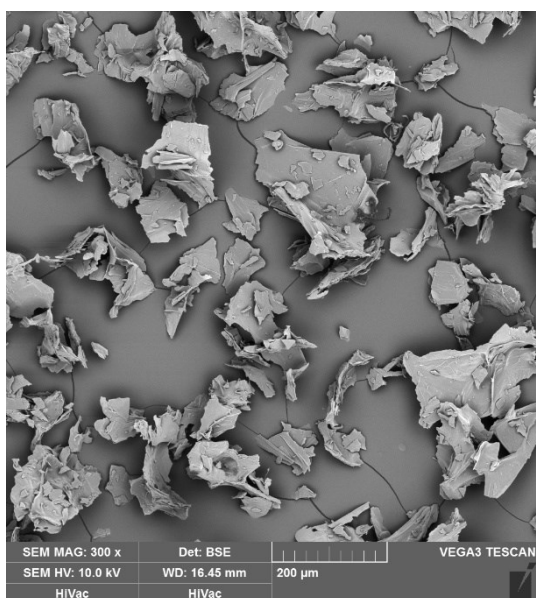
Hodnoty WSI v rozmezí 25,67–32,71 % byly naměřeny v experimentech Degada (2022). Byla zde prokázána závislost sledovaného parametru na analyzovaném druhu dýně a také na typu použitého sušení. Bylo vypořováváno, že rozpustnost byla přímo úměrná bobtnací schopnosti. Obě tyto vlastnosti jsou důkazem nekovalentní vazby mezi molekulami v dýňové mouce [99]. Pereira et al. (2020) vypořovovali, že rozpustnost dýňových prášků se odvíjela od obsahu a

konkrétního složení škrobu a také od přítomnosti a struktury bílkovin. U vzorků s vyšší hodnotou WSI byl zjištěn vyšší obsah sacharidů a amylozy a nižší obsah vlákniny a bílkovin [49]. Que et al. (2008) naměřili hodnotu rozpustnosti 30,71 % u vzorku lyofilizované dýně a hodnotu 34,90 % u vzorku sušeného horkým vzduchem. Jelikož se na rozpustnosti odráží míra degradace škrobu během sušení, tak pro dosažení vyšší rozpustnosti je vhodné použít vyšší sušicí teploty, při kterých se škrob rozkládá více [75].

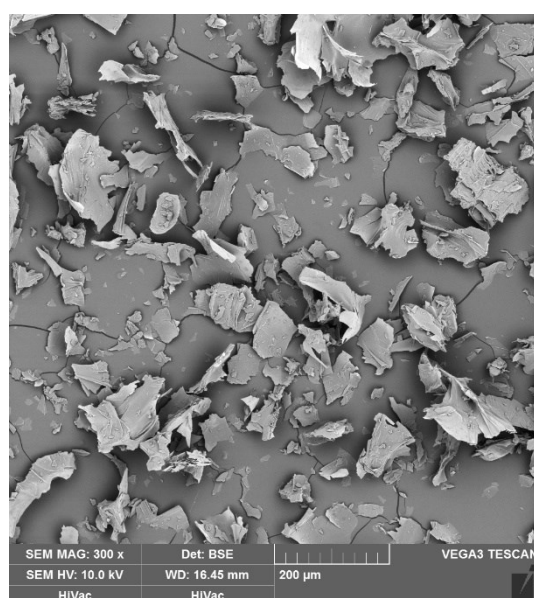
6.1.6 SEM snímky dýňového prášku

Jelikož se většina fyzikálních vlastností práškových materiálů odvíjí mimo jiné od morfologie částic, tak vzorky lyofilizovaného dýňového prášku byly pozorovány pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (SEM). Vzorky byly před focením potaženy 2 nm vrstvou zlata pomocí přístroje Q150R Plus – Rotary Pumped Coater, aby byl jejich povrch elektricky vodivý (*Příloha 11*). Snímky byly pořízeny v zobrazení BSE (zobrazení zpětně odražených elektronů), při urychlovacím napětí elektronů 10 kV a zvětšení 300krát. Zaznamenané snímky jsou zobrazeny na *Obrázku 11*.

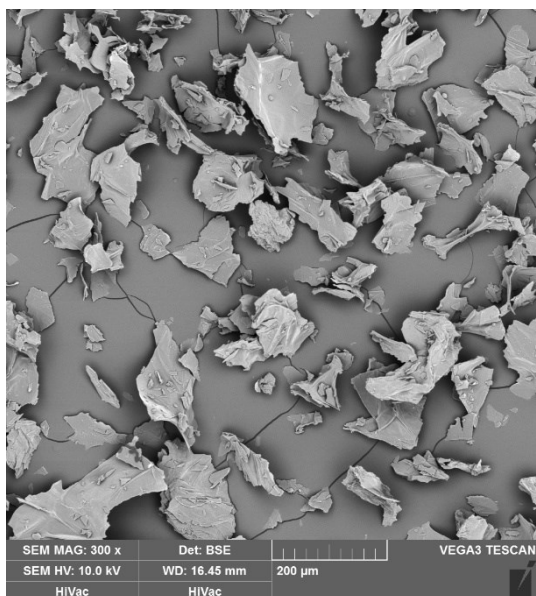
vzorek „20 °C P“



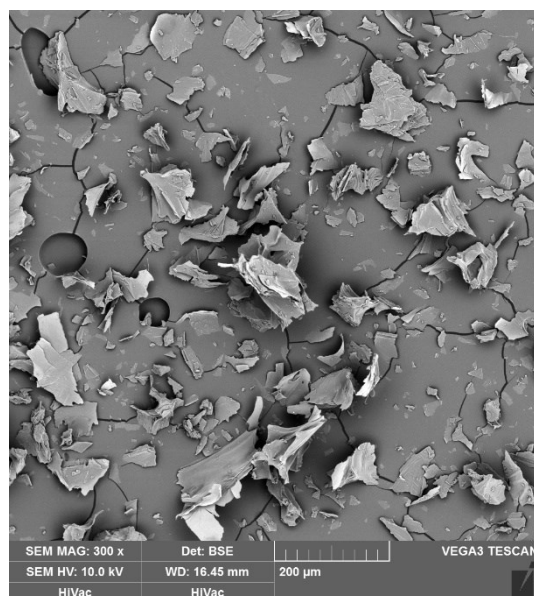
vzorek „20 °C R“



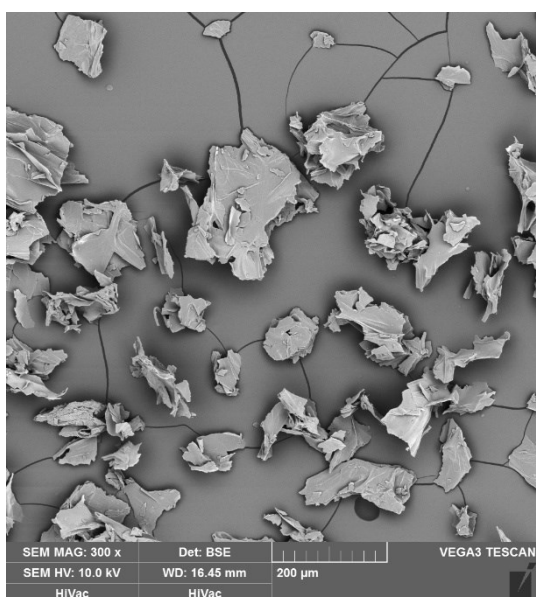
vzorek „30 °C P“



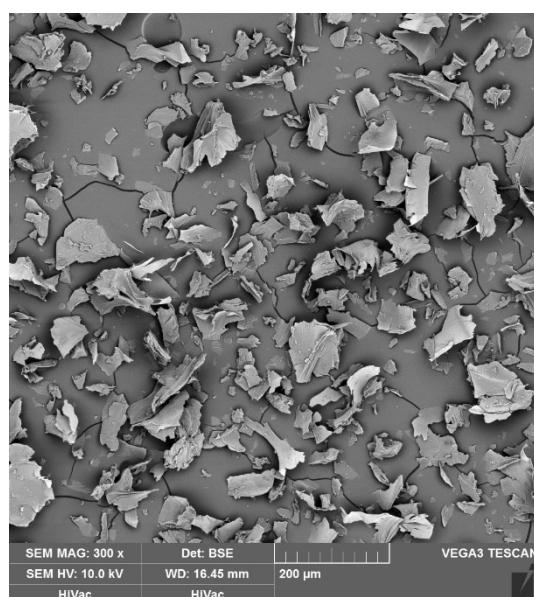
vzorek „30 °C R“



vzorek „40 °C P“



vzorek „40 °C R“



Obrázek 11 – SEM snímky lyofilizovaných dýňových prášků

BSE zobrazení, zvětšeno 300krát, „P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace, „R“ jako rychlé snižení tlaku během lyofilizace

Mezi jednotlivými vzorky nebyl vyzorován žádný významný rozdíl v morfologii částic. Zachycené mikročástice mají různou velikost, nepravidelný tvar i povrch. Jejich vločkovitá struktura připomíná rozbité sklo.

6.2 Vliv lyofilizace na obsah vybraných látek v dýňovém prášku

6.2.1 Obsah fenolických látek

Celkový obsah fenolických látek (TPC) v lyofilizované dýni byl naměřen v rozmezí 1,95–2,52 mg GAE/g sušiny (*Tabulka 5*). TPC bylo ovlivněno jak konečnou teplotou sušení ($p < 0,001$), tak i rychlostí sušení ($p < 0,001$). Technika „R“ vedla k celkově vyšším hodnotám tohoto parametru. Nejvyšší obsah fenolických látek byl zjištěn u vzorků „30 °C R“ a „40 °C R“, naopak nejnižší obsah byl zaznamenán pro vzorek „20 °C R“. Žádný významný efekt teploty police ani způsobu lyofilizace zjištěn nebyl.

Tabulka 5 – Naměřené hodnoty antioxidačních charakteristik prášku lyofilizované dýně

lyofilizace	TPC [mg GAE/g]	DPPH [mg TE/g]
20 °C P	^c 2,18 ± 0,01	^d 1,19 ± 0,01
20 °C R	^a 1,95 ± 0,01	^c 1,10 ± 0,01
30 °C P	^{ab} 2,00 ± 0,02	^b 1,04 ± 0,02
30 °C R	^e 2,52 ± 0,03	^{bc} 1,08 ± 0,01
40 °C P	^b 2,04 ± 0,06	^a 0,99 ± 0,03
40 °C R	^d 2,41 ± 0,03	^a 0,99 ± 0,01

„P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace, „R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace, TPC – celkový obsah fenolických látek, GAE – ekvivalent kyseliny gallové, TE – ekvivalent Troloxu, různá písmenka značí významné rozdíly v hodnotách ($p < 0,05$), aritmetický průměr ± směrodatná odchylka ($N = 3$)

Dirim a Çalışkan (2012) naměřili hodnotu TPC 218,47 mg GAE/g u lyofilizovaného prášku dýňového pyrě a 225,22 mg GAE/g u čerstvé dýně [65]. Při porovnání těchto hodnot s výsledky TPC změřenými v této práci (*Tabulka 5*) je patrný signifikantní rozdíl. Je možné, že příčinou takto rozdílných výsledků byla použitá extrakce vzorků. Extrakty pro stanovení TPC byly připraveny s využitím methanolu, kdežto Dirim a Çalışkan (2012) k analýze použili vodné extrakty (lyofilizovaný prášek z dýňového pyrě pouze rekonstituovali vodou). Je tedy možné, že extrakce fenolických látek pomocí roztoku methanolu nebyla dostatečně účinná a ve skutečnosti vzorky obsahovaly více fenolických látek, než bylo naměřeno. Nicméně studie provedená Yao et al. (2004) došla k závěru, že nejvhodnějším rozpouštědlem pro extrakci fenolických látek (u vzorků čerstvých čajových výhonků) byl právě methanol (ve srovnání s ethylacetátem, chloroformem a vodou) [102]. K celkově nižším hodnotám TPC došli Que et

al. (2008). U dýně sušené lyofilizací byl obsah fenolických látek téměř čtyřikrát menší v porovnání se sušením horkým vzduchem. Ačkoliv jsou fenolické látky termolabilní, vyšší teplota sušení zde vedla k jejich tvorbě. Je možné, že vyšší teplota způsobila neenzymatickou interkonverzi (vzájemnou přeměnu) prekurzorů fenolických molekul a došlo tak ke vzniku nových fenolických sloučenin [75]. Práce Soong a Barlow (2004) zabývající se obsahem polyfenolů v mouce z mangových jader zjistila, že při zvýšení teploty na 160 °C se TPC zvýšil, nicméně při dalším zvýšení na 200 °C se celkový obsah fenolických látek výrazně snížil [103]. Ukázalo se, že hodnoty TPC naměřené u lyofilizovaných vzorků (listy moruše) byly vyšší než u vzorků nesusušených. Velká část fenolických sloučenin je vázána na buněčné struktury a vlivem sušení dochází k uvolnění fytochemikálií z matrice, takže při následné extrakci jsou pro stanovení dostupnější [104]. Aydin a Gocmen (2015) [88] i Klava et al. (2018) [92] vyzorovali, že vyšší teplota sušení vedla k vyššímu obsahu fenolických látek. Zdá se, že příliš nízké i vysoké teploty sušení mohou vést spíše k nižšímu obsahu fenolických sloučenin. Na hodnotě TPC se v souvislosti s použitou sušící teplotou také pravděpodobně odráží konkrétní zastoupení fenolických látek ve vzorku (pokud obsahuje větší podíl termolabilních složek oproti prekurzorům fenolických molekul, bude mít sušení při vyšší teplotě negativnější dopad). TPC může být ovlivněno i zvolenou extrakční technikou.

6.2.2 Antioxidační kapacita dýňového prášku

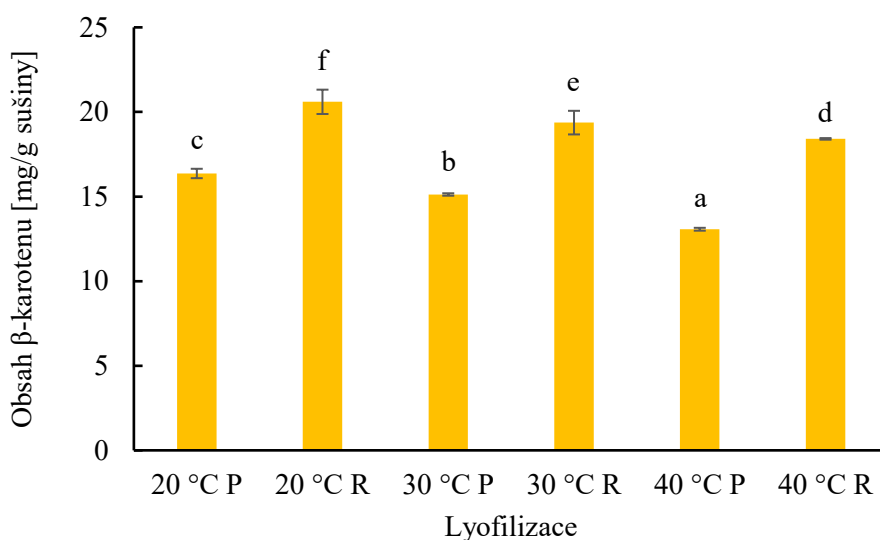
Nejvyšší hodnota antioxidační kapacity ($1,19 \pm 0,01$ mg TE/g sušiny), která byla stanovena pomocí DPPH radikálu, byla zaznamenána u lyofilizace s teplotou sušení 20 °C a pomalým snižováním tlaku. Naopak nejnižší výsledek (0,99 mg TE/g) byl naměřen pro vzorky s teplotou políc 40 °C (*Tabulka 5*). Na antioxidační kapacitu (ATC) lyofilizovaného dýňového prášku měla vliv pouze konečná teplota police sušení ($p < 0,001$), kdy s rostoucí teplotou klesaly hodnoty tohoto parametru.

Aydin a Gocmen (2015) naměřili celkovou hodnotu ATC (volné i vázané fenoly) 9,52 mg TE/g u vzorků sušených horkým vzduchem a 8,90 mg TE/g u lyofilizovaných vzorků. Vyšší hodnotu antioxidační kapacity přisuzují vyššímu obsahu fenolických látek, které vznikaly při vyšších teplotách sušení [88]. Indrianingsih et al. (2019) zjistili, že antioxidační kapacita se může lišit v závislosti na analyzované části dýně (semena, slupka, dužina). Při porovnání ATC u druhu *C. maxima* a *C. moschata* byla celkově vyšší inhibice DPPH radikálu naměřena u tykve velkoplodé [91]. Nejnižší antioxidační kapacita v práci Klava et al. (2018) byla zaznamenána u čerstvých (nesušených) zbytků dýně. Vyšší ATC vykazovaly vzorky dušených zbytků ve srovnání se zbytky z čerstvé dýně [92].

V rámci této práce byla zjištěna opačná závislost sledovaného parametru na teplotě. Z výše zmíněných publikací vyplývá, že antioxidační kapacita přímo úměrně souvisí s obsahem fenolických látek. Nicméně např. v rámci „R“ metody byla při 20 °C naměřena nejnižší hodnota TPC, ale zároveň vzorek „20 °C R“ vykazoval nejvyšší antioxidační kapacitu. Je tedy možné, že pro vznik fenolických sloučenin byla takto nízká teplota nedostatečná a zároveň mohl vzorek dýně obsahovat větší podíl fenolických látek, které jsou více termolabilní (např. kyselina askorbová) a proto se při nejnižší sušící teplotě zachovaly nejvíce, a to se projevilo na vyšší hodnotě ATC. Také analyzovaný druh, odrůda i vybraná část vzorku může mít vliv na hodnotu antioxidační kapacity. Jelikož ATC souvisí s celkovým obsahem fenolických látek, metoda extrakce se zde také může projevit.

6.2.3 Vliv lyofilizace na obsah β -karotenu v dýňovém prášku

Lyofilizace provedená s rychlých snížením tlaku vedla k vyššímu obsahu β -karotenu v dýňových prášcích než při použití techniky s pomalým snižováním tlaku ($p < 0,001$) a to i přes skutečnost, že vzorky byly během „R“ metody ve styku s vyhřívanou policí po delší dobu. Na množství β -karotenu měla významný vliv i teplota polic – čím vyšší byla konečná teplota police, tím nižší obsah β -karotenu ve vzorcích byl naměřen ($p < 0,001$). Nejvyšší obsah β -karotenu v sušině ($20,6 \pm 0,72$ mg/g sušiny) byl naměřen u vzorku „20 °C R“ a naopak nejnižší ($13,07 \pm 0,08$ mg/g sušiny) u vzorku „40 °C P“. Naměřené hodnoty obsahu β -karotenu ve vzorcích jsou znázorněny na *Obrázku 12*.



Obrázek 12 – Naměřené obsahy β -karotenu v prášku lyofilizované dýně

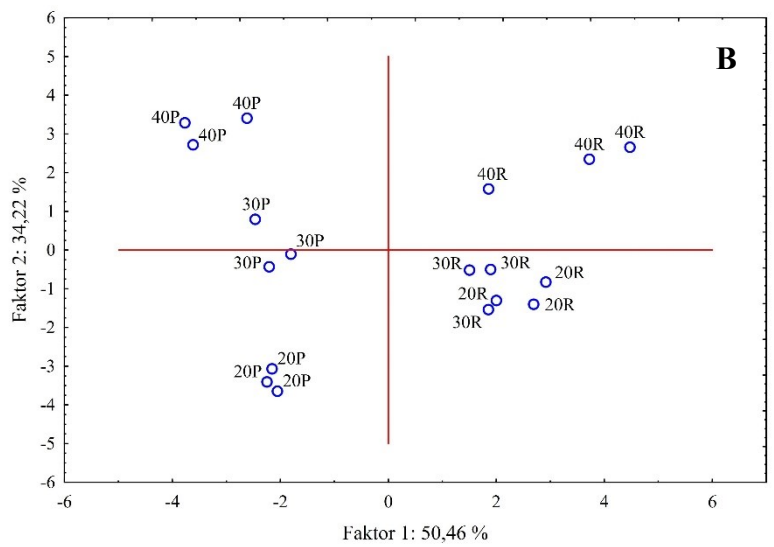
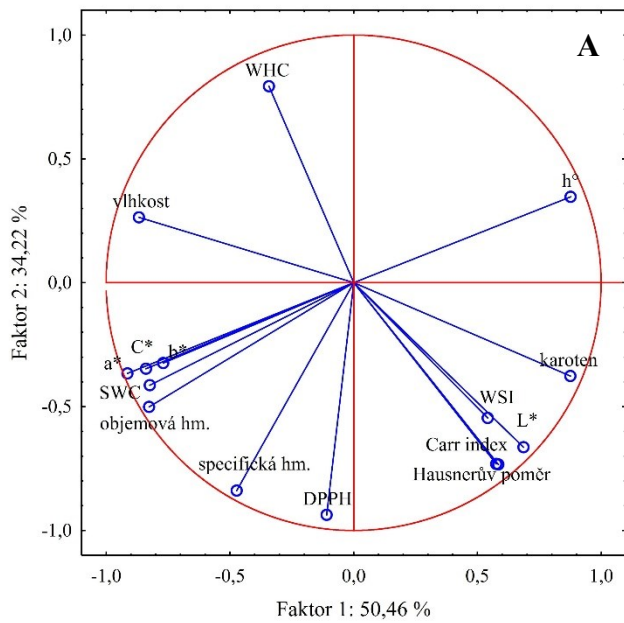
„P“ jako postupné snižování tlaku během lyofilizace, „R“ jako rychlé snížení tlaku během lyofilizace, různá písmenka značí významné rozdíly v hodnotách ($p < 0,05$), aritmetický průměr \pm směrodatná odchylka ($N = 3$)

Nawirska et al. (2009) vypořovovali zhruba osmkrát vyšší obsah karotenoidů u vzorků *C. maxima* ve srovnání se vzorky *C. pepo*. V rámci porovnání sušících metod se lyofilizace ukázala jako nejšetnější (obsah karotenoidů až 1,6 mg/g vzorku), a naopak konvekční sušení vedlo k nejnižším hodnotám karotenoidů. Jejich obsah tedy závisel jak na použitém typu sušení, tak i na zvoleném druhu dýně [90]. Nejvyšší hodnotu karotenoidů (0,78 mg/g) naměřili Song et al. (2017) u lyofilizačního sušení. Naopak nejnižší hodnota (0,51 mg/g) byla zaznamenána po horkovzdušném sušení (60 °C). Rozdíl mezi těmito hodnotami přisuzují škodlivému účinku tepla a kyslíku na stabilitu těchto pigmentů [93]. V práci Durante et al. (2014) byl prokázán vliv sušící metody na následnou extrakci karotenoidů [94]. V první studii Shi et al. (2010) stanovovali karotenoidy v lyofilizovaných vzorcích *C. moschata* pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC) [95]. Díky jejich experimentu zjistili, že použitá extrakční metoda má významný vliv na stanovení obsahu karotenoidů. V jejich druhé studii [96] se po analýze druhu *C. maxima* navíc ukázalo, že kromě vlivu na celkový obsah karotenoidů, má volba extrakční metody vliv i na konkrétní zastoupení karotenoidních látek v následném extraktu.

Výsledky obsahu β -karotenu naměřené v této práci jsou po srovnání s hodnotami z výše zmíněných publikací nadprůměrné. Úbytek karotenů v potravinách způsobuje nejen teplo, ale i světlo, kyslík a enzymy. Celkový obsah i konkrétní zastoupení karotenoidů se může lišit v závislosti na druhu i odrůdě dýně, stupni zralosti, geografických a klimatických podmínkách, době sklizni či na metodě analýzy [65].

6.3 Analýza hlavních komponent

Byly vybrány dvě komponenty, které dostatečně vysvětlují celkem 84,7 % variability dat viz *Příloha 12*. Analýza proběhla ze standardizovaných dat a parametr TPC byl z analýzy vyřazen, protože jeho průvodič byl krátký (tzn. obsah fenolických látek nepřispívá k variabilitě vzorků.) První komponenta, která vysvětluje variabilitu v proměnných z 50,5 %, koreluje s obsahem β -karotenu, parametry a^* , b^* , C^* a h , obsahem vlhkosti, bobtnací kapacitou a objemovou hmotností. Druhá komponenta vysvětluje variabilitu v proměnných z 34,2 % a souvisí s antioxidační aktivitou a WHC viz *Obrázek 13 (A)*. Po rozdělení vzorků viz *Obrázek 13 (B)* je vidět, že první hlavní komponenta je odpovědná za seskupení vzorků podle techniky lyofilizace (postupné nebo rychlé snížení tlaku) a vzorky se liší v parametrech a^* , b^* , C^* a h , obsahu vlhkosti a β -karotenu, bobtnací kapacitě a objemové hmotnosti. Teplota políc (druhá komponenta) ovlivnila zejména parametr DPPH, WHC a specifickou hmotnost.



Obrázek 13 – Projekce proměnných (A) a případů (B) do faktorové roviny (sestrojeno v programu Statistica 14)

7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo ověřit, zda mohou mít různé podmínky lyofilizace vliv na fyzikální a chemické parametry vzniklého dýňového prášku. Prokázalo se, že technika lyofilizace i konečná teplota polic významně ovlivnily většinu zvolených parametrů.

Pomalé snižování tlaku vedlo k významně vyšším hodnotám obsahu vlhkosti, parametru a^* , C^* a SWC, objemové a specifické hmotnosti. Rychlé snížení tlaku způsobilo vyšší hodnoty u parametru L^* , h , WSI, TPC, CI, HR a u obsahu β -karotenu.

Nižší teplota sušení vedla k významně vyšším hodnotám obsahu β -karotenu, specifické a objemové hmotnosti, parametru L^* , CI, HR, SWC a antioxidační kapacity. Naopak použití vyšší teploty způsobilo vyšší hodnoty pouze u parametru WHC. U některých parametrů (obsah vlhkosti, TPC, WSI, a^* , h) sice byla prokázána významná závislost na teplotě, nicméně nelze říci, jestli nižší nebo vyšší teploty sušení vedou k jejich vyšším hodnotám. Jediný parametr b^* nebyl významně ovlivněn ani technikou ani teplotou polic.

Poměrně dlouhá doba lyofilizace znamená vysoké energetické náklady, které se odráží na výsledné ceně lyofilizovaných potravin. Z ekonomického hlediska by tedy bylo vhodné najít takové podmínky lyofilizace, které by dobu sušení co nejvíce zkrátily. V této práci bylo zjištěno, že nižší obsah vlhkosti byl zaznamenán po lyofilizacích s rychlým snížením tlaku. Nicméně tato skutečnost mohla být způsobena i delší dobou sušení při konečné teplotě. Podle mého názoru by mohlo být užitečné vyzkoušet metodu rychlého snížení tlaku v kombinaci s kratší dobou sušení, než která byla aplikována v tomto experimentu.

Z výživového hlediska je pravděpodobně vhodnější sušit nutričně bohaté potraviny při nižších teplotách a rychlém snížení tlaku, protože takto nastavené podmínky lyofilizace vedly k vyšším hodnotám obsahu β -karotenu, fenolických látek a k vyšší antioxidační kapacitě. Zde by možná bylo přínosné vyzkoušet, jestli by nižší teploty sušení vedly ještě k vyšším hodnotám zmíněných parametrů.

Je potřeba brát v úvahu, že výsledky naměřených parametrů mohly být ovlivněny nejen zvolenými podmínkami lyofilizace a samotnými postupy jednotlivých experimentů, ale i dalšími faktory. Na výsledcích se mohl projevit např. druh i odrůda vybrané dýně, její podmínky během růstu či stupeň zralosti. Úprava před samotným sušením (tj. nakrájení a zmrazení dýně) mohla mít na naměřené hodnoty také nějaký vliv.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] The Editors of Encyclopaedia Britannica. Adsorption. In: *Encyclopedia Britannica* [online]. © 2023 Encyclopædia Britannica, Inc. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/adsorption>
- [2] Chemicool Dictionary. Affinity. In: *Chemicool* [online]. © 2020 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.chemicool.com/definition/affinity.html>
- [3] Cambridge Dictionary. Analgesic. In: *Dictionary Cambridge* [online]. © 2023, Cambridge University Press & Assessment [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/analgesic>
- [4] National Human Genome Research Institute. Apoptosis. In: *Genome* [online]. © 2022, NHGRI [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.genome.gov/genetics-glossary/apoptosis>
- [5] Cambridge Dictionary. Arthritis. In: *Dictionary Cambridge* [online]. © 2023, Cambridge University Press & Assessment [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/arthritis>
- [6] Chemicool Dictionary. Association. In: *Chemicool* [online]. © 2020 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.chemicool.com/definition/association.html>
- [7] The Editors of Encyclopaedia Britannica. Atherosclerosis. In: *Encyclopedia Britannica* [online]. © 2023 Encyclopædia Britannica, Inc. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/atherosclerosis>
- [8] The Editors of Encyclopaedia Britannica. Diffusion. In: *Encyclopedia Britannica* [online]. © 2023 Encyclopædia Britannica, Inc. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/diffusion>
- [9] The Editors of Encyclopaedia Britannica. Calabash Tree. In: *Encyclopedia Britannica* [online]. © 2023 Encyclopædia Britannica, Inc. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/plant/calabash-tree>
- [10] The Editors of Encyclopaedia Britannica. Morphology. In: *Encyclopedia Britannica* [online]. © 2023 Encyclopædia Britannica, Inc. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/morphology-biology>
- [11] The Free Dictionary. Sigmoidal. In: *The Free Dictionary* [online]. © 2003–2023, Farlex, Inc. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.thefreedictionary.com/sigmoidal>
- [12] BISOGNIN, Dilson A. Origin and Evolution of Cultivated Cucurbits. *Ciência Rural* [online]. 2002, 32(4), 715–723. [cit. 2022-09-28]. ISSN 16784596. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000400028>
- [13] LIRA, Rafael a MONTES, S. Cucurbits (*Cucurbita* spp.). *Neglected Crops, 1492 from a Different Perspective* [online]. 1994, 6–77 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/303517060_Cucurbits_Cucurbita_spp

- [14] VYHNÁNEK, Miroslav. *Hodnocení tykví (Cucurbita maxima, Cucurbita moschata) v systému ekologického zemědělství* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-09-28]. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Kopta, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/0gnlbc/>
- [15] HRABOVSKÁ, Michaela. *Možnosti zpracování plodů vybraných druhů z čeledi Cucurbitaceae* [online]. Brno, 2017 [cit. 2022-09-28]. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta. Vedoucí práce Ing. Miroslav Horák, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/ezz9zc/>
- [16] Experts from The Mayo Clinic, Experts from UCLA Center for Human Nutrition, Experts from Dole Food Company. *Encyclopedia of Foods – A Guide to Healthy Nutrition - Origin & Botanical Facts (Squash)* [online]. 2002, 259-260 [cit. 2022-09-28]. ISBN 9780080530871. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00BJX5T1/encyclopedia-foods-guide/squash-origin-botanical>
- [17] HOSEN, M., RAFII, M. Y., MAZLAN, N., JUSOH, M., OLADOSU, Y., CHOWDHURY, M. F. N., MUHAMMAD, I., KHAN, M. M. H. Pumpkin (Cucurbita spp.): A Crop to Mitigate Food and Nutritional Challenges. *Horticulturae* [online]. 2021, 7(10), 352 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100352>
- [18] OMAFRA, S. et al. *Pumpkin and Squash Production – Original Factsheet* [online]. 2016, © QUEEN'S PRINTER FOR ONTARIO. [cit. 2022-09-28]. ISSN 1198712X. Dostupné z: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/00-031.htm>
- [19] KŁOPOT, Karol. *Agrotechnika dyni. Lodr.konskowola.pl* [online]. 2017 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: http://www.lodr.konskowola.pl/www_m/index.php/438-agrotechnika-dyni
- [20] OLUOCH, M. O. Production Practices of Pumpkins for Improved Productivity. *Scripta Horticulturae* [online] 2012, 15, 181–189 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Mo-Oluoch/publication/316990877_Production_Practices_of_Pumpkins_for_Improved_Productivity/links/59d65f25aca27213df9e7a00/Production-Practices-of-Pumpkins-for-Improved-Productivity.pdf
- [21] PEŠKOVÁ, Ema. *Zpracování vylisků semen tykve olejné (Cucurbita pepo L.) na mouku a bílkovinný koncentrát* [online]. České Budějovice, 2020 [cit. 2022-09-28]. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Bárta, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/1fcpw/>
- [22] HUTCHINS, A. E. a HUNT, E. M. *Home vegetable storage* [online]. University of Minnesota, College of Agriculture, 1943 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/168602/mn_2000_eb_226.pdf?sequence=1
- [23] MANSOUR, N. S. *Storing Pumpkin and Winter Squash at Home* [online]. Oregon State University, 2009 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/ec1632.pdf>

- [24] TODERIŠKOVÁ, Natália. *Kúzelná tekvica alebo čel'ad' tekvicovitých nielen v rozprávkach* [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-09-28]. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Jan Šimůnek. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/oo8at/>
- [25] ARMESTO, J., ROCCHETTI, G., SENIZZA, B., PATEIRO, M., BARBA, F. J., DOMÍNGUEZ, R., LUCINI, L., LORENZO, J. M. Nutritional Characterization of Butternut Squash (*Cucurbita moschata* D.): Effect of Variety (Ariel vs. Pluto) and Farming Type (conventional vs. organic). *Food research international* [online]. 2020. **132** (109052) [cit. 2022-09-28]. ISSN 09639969. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109052>
- [26] ZHANG, M. K., ZHANG, M. P., MAZOUREK, M., TADMOR, Y., LI, L. Regulatory Control of Carotenoid Accumulation in Winter Squash During Storage. *Planta* [online]. 2014, **240**(5), 1063–1074 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1007/s00425-014-2147-6>
- [27] KOPTA, T., HÍC, P., ŠLOSÁR, M., POKLUDA, R. Quality Changes in Organic and Conventional Hokkaido Pumpkin (*Cucurbita maxima* Duch.) During Storage. *Biological Agriculture and Horticulture* [online]. 2018, **34**(1), 1–9 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2017.1343683>
- [28] JADCZAK, D., KRUCZEK, A., WYSOCKA, G., TURCZYŃSKA, M. The Influence of Plant Cutting on the Fruit Quality *Cucurbita moschata* Duch. *Agricultural Sciences* [online]. 2019, **11**(26) [cit. 2022-09-28]. ISSN 23675772. Dostupné z: http://agrarinauki.au-plovdiv.bg/wp-content/uploads/2020/01/01_26_2019.pdf
- [29] AMIN, M. Z., ISLAM, T., UDDIN, M. R., UDDIN, M. J., RAHMAN, M. M., SATTER, M. A. Comparative Study on Nutrient Contents in the Different Parts of Indigenous and Hybrid Varieties of Pumpkin (*Cucurbita maxima* Linn.). *Heliyon* [online]. 2019, **5**(9), e02462 [cit. 2022-09-28]. ISSN 24058440. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02462>
- [30] SALEHI, B., CAPANOGLU, E., ADRAR, N. et al. Cucurbits Plants: A Key Emphasis to Its Pharmacological Potential. *Molecules* [online]. 2019, **24**(10), 1854 [cit. 2022-09-28]. ISSN 14203049. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules24101854>
- [31] KULCZYŃSKI, B., GRAMZA-MICHAŁOWSKA, A. The Profile of Secondary Metabolites and Other Bioactive Compounds in *Cucurbita pepo* L. and *Cucurbita moschata* Pumpkin Cultivars. *Molecules* [online]. 2019, **24**(16), 2945 [cit. 2022-09-28]. ISSN 14203049. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules24162945>
- [32] BATOOL, M., ROOBAB, U., MANZOOR, M. F. et al. Nutritional Value, Phytochemical Potential, and Therapeutic Benefits of Pumpkin (*Cucurbita* sp.). *Plants* [online]. 2022, **11**(11), 1394 [cit. 2022-09-28]. ISSN 22237747. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/plants11111394>
- [33] VESELÝ, Josef. Fázový diagram vody. In: *Enviroexperiment.zcu.cz* [online]. © 2012 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://enviroexperiment.zcu.cz/fyzika-stredni-skola/fazovy-diagram-vody>

- [34] CIURZYŃSKA, Agnieszka, LENART Andrzej. Freeze-Drying – Application in Food Processing and Biotechnology. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* [online]. 2011, **61**(3), 165–171 [cit. 2022-09-28]. ISSN 20836007. Dostupné z: <https://doi.org/10.2478/v10222-011-0017-5>
- [35] BHATTA, S., JANEZIC, S. T., RATTI, C. Freeze-Drying of Plant-Based Foods. *Foods* [online]. 2020, **9**(1) [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods9010087>
- [36] HORÁKOVÁ, Klára. *Lyofilizované ovoce – chemické vlastnosti a možnosti zpracování* [online]. Brno, 2016 [cit. 2022-09-28]. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z: <https://theses.cz/id/5ibhcl/>
- [37] BERK, Z. Freeze Drying (lyophilization) and Freeze Concentration (Chapter 23). *Food Process Engineering and Technology* [online]. 2018, **3**, 567–581 [cit. 2022-09-28]. ISBN 9780128120545. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011Q1JTA/food-process-engineering/freeze-drying-lyophilization>
- [38] GARCIA-AMEZQUITA, L. E., WELTI-CHANES, J., VERGARA-BALDERAS, F. T., BERMÚDEZ-AGUIRRE, D. Freeze-drying: The Basic Process. *Encyclopedia of Food and Health* [online]. 2016, 104–109 [cit. 2022-09-28]. ISBN 9780123849533. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00328-7>
- [39] Lyofilizátor L4-110 PRO – Gregor Instruments. In: *iBiotech.cz* [online]. iBioTech, © 2022 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://www.ibiotech.cz/produkt/lyofilizator-l4-110-pro>
- [40] GEIDOBLE, R. a G. WINTER. Controlled Ice Nucleation in the Field of Freeze-drying. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* [online]. 2013, **85**(2), 214–222 [cit. 2022-09-28]. ISSN 09396411. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2013.04.014>
- [41] Sušené potraviny mrazem. In: *Lyopotraviny.cz* [online]. Lyopotraviny s.r.o., © 2020. [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://www.lyopotraviny.cz/susene-potraviny-mrazem/>
- [42] MAUER, L. J., BRADLEY, R. L. Moisture and Total Solids Analysis. *Food Analysis. Food Science Text Series* [online]. © 2017 Springer International Publishing, 257–286 [cit. 2023-01-11]. ISBN 9783319457765. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_15
- [43] BERK, Zeki. The Importance of Water in Foods. *Food Process Engineering and Technology (3. vydání)* [online]. 2018, Elsevier [cit. 2023-01-11]. ISBN 9780128120187. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812018-7.00001-4>
- [44] LY, Bao, DYER, Ethan, FEIG, Jessica, CHIEN, Anna, BINO, Sandra. Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *The Journal of investigative dermatology* [online]. 2020, **140**(1), 3–12 [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>
- [45] ETZRODT, Günter. CIELAB Method. *Industrial Coloration of Plastics – Pigments, Dyestuffs, Fillers, and Nanomaterials. Basics of Color Measurement* [online]. 2021,

Hanser Publishers [cit. 2023-01-11]. ISBN 9781569908525. Dostupné z:
<https://doi.org/10.3139/9781569908532.002>

- [46] NOLLET, L. M. Quality Indicators in Poultry Products – Color. *Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality (2. vydání)* [online]. 2012, John Wiley & Sons [cit. 2023-01-13]. ISBN 9780470958322. Dostupné z:
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011BQTV3/handbook-meat-poultry/quality-in-color>
- [47] VOJTÍŠKOVÁ, Petra. *Stanovení beta-karotenu v rajčatech metodou HPLC* [online]. Zlín, 2008 [cit. 2023-01-15]. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Dostupné z: <https://theses.cz/id/19etij/>
- [48] SMITH, Jim, HONG-SHUM, Lily. Beta-carotene. *Food Additives Data Book (2. vydání)* [online]. 2021, John Wiley & Sons [cit. 2023-01-15]. ISBN 9781523109807. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011ASO01/food-additives-data-book/part-ix-nu-beta-carotene>
- [49] PEREIRA, A. M., KRUMREICH, F. D., RAMOS, A. H., KROLOW, A. C. R., SANTOS, R. B., GULARTE, M. A. Physicochemical Characterization, Carotenoid Content and Protein Digestibility of Pumpkin Access Flours for Food Application. *Food Science and Technology* [online]. 2020, **40**(2), 691–698 [cit. 2023-03-20]. ISSN 1678457X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/fst.38819>
- [50] MURIQI, S. *Freeze-drying process in food industry* [online]. 2021, Univerzita Pardubice [cit. 2023-03-27].
- [51] SINGH, R., SAMBYAL, K. An Overview of β -carotene Production: Current Status and Future Prospects. *Food Bioscience* [online]. 2022, **47**, 101717 [cit. 2023-01-16]. ISSN 22124292. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101717>
- [52] DAMODARAN, Srinivasan, PARKIN, Kirk L. Moisture Sorption Isotherms. *Fennema's Food Chemistry (5. vydání)* [online]. 2017, CRC Press [cit. 2023-01-16]. ISBN 9781523117857. Dostupné z:
<https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011MEPC3/fennemas-food-chemistry/moisture-sorption-isotherms>
- [53] MATHLOUTHI, Mohamed. Water Content, Water Activity, Water Structure and the Stability of Foodstuffs. *Food Control* [online]. 2001, **12**(7), 409–417 [cit. 2023-01-16]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(01\)00032-9](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(01)00032-9)
- [54] BHOURI, N., HOUNGAN, A., BENNASRALLAH S. a PERRE P. Comparison Between Sorption Isotherms of Non-ironed and Steam-ironed Plain Weave Fabrics. *Applied Thermal Engineering* [online]. 2017, **126**, 429–435 [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.179>
- [55] VESELÁ, Kateřina. *Antioxidační kapacita a sorpční vlastnosti rostlinných doplňků stravy* [online]. Pardubice, 2021 [cit. 2023-03-24]. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/e9iwa9/>

- [56] KHALFAOUI, M., KNANI, S., HACHICHA, M. A., LAMINE, A. B. New Theoretical Expressions for the Five Adsorption Type Isotherms Classified by BET Based on Statistical Physics Treatment. *Journal of Colloid and Interface Science* [online]. 2003, **263**(2), 350–356 [cit. 2023-03-24]. ISSN 00219797. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0021-9797\(03\)00139-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9797(03)00139-5)
- [57] CAURIE, M. Derivation of Full Range Moisture Sorption Isotherms. *Water Activity: Influences on Food Quality* [online]. 1981, Academic Press, 63–87 [cit. 2023-01-18]. ISBN 9780125913508. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-591350-8.50008-5>
- [58] ČERVENKA, Libor, HLOUŠKOVÁ, Lucie, ŽABČÍKOVÁ, Simona. Moisture Adsorption Isotherms and Thermodynamic Properties of Green and Roasted Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*). *Food Bioscience* [online]. 2015, **12**, 122–127 [cit. 2023-03-15]. ISSN 22124292. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.10.001>
- [59] IZLI, G., YILDIZ, G., BERK, S. E. Quality Retention in Pumpkin Powder Dried by Combined Microwave-convective Drying. *Journal of Food Science and Technology* [online]. 2022, **59**, 1558–1569 [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05167-5>
- [60] INTERNATIONAL FOOD INFORMATION SERVICE. Bulk Density. *Dictionary of Food Science and Technology (2. vydání)* [online]. 2009, International Food Information Service [cit. 2023-03-15]. ISBN 9781615831203. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt006QAEZ4/dictionary-food-science/bacterial-counts>
- [61] MICHALSKA, Anna, WOJDYLO, Aneta, LECH, Krzysztof, ŁYSIAK, Grzegorz P., FIGIEL, Adam. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food Chemistry* [online]. 2016, **207**, 223–232 [cit. 2023-03-16]. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.075>
- [62] KOZŁOWSKI, R. M., MACKIEWICZ-TALARCZYK, M. Bulk and Tapped Density. *Handbook of Natural Fibres – Processing and Applications (2. vydání)* [online]. 2020, Elsevier, 547 [cit. 2023-03-18]. ISBN 9780128190708. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt012M5XS3/handbook-natural-fibres/bulk-tapped-density>
- [63] AMIDON, G. E., MEYER, P. J., MUDIE, D. M. Chapter 10 – Particle, Powder, and Compact Characterization. *Developing Solid Oral Dosage Forms (2. vydání)* [online]. 2017, Academic Press, 271–293 [cit. 2023-03-18]. ISBN 9780128024478. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802447-8.00010-8>
- [64] SEVILLE, Jonathan, WU, Chuan-Yu. Hausner Ratio and Carr Index. *Particle Technology and Engineering – An Engineer's Guide to Particles and Powders – Fundamentals and Computational Approaches* [online]. 2016, Elsevier, 25–26 [cit. 2023-03-18]. ISBN 9780080983448. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt010Y94U2/particle-technology-engineering/hausner-ratio-carr-index>

- [65] DIRIM, S. N., ÇALISKAN K. G. Determination of the Effect of Freeze Drying Process on the Production of Pumpkin (*Cucurbita moschata*) Puree Powder and the Powder Properties. *GIDA – The Journal of FOOD* [online]. 2012, **37** [cit. 2023-04-06].
Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/268034201_Determination_of_the_effect_of_freeze_drying_process_on_the_production_of_pumpkin_Cucurbita_moschata_puree_powder_and_the_powder_properties
- [66] INTERNATIONAL FOOD INFORMATION SERVICE. Water Holding Capacity. *Dictionary of Food Science and Technology (2. vydání)* [online]. 2009, International Food Information Service [cit. 2023-03-19]. ISBN 9781615831203. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt006QGDK2/dictionary-food-science/water-supplies>
- [67] HAZELTON, Pam, MURPHY, Brian. Typical Values of Water-Holding Capacity. *Interpreting Soil Test Results – What Do All the Numbers Mean? (3. vydání)* [online]. 2016, CSIRO Publishing, 16–19 [cit. 2023-03-19]. ISBN 9781523109418. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011A2ZB8/interpreting-soil-test/typical-values-water>
- [68] AWUCHI, CH. G., IGWE, V. S., ECHETA, CH. K. The Functional Properties of Foods and Flours. *International Journal of Advanced Academic Research* [online]. 2019, **5**(11) [cit. 2023-03-20]. ISSN 24889849. Dostupné z: <https://www.ijaar.org/articles/Volume5-Number11/Sciences-Technology-Engineering/ijaar-ste-v5n11-nov19-p16.pdf>
- [69] YOUSF Nargis, NAZIR Fiza, SALIM Rehana, AHSAN Hafiza, SIRWAL, Adnan. Water Solubility Index and Water Absorption Index of Extruded Product from Rice and Carrot Blend. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* [online]. 2017, **6**(6), 2165–2168 [cit. 2023-03-20]. ISSN 22784136. Dostupné z: <https://www.phytojournal.com/archives/2017/vol6issue6/PartAD/6-6-326-909.pdf>
- [70] OIKONOMOU, N.A., KROKIDA, M. K. Water Absorption Index and Water Solubility Index Prediction for Extruded Food Products. *International Journal of Food Properties* [online]. 2012, **15**(1), 157–168 [cit. 2023-03-20]. ISSN 10942912. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10942911003754718>
- [71] BETA, Trust, CAMIRE, Mary Ellen. Types and Distribution of Phenolic Compounds in Grains. *Cereal Grain-Based Functional Foods – Carbohydrate and Phytochemical Components* [online]. 2019, Royal Society of Chemistry (RSC) [cit. 2023-03-20]. ISBN 9781523122981. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpCGBFFCP3/cereal-grain-based-functional/cereal-grain-based-functional>
- [72] IULIANELLI, Adolfo, CASSANO, Alfredo, CONIDI, Carmela, PETROTOS, Konstantinos. Phenolic Compounds. *Membrane Engineering in the Circular Economy – Renewable Sources Valorization in Energy and Downstream Processing in Agro-Food Industry* [online]. 2022, Elsevier [cit. 2023-03-21]. ISBN 9780323885522. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt01306SL3/membrane-engineering/phenolic-compounds>

- [73] LAXOVÁ, Lenka. *Biologicky aktivní fenolické látky v drobném ovoci* [online]. České Budějovice, 2017 [cit. 2023-03-21]. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Dostupné z: <https://theses.cz/id/s6vyvv/>
- [74] INTERNATIONAL FOOD INFORMATION SERVICE. Phenols. *Dictionary of Food Science and Technology* (2. vydání) [online]. 2009, International Food Information Service [cit. 2023-03-21]. ISBN 9781615831203. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt006QEBJ4/dictionary-food-science/paddy>
- [75] QUE, Fei, MAO, Linchun, FANG, Xuehua, WU, Tao. Comparison of Hot Air-drying and Freeze-drying on the Physicochemical Properties and Antioxidant Activities of Pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) Glours. *International Journal of Food Science & Technology* [online]. 2008, **43**(7), 1195–1201 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01590.x>
[st.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2621.2007.01590.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01590.x)
- [76] MIKOŁAJCZAK, Natalia, TAŃSKA, Małgorzata, OGRODOWSKA, Dorota. Phenolic Compounds in Plant Oils: A Review of Composition, Analytical Methods, and Effect on Oxidative Stability. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2021, **113**, 110–138 [cit. 2023-03-21]. ISSN 0924-2244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.046>
- [77] ZEMAN, Vojtěch. *Vliv relativní vzdušné vlhkosti na sorpční vlastnosti vzorků Matcha čaje* [online]. Pardubice, 2022 [cit. 2023-03-21]. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/4p5fen/>
- [78] INTERNATIONAL FOOD INFORMATION SERVICE. Antioxidants. *Dictionary of Food Science and Technology* (2. vydání) [online]. 2009, International Food Information Service [cit. 2023-03-21]. ISBN 9781615831203. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt006Q9XD5/dictionary-food-science/acidophilin>
- [79] POKORNY, J., YANISHLIEVA, N., GORDON, M. Introduction. *Antioxidants in Food – Practical Applications* [online]. 2001, Woodhead Publishing [cit. 2023-03-21]. ISBN 9781855736160. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpAFPA0001/antioxidants-in-food/antioxidants-in-food>
- [80] CHEN, Xing, LIANG, Li, HAN, Cong. Borate Suppresses the Scavenging Activity of Gallic acid and Plant Polyphenol Extracts on DPPH Radical: A Potential Interference to DPPH Assay. *LWT – Food Science and Technology* [online]. 2020, **131** [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109769>
- [81] SHAHIDI, Fereidoon, ZHONG, Ying. Measurement of Antioxidant Activity. *Journal of Functional Foods* [online]. 2015, **18**(B), 757–781 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>
- [82] ŠTĚPÁNKOVÁ Michaela, ČERVENKA, Libor. Vliv podmínek lyofilizace na barvu a obsah β-karotenu v dýňovém prášku. In: *Sborník příspěvků: studentská vědecká*

odborná činnost 2021/2022. Pardubice, Univerzita Pardubice, 2022, 203–208 [cit. 2023-04-12]. ISBN 978-80-7560-434-7

- [83] BISWAS, A. K., SAHOO, J., CHATLI, M. K. A Simple UV-Vis Spectrophotometric Method for Determination of β -carotene Content in Raw Carrot, Sweet Potato and Supplemented Chicken Meat Nuggets. *LWT – Food Science and Technology* [online]. 2011, **44**(8), 1809–1813 [cit. 2023-03-22]. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.017>
- [84] JELÍNKOVÁ, K. *Vliv přísadků karobového prášku na antioxidační vlastnosti muffinů* [online]. Pardubice, 2018 [cit. 2023-03-22]. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/ctn518/>
- [85] JAREŠOVÁ, Lada. *Náhrada pestré stravy a antioxidační vlastnosti* [online]. Pardubice, 2018 [cit. 2023-03-23]. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/4cmmfl/>
- [86] MUJAFFAR, Saheeda, GILCHRIST, Deborah, WENDY-ANN, Isaac, MAJEED, Mohammed. Preliminary Investigations into the Production of Freeze-dried Pumpkin Powders. *Conference Paper* (Conference: 51st CFCS Annual Meeting in Suriname: “Food Safety, Innovation and Quality in Green Agriculture; The Way Forward to Food Security for the Caribbean“) [online]. 2015 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/305469514_Preliminary_investigations_into_the_production_of_freeze-dried_pumpkin_powers
- [87] LIM, J., TAIP, F. AB AZIZ, N., IBRAHIM, M.N., HOW, M.S. Effects of Drying Methods on the Physicochemical Properties of Powder Made from Different Parts of Pumpkin. *Food Research* [online]. 2021, **5**(1), 160–167 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(S1\).058](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(S1).058)
- [88] AYDIN, Emine, GOCMEN, Duygu. The Influences of Drying Method and Metabisulfite Pre-treatment on the Color, Functional properties and Phenolic Acids Contents and Bioaccessibility of Pumpkin Flour. *LWT – Food Science and Technology* [online]. 2015, **60**(1), 385–392 [cit. 2023-04-07]. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.025>
- [89] ŠTUMROVÁ, Eliška. *Inhibice Maillardových reakcí* [online]. Pardubice, 2019 [cit. 2023-04-09]. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/gpt349/>
- [90] NAWIRSKA, Agnieszka, FIGIEL, Adam, KUCHARSKA, Alicja Z., SOKÓŁ-ŁETOWSKA, Anna, BIESIADA, Anita. Drying Kinetics and Quality Parameters of Pumpkin Slices Dehydrated Using Different Methods. *Journal of Food Engineering* [online]. 2009, **94**(1), 14–20 [cit. 2023-04-09]. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.02.025>
- [91] INDRIANINGSIH, A. W., ROSYIDA, V. T., APRIYANA, W., HAYATI, S. N., NISA, K., DARSIH, C., KUSUMANINGRUM, A., RATIH, D., INDIRAYATI, N. Comparisons of Antioxidant Activities of Two Varieties of Pumpkin (*Cucurbita*

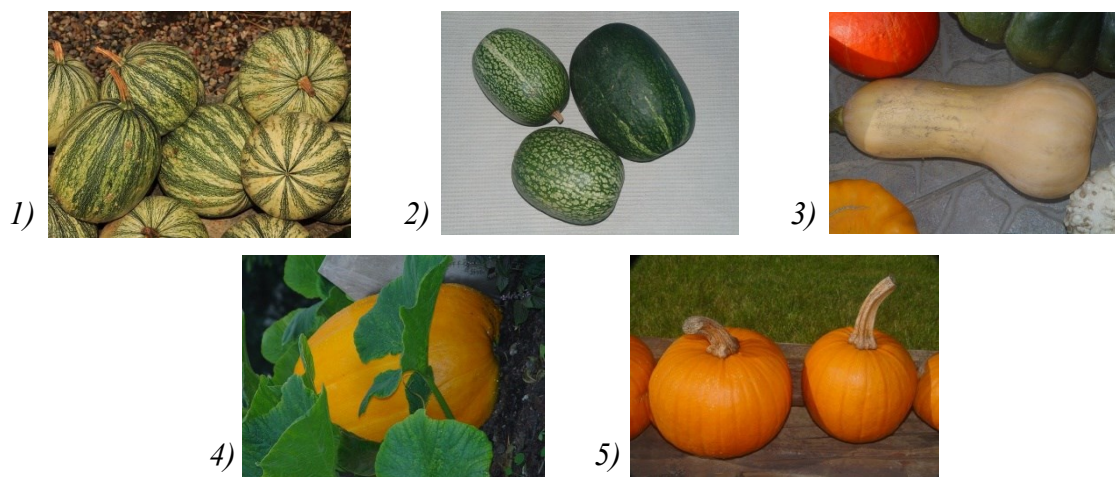
- moschata and Cucurbita maxima) Extracts. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. IOP Publishing, 2019, **251**(1), 012021 [cit. 2023-04-07]. ISSN 17551315. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012021>
- [92] KLAVA, Dace, KAMPUSE, S., TOMSONE, Lolita, KINCE, Tatjana, OZOLA, Liene. Effect of Drying Technologies on Bioactive Compounds Maintenance in Pumpkin By-products. *Agronomy Research* [online]. 2018, **16**(4), 1728–1741 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: https://agronomy.emu.ee/wp-content/uploads/2018/05/Vol16No4_17.pdf
- [93] SONG, Jiangfeng, WANG, Xiaoping, LI, Dajing, MENG, Lili, LIU, Chunquan. Degradation of Carotenoids in Pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) Slices as Influenced by Microwave Vacuum Drying. *International Journal of Food Properties* [online]. 2017, **20**(7), 1479–1487 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1212875>
- [94] DURANTE, Miriana, LENUCCI, Marcello S., D'AMICO, Leone, PIRO, Gabriella, MITA, Giovanni. Effect of Drying and Co-matrix Addition on the Yield and Quality of Supercritical CO₂ Extracted Pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) Oil. *Food Chemistry* [online]. 2014, **148**, 314–320 [cit. 2023-04-10]. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.051>
- [95] SHI, John, YI, Chun, YE, Xingqian, XUE, Sophia, JIANG, Yueming, MA, Ying, LIU, Donghong. Effects of Supercritical CO₂ Fluid Parameters on Chemical Composition and Yield of Carotenoids Extracted from Pumpkin. *LWT – Food Science and Technology* [online]. 2010, **43**(1), 39–44 [cit. 2023-04-10]. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.07.003>
- [96] SHI, Xianquan, WU, Hao, SHI, John, XUE, Sophia Jun, WANG, Dongfeng, WANG, Wenliang, CHENG, Anwei, GONG, Zhiqing, CHEN, Xiangyan, WANG, Chengrong. Effect of Modifier on the Composition and Antioxidant Activity of Carotenoid Extracts from Pumpkin (*Cucurbita maxima*) by Supercritical CO₂. *LWT – Food Science and Technology* [online]. 2013, **51**(2), 433–440 [cit. 2023-04-10]. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.003>
- [97] AL-GHAMDI, Saleh, HONG, Yoon-Ki, SHYAM, Zhi Qu, SABLANI, S. State Diagram, Water Sorption Isotherms and Color Stability of Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Food Engineering* [online]. 2020, **273**, 109820 [cit. 2023-03-25]. ISSN 02608774. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109820>
- [98] STEPIEN, A., WITCZAK, M., WITCZAK, T. The Thermal Characteristics, Sorption Isotherms and State Diagrams of the Freeze-Dried Pumpkin-Inulin Powders. *Molecules* [online]. 2022, **27**(7), 2225 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules27072225>
- [99] DEGADA, H. Fikrte. *Drying and Utilization of Pumpkin (Cucurbita Pepo and Cucurbita Maxima) Flesh Flour for Cookies Production* [online]. Etiopie, 2022 [cit. 2023-04-07]. M.Sc. Thesis. Haramaya University. Dostupné z: <http://ir.haramaya.edu.et/hru/bitstream/handle/123456789/5087/Fikrte%20h.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [100] DEHNAD, Danial, JAFARI, Seid Mahdi, AFRASIABI, Maryam. Influence of Drying on Functional Properties of Food Biopolymers: From Traditional to Novel Dehydration Techniques. *Trends in Food Science & Technology* [online]. 2016, **57**(A), 116–131 [cit. 2023-04-07]. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.002>
- [101] JOY, E. E., CHIDINMA, V. U., AKUSU, M. O. Physicochemical and Functional Properties of Pumpkin (*Cucurbita Pepo*) Pulp Flour and Acceptability of its Inclusion in Cake. *Asian Food Science Journal* [online]. 2021, **20**(7), 57–71 [cit. 2023-04-07]. ISSN: 25817752. Dostupné z: [10.9734/AFSJ/2021/v20i730321](https://doi.org/10.9734/AFSJ/2021/v20i730321)
- [102] YAO, Lihu, JIANG, Yueming, DATTA, Nivedita, SINGANUSONG, Riantong, LIU, Xu, DUAN, Jun, RAYMONT, Katherine, LISLE, Alan, XU, Ying. HPLC Analyses of Flavanols and Phenolic Acids in the Fresh Young Shoots of Tea (*Camellia sinensis*) Grown in Australia. *Food Chemistry* [online]. 2004, **84**(2), 253–263 [cit. 2023-04-07]. ISSN 03088146. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00209-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00209-7)
- [103] SOONG, Yean-Yean, BARLOW, Philip J. Antioxidant Activity and Phenolic Content of Selected Fruit Seeds. *Food Chemistry* [online]. 2004, **88**(3), 411–417 [cit. 2023-04-07]. ISSN 0308.8146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.003>
- [104] WOJDYŁO, Aneta, FIGIEL, Adam, LECH, Krzysztof, NOWICKA, Paulina, OSZMIANŃSKI, Jan. Effect of Convective and Vacuum-Microwave Drying on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Capacity of Sour Cherries. *Food and Bioprocess Technology* [online]. 2014, **7**(3), 829–841 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1130-8>
- [105] VOBOŘIL Petr. CUCURBITA ARGYROSPERMA C. Huber – tykev / tekvica. In: *BOTANY.cz* [online]. 2018, BOTANY.cz, © 2022 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/cucurbita-argyrosperma/>
- [106] VOBOŘIL Petr. CUCURBITA FICIFOLIA Bouché – tykev fikolistá. In: *BOTANY.cz* [online]. 2014, BOTANY.cz, © 2022 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/cucurbita-ficifolia/>
- [107] VOBOŘIL Petr. CUCURBITA MOSCHATA Duchesne – tykev pižmová. In: *BOTANY.cz* [online]. 2014, BOTANY.cz, © 2022 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/cucurbita-moschata/>
- [108] VOBOŘIL Petr. CUCURBITA MAXIMA Duchesne – tykev obrovská. In: *BOTANY.cz* [online]. 2014, BOTANY.cz, © 2022 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/cucurbita-maxima/>
- [109] VOBOŘIL Petr. CUCURBITA PEPO L. – tykev obecná / tekvica obyčejná. In: *BOTANY.cz* [online]. 2014, BOTANY.cz, © 2022 [cit. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/cucurbita-pepo/>

9 PŘÍLOHY

Příloha 1 – Obrázky jednotlivých druhů dýní: 1) tykev stříbrná [105], 2) tykev fikolistá [106], 3) tykev muškátová [107], 4) tykev velkoplodá [108], 5) tykev obecná [109]	74
Příloha 2 – Plátky zmrazené dýně rozprostřené na polici lyofilizátoru (foto autor)	74
Příloha 3 – Kalibrační křivka β -karotenu pro stanovení jeho obsahu	75
Příloha 4 – Kalibrační křivka kyseliny gallové pro stanovení celkového obsahu fenolických látek.....	75
Příloha 5 – Kalibrační křivka Troloxu pro stanovení antioxidační aktivity s využitím DPPH radikálu	76
Příloha 6 – Vzorky dýňového prášku po různě provedených lyofilizacích (foto autor)	76
Příloha 7 – Závislost $\ln(1/M)$ na $\ln((1-a_w)/a_w)$ pro výpočet parametrů modelu Caurie při adsorpci vzorků dýňového prášku lyofilizovaného s pomalým snižováním tlaku („P“)	77
Příloha 8 – Závislost $\ln(1/M)$ na $\ln((1-a_w)/a_w)$ pro výpočet parametrů modelu Caurie při desorpci vzorků dýňového prášku lyofilizovaného s pomalým snižováním tlaku („P“)	77
Příloha 9 – Závislost $\ln(1/M)$ na $\ln((1-a_w)/a_w)$ pro výpočet parametrů modelu Caurie při adsorpci vzorků dýňového prášku lyofilizovaného s rychlým snížením tlaku („R“).....	78
Příloha 10 – Závislost $\ln(1/M)$ na $\ln((1-a_w)/a_w)$ pro výpočet parametrů modelu Caurie při desorpci vzorků dýňového prášku lyofilizovaného s rychlým snížením tlaku („R“).....	78
Příloha 11 – Vzorky lyofilizovaných dýňových prášků na terčících v držáku naprašovacího přístroje (před pozlacením) (foto autor).....	79
Příloha 12 – Sutinový graf určující významné komponenty (sestrojeno v programu Statistica 14)	79

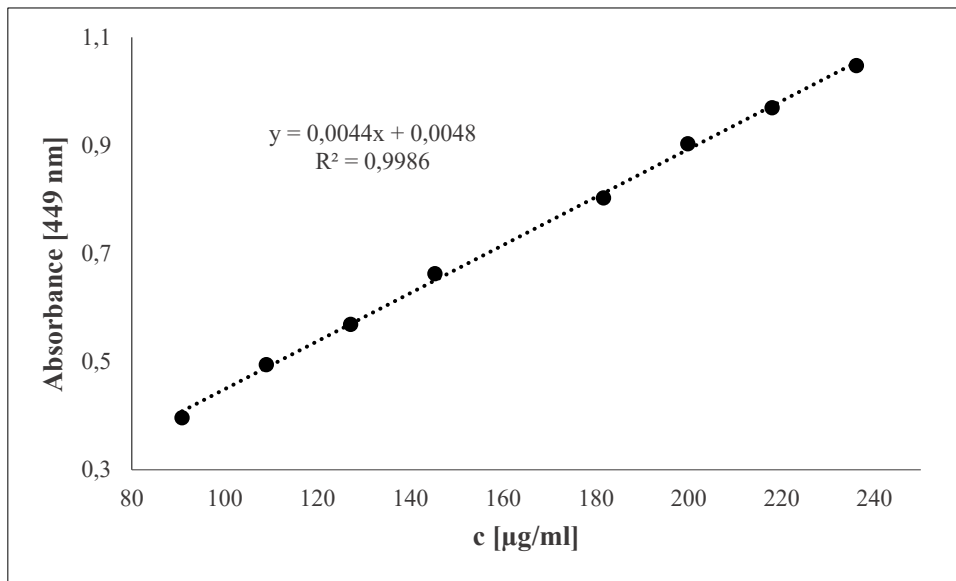
Příloha 1 – Obrázky jednotlivých druhů dýní: 1) tykev stříbrná [105], 2) tykev fíkolistá [106], 3) tykev muškátová [107], 4) tykev velkoplodá [108], 5) tykev obecná [109]



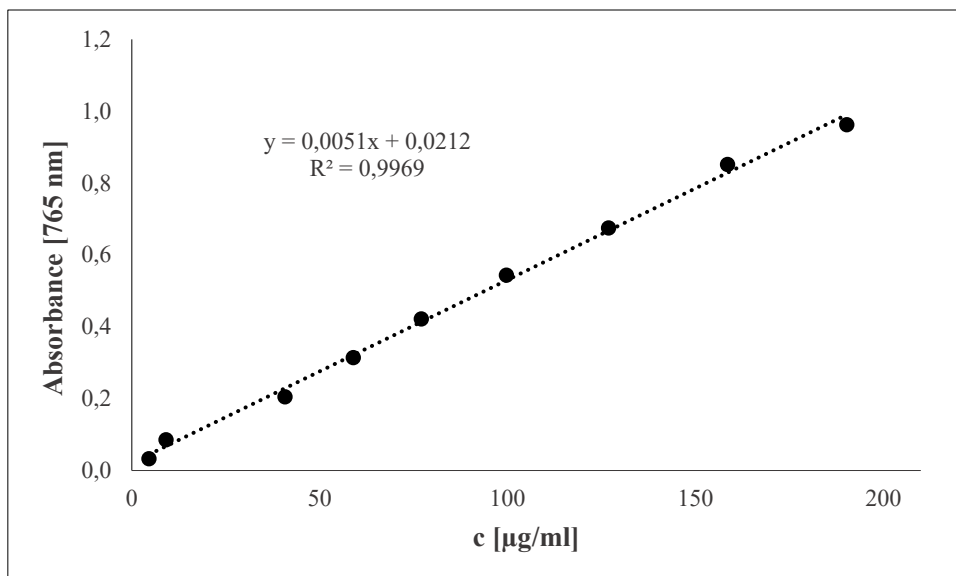
Příloha 2 – Plátky zmrazené dýně rozprostřené na polici lyofilizátoru (foto autor)



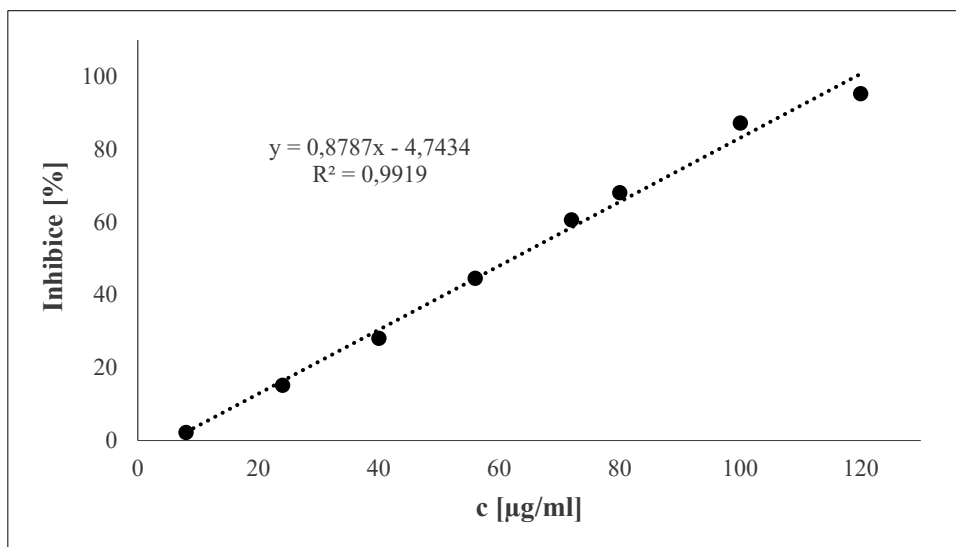
Příloha 3 – Kalibrační křivka β -karotenu pro stanovení jeho obsahu



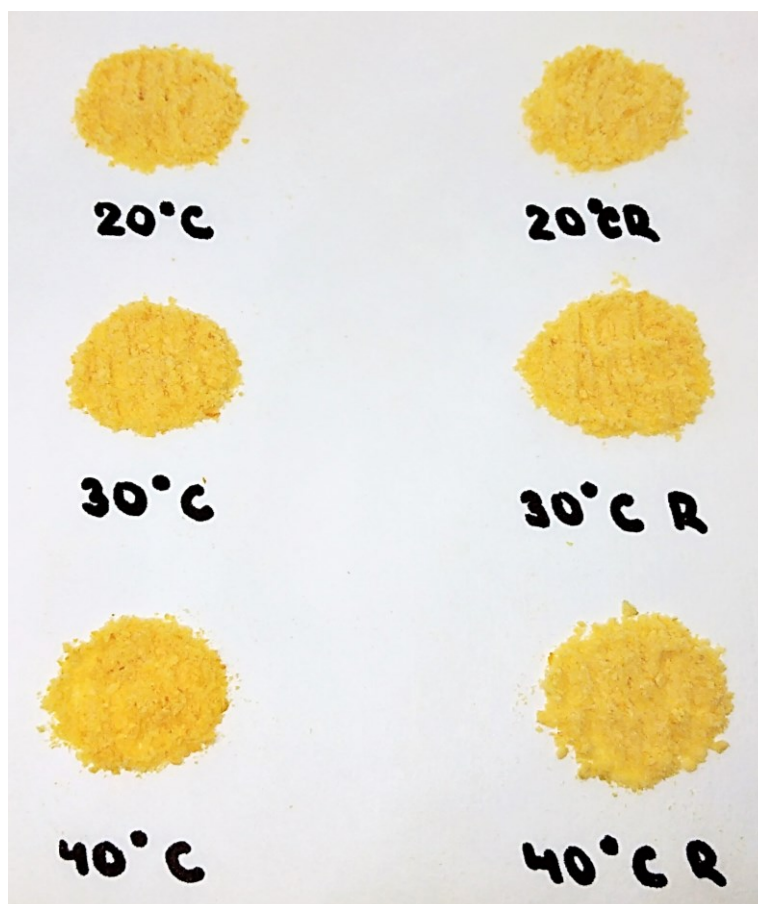
Příloha 4 – Kalibrační křivka kyseliny gallové pro stanovení celkového obsahu fenolických látek



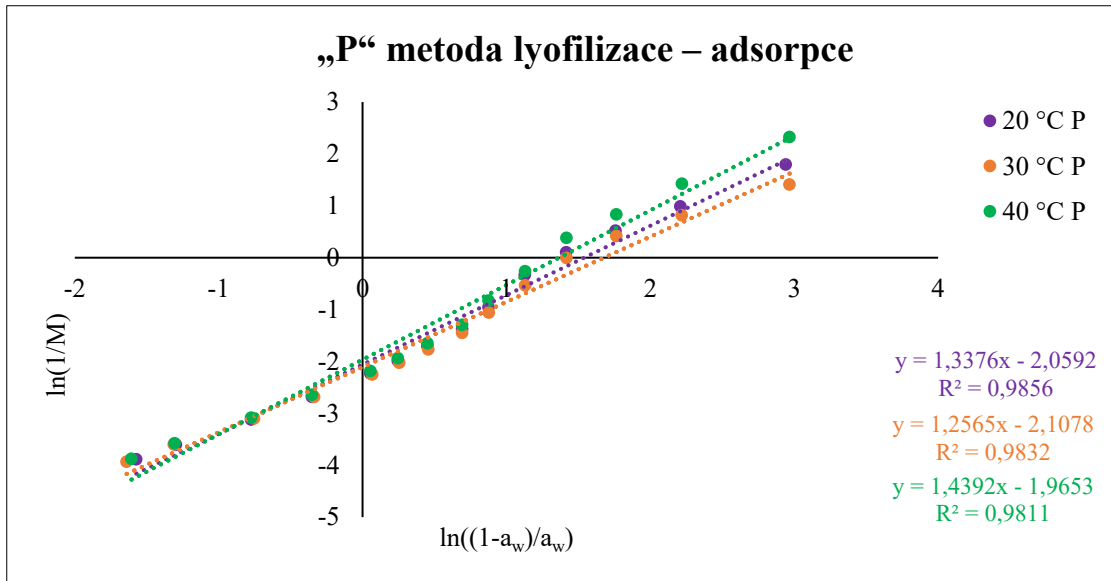
Příloha 5 – Kalibrační křivka Troloxu pro stanovení antioxidační aktivity s využitím DPPH radikálu



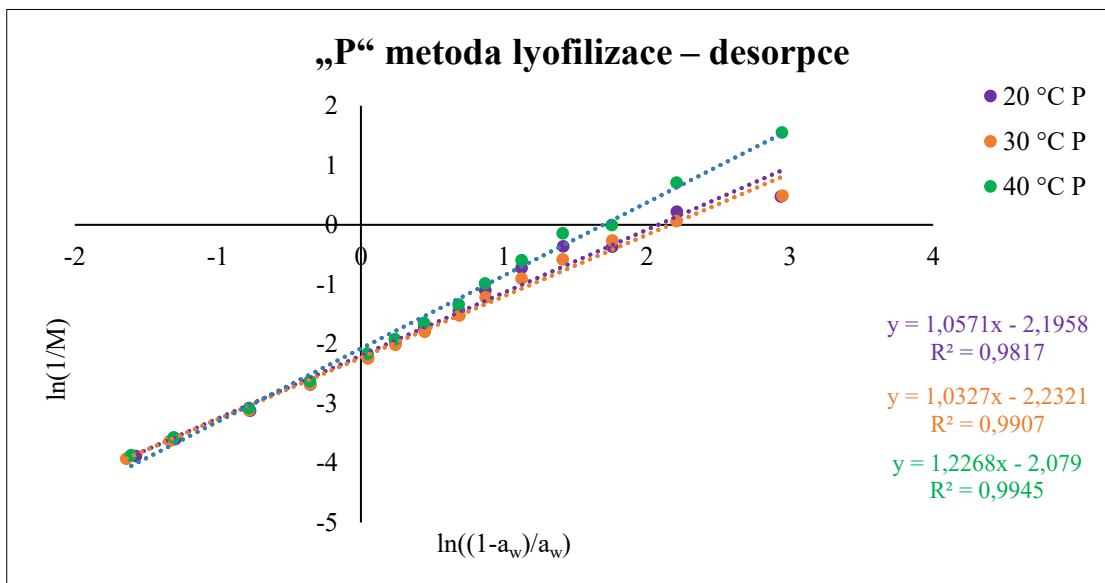
Příloha 6 – Vzorčky dýňového prášku po různě provedených lyofilizacích (foto autor)



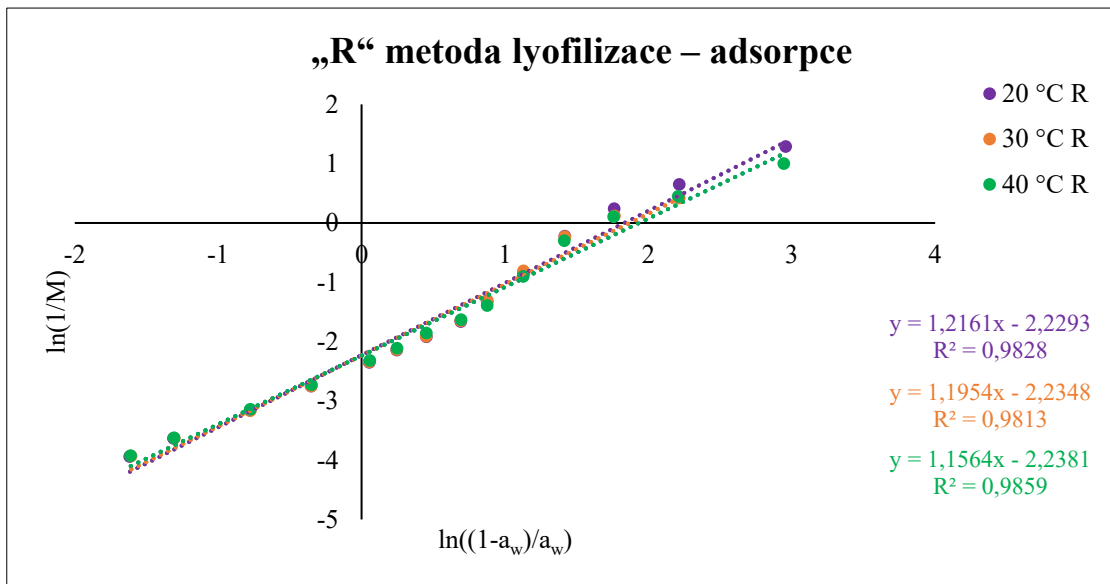
Příloha 7 – Závislost $\ln(1/M)$ na $\ln((1-a_w)/a_w)$ pro výpočet parametrů modelu Caurie při adsorpci vzorků dýňového prášku lyofilizovaného s pomalým snižováním tlaku („P“)



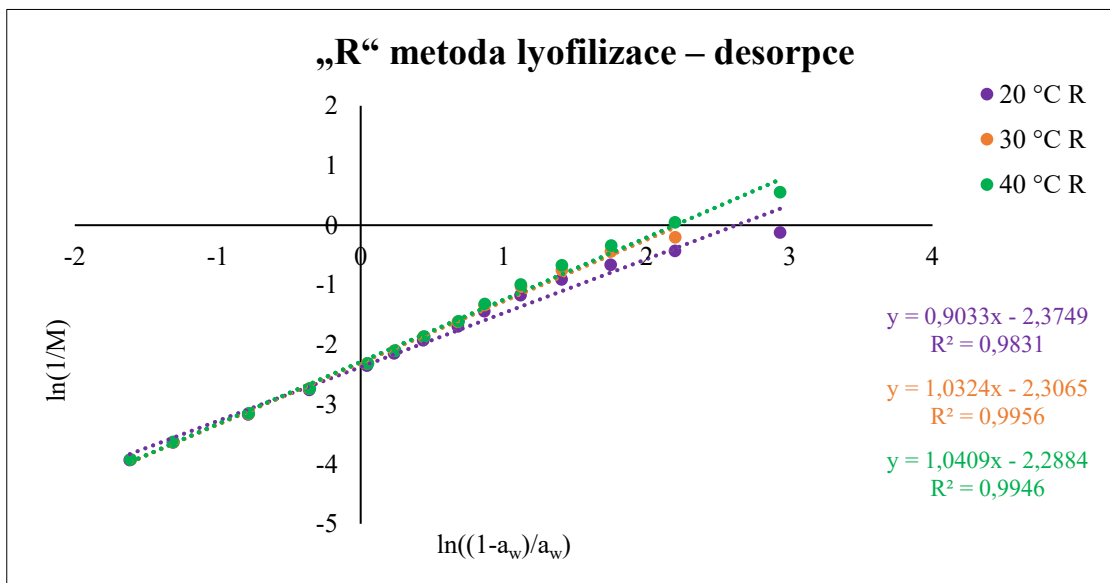
Příloha 8 – Závislost $\ln(1/M)$ na $\ln((1-a_w)/a_w)$ pro výpočet parametrů modelu Caurie při desorpci vzorků dýňového prášku lyofilizovaného s pomalým snižováním tlaku („P“)



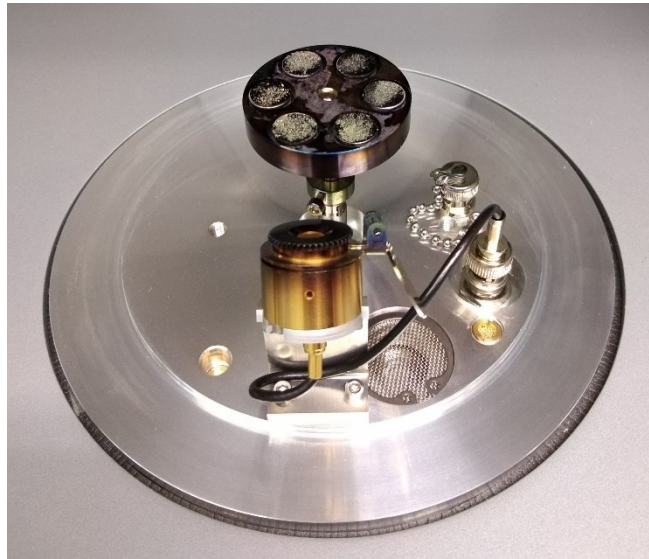
Příloha 9 – Závislost $\ln(1/M)$ na $\ln((1-a_w)/a_w)$ pro výpočet parametrů modelu Caurie při adsorpci vzorků dýňového prášku lyofilizovaného s rychlým snížením tlaku („R“)



Příloha 10 – Závislost $\ln(1/M)$ na $\ln((1-a_w)/a_w)$ pro výpočet parametrů modelu Caurie při desorpci vzorků dýňového prášku lyofilizovaného s rychlým snížením tlaku („R“)



Příloha 11 – Vzorčky lyofilizovaných dýňových prášků na terčících v držáku naprašovacího přístroje (před pozlacením) (foto autor)



Příloha 12 – Sutinový graf určující významné komponenty (sestrojeno v programu Statistica 14)

