

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



**Vliv ošetření mikrovlnným zářením na kvalitu ořechů,
máku a sušeného ovoce**

Bakalářská práce

**Autor práce: Petra Škvorová
Obor studia: Kvalita produkce**

Vedoucí práce: doc. Ing. Lenka Kouřimská, Ph.D.

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv ošetření mikrovlnným zářením na kvalitu ořechů, máku a sušeného ovoce" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17. 4. 2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala paní doc. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce a pomoc při jejím zpracování. Děkuji také Ing. Monice Sabolové, Ph.D. za cenné rady, připomínky a za její ochotu. Zároveň děkuji své rodině za psychickou podporu během celého studia.

Vliv ošetření mikrovlnným zářením na kvalitu ořechů, máku a sušeného ovoce

Souhrn

Ovoce, ořechy a mák jsou častou součástí našich jídelníčků. Z nutričního hlediska obsahují velké množství zdravých prospěšných látek. Ovšem problémem při jejich skladování je údržnost. Pro její prodloužení se využívá různých konzervačních technik. Jednou z možností je použití mikrovlnného záření. Využití mikrovlnného ohřevu v potravinářském průmyslu zahrnuje sušení, pasteraci, sterilaci, rozmrazování, temperování nebo pečení potravinářských materiálů. Hlavní výhodou mikrovlnné úpravy je větší úspora energie, zkrácení doby zpracování a snížení provozních nákladů. Hlavní nevýhodou je nerovnoměrné rozložení teploty. Pro překonání nedostatků se mikrovlnné ošetření často kombinuje s jinými způsoby úpravy potravin.

Obsahem práce bylo na základě literární rešerše posoudit efekt mikrovlnného záření na sušené ovoce, ořechy a mák z hlediska různých kvalitativních ukazatelů. Při samotném ošetření hraje velkou roli fyzikálně chemické složení potravin. Jako při každé metodě konzervace i při použití mikrovlnného záření dochází ke změnám ve složení, sensorických vlastnostech i bezpečnosti dané potraviny.

V této práci jsou porovnány studie prováděné na různých druzích ovoce a ořechů. Ve většině případů se jedná o využití mikrovln při sušení nebo pražení, často porovnané s jiným druhem ošetření či se přímo jedná o kombinované ošetření. U ovoce byla největší pozornost věnována hlavně vlivu ošetření na barvu a strukturu potraviny. Také byla sledována aktivita vody, rehydratační kapacita, stejně tak obsah vitamínů, antioxidantů a pektinu. U ořechů pak byla hlavní pozornost věnována stabilitě vůči žluknutí, změnám peroxidového čísla, obsahu mastných kyselin a těkavých látek. Taktéž byl hodnocen vliv ošetření na obsah pektinu, aktivitu vody, barvu, texturu, antioxidační aktivitu a na aroma a chuť. O vlivu mikrovln na mák zatím není mnoho informací, ale díky podobnému složení, jako mají ořechy, se dají předpokládat velmi podobné výsledky.

Ze závěrů práce vyplývá, že rozsah změn v potravinovém materiálu závisí na délce a také na intenzitě mikrovlnného ošetření, čímž byla potvrzena počáteční hypotéza.

Klíčová slova: mikrovlnné ošetření, ořechy, mák, sušené ovoce, složení, žluknutí

Effect of microwave radiation treatment on the quality of nuts, poppy and dried fruit

Summary

Fruit, nuts and poppy seeds are a frequent part of our diets. From a nutritional point of view, they contain a great amount of health enhancing substances. However, shelf-life is a big problem during their storage. Preservative treatments are used in order to extend the shelf-life. One of the options is using microwave radiation. The use of microwave radiation in food industry includes drying, pasteurisation, sterilisation, thawing, tempering and baking. The main advantages of microwave radiation are: increased energy savings, shorter processing time and lower operational costs. The main disadvantage is an uneven distribution of temperature. In order to overcome the disadvantages microwave radiation is often combined with other ways of food treatment.

The aim of the thesis was to assess the effect of microwave radiation on dried fruit, nuts and poppy seeds in terms of various qualitative indicators. The physico-chemical properties of food itself play major role during the treatment. As with any preservation, using microwave radiation also means changes in the composition, sensory properties and the safety of the food concerned.

The thesis compares literature review of research performed on various kinds of fruits and nuts. These mostly involved using microwaves for drying or roasting, often in comparison with another way of treatment or directly combined treatment(s). Regarding fruit, the greatest attention was paid mainly to the influence of the treatment on its colour and structure. Water activity, rehydration capacity, and vitamin, antioxidants and pectin contents were also monitored. Regarding nuts, the greatest attention was given to their stability against rancidity, changes in the peroxide value, content of fatty acids and volatile substances. Also, influence of the treatment on pectin content, water activity, colour, texture, antioxidant activity, flavour and taste has been evaluated. Regarding the influence of microwaves on poppy seeds, there has not been much information but due to similar composition to nuts, very similar results can be assumed.

The conclusions indicate that the range of changes in foods depends on both the length and the intensity of microwave radiation treatment, which confirms the initial hypothesis.

Keywords: microwave radiation, nuts, poppy, dried fruit, composition, rancidity

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce a hypotéza.....	2
2.1 Cíl práce	2
2.2 Hypotéza	2
3 Literární rešerše.....	3
3.1 Mikrovlnné záření	3
3.1.1 Mikrovlnný ohřivací mechanismus	3
3.1.2 Dielektrické vlastnosti	4
3.1.3 Způsoby využití mikrovln při úpravě potravin.....	5
3.1.3.1 Sušení mikrovlnami.....	6
3.1.3.2 Vaření a pečení s využitím mikrovln.....	7
3.1.3.3 Mikrovlnná pasterace a sterilace	7
3.1.3.4 Kombinace mikrovlnného záření s jinými způsoby úpravy potravin..	8
3.1.4 Výhody mikrovlnné úpravy	10
3.1.5 Nevýhody mikrovlnné úpravy	11
3.2 Vlastnosti a nutriční složení ovoce a máku.....	11
3.2.1 Ovoce	11
3.2.2 Mák	13
3.3 Vliv mikrovln na kvalitativní vlastnosti potravin	14
3.3.1 Vliv mikrovlnného ošetření na sušené ovoce	15
3.3.1.1 Aktivita vody	15
3.3.1.2 Antioxidační kapacita.....	15
3.3.1.3 Obsah polyfenolových sloučenin	16
3.3.1.4 Obsah pektinových frakcí.....	16
3.3.1.5 Obsah vitamínů.....	17

3.3.1.6	Barva.....	17
3.3.1.7	Textura.....	19
3.3.1.8	Povrchové praskání	20
3.3.1.9	Pórovitost.....	20
3.3.1.10	Velikost smršťení	21
3.3.1.11	Rehydratační kapacita	21
3.3.2	Vliv mikrovlnného ošetření na ořechy.....	22
3.3.2.1	Aktivita vody a vlhkost	23
3.3.2.2	Antioxidační aktivita	23
3.3.2.3	Obsah fenolových sloučenin.....	24
3.3.2.4	Barva.....	25
3.3.2.5	Textura.....	26
3.3.2.6	Těkavé látky	26
3.3.2.7	Obsah mastných kyselin	28
3.3.2.8	Peroxidové číslo	29
3.3.2.9	Stabilita vůči žluknutí.....	31
3.3.2.10	Chuť a aroma	32
3.3.3	Vliv mikrovlnného ošetření na mák.....	33
4	Závěr.....	34
5	Seznam použité literatury.....	35

1 Úvod

Ovoce, ořechy a mák jsou velmi častou a neodmyslitelnou součástí našich jídelníčků. Jsou běžně konzumovány lidmi všech věkových kategorií, jelikož mají díky svému složení pozitivní vliv na lidský organismus.

Problémem je však údržnost potravin, kdy vysoké procento vody u ovoce způsobuje rychlé mikrobiální kažení a vysoký obsah tuků u ořechů a máku zase vede při skladování ke žluknutí. Údržnost se snažíme prodloužit pomocí konzervačního ošetření, kdy chceme dosáhnout prodloužení trvanlivosti a vyhnout se tak zhoršení kvality dané potraviny. Nejčastěji se využívá ošetření na bázi tepelného působení. Konvenční metoda ošetření pomocí horkého vzduchu je velice energeticky náročná a potraviny jsou vystaveny vysokým teplotám po dlouhou dobu. Alternativní možností je využití mikrovlnného ošetření. Potenciálem u mikrovlnné úpravy je větší úspora energie, zkrácení doby zpracování a snížení provozních nákladů.

Během celého cyklu zpracování podléhají potravinářské materiály komplexním změnám: fyziologickým, enzymovým, chemickým a mikrobiologickým. Cílem mikrovlnného ošetření je prodloužení skladovatelnosti potravin při co největším zachování kvality původní suroviny.

2 Cíl práce a hypotéza

2.1 Cíl práce

Ošetření mikrovlnným zářením lze použít pro hygienizaci, sušení a pražení potravin. Při tomto procesu může docházet ke změnám oxidační a hydrolytické stability ošetřovaných potravin. Cílem bakalářské práce bylo zpracování literární rešerše zaměřené na vliv mikrovlnného záření na kvalitu suchých skořápkových plodů, máku a sušeného ovoce. Pozornost byla věnována vlivu stupně expozice na kvalitativní parametry ošetřené potraviny.

2.2 Hypotéza

Při ošetření ořechů, máku a ovoce mikrovlnným zářením dochází ke změnám sensorických vlastností, složení a stability vůči žluknutí. Rozsah těchto změn závisí na intenzitě a délce trvání expozice.

3 Literární rešerše

3.1 Mikrovlnné záření

Mikrovlny jsou vysokofrekvenční elektromagnetické vlny s vlnovými délkami v rozmezí od 1 mm do 1 m a frekvenčním pásmem v rozmezí 300 MHz až 300 GHz. Jedná se o kombinaci elektrických a magnetických polí (Rothbauer et al., 1985).

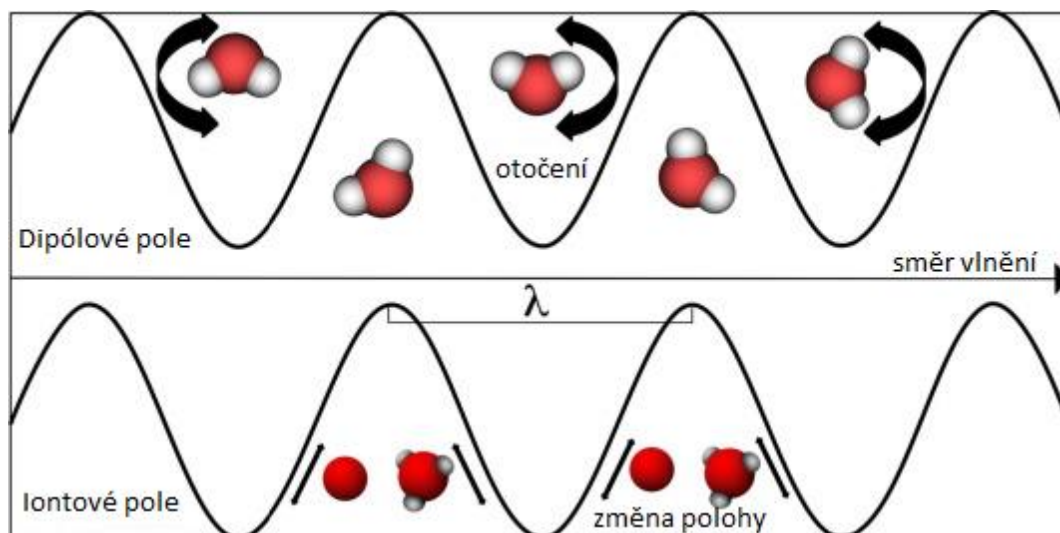
Zařízení používaná v domácnostech pracují obecně s frekvencí 2,45 GHz, zatímco průmyslové systémy pracují s frekvencemi 915 MHz nebo 2,45 GHz (Guo et al., 2017). Ovšem nejčastěji používaná je frekvence 2450 MHz, jelikož nižší frekvence jsou zřídka používané samostatně, ale většinou pouze v kombinaci s jinými metodami (Kouchakzadeh and Shafeei, 2010). Navíc frekvence 2450 MHz je jako jediná legislativou povolena pro užití v potravinářství v České republice (Vrba, 2001).

Mikrovlny mají nízký obsah energie ve fotonech (0,03 kcal/mol; 0,126 kJ/mol), proto nemají přímo vliv na molekulární struktury, jelikož chemické vazby mají energii v rozmezí od 20 do 50 kcal/mol (od 83,736 do 209,34 kJ/mol) (Aguilar-Reynosa et al., 2017). Z tohoto důvodu je mikrovlnné záření považováno za neionizující záření (Yin, 2012).

Mikrovlnné záření je využíváno v řadě průmyslových odvětví, například dřevařském, papírenském, textilním, potravinářském nebo keramickém průmyslu (Chou and Chua, 2001).

3.1.1 Mikrovlnný ohřívací mechanismus

Mikrovlnný ohřev je umožněn schopností materiálů absorbovat mikrovlnnou energii a přeměnit ji na teplo. Ohřev pomocí mikrovln je způsoben hlavně díky dipólovým a iontovým mechanismům (Chandrasekaran et al., 2013). Dipólové nebo iontové pole se snaží přizpůsobit střídavému elektromagnetickému poli, jak je vidět na obrázku 1. V tomto procesu dochází ke ztrátě energie ve formě tepla molekulárním třením a dochází k přeměně ztrátové energie elektromagnetického pole na energii tepelnou. Pokud dipóly nebo ionty nemají dostatek času na to, aby se aplikovanému poli dostatečně rychle přizpůsobily nebo se přeorientovaly, nebude docházet k žádnému ohřevu. Proto je nutné vhodně zvolenou frekvencí dát dipólům nebo iontům dostatečné množství času, aby se v poli vyrovnaly (Bradshaw et al., 1998; Yin, 2012).



Obrázek 1 – Reakce dipólového a iontového pole na elektromagnetické pole, upraveno (Aguilar-Reynosa et al., 2017)

Přeměna mikrovlnné energie na teplo v potravinách je způsobena přítomností vody. Vzhledem k tomu, že molekuly vody jsou bipolární a otáčejí se v rychle se měnícím elektromagnetickém poli (2,45 miliardkrát za sekundu), v potravine dochází k tvorbě tepla v důsledku tření mezi jednotlivými molekulami vody. Protože mikrovlny mohou pronikat přímo do materiálu, dochází k ohřevu zevnitř a zajišťuje se tak poměrně rychlé prohřátí celého výrobku (Kouchakzadeh and Shafeei, 2010; Guo et al., 2017).

Existuje mnoho faktorů, které jsou zodpovědné za mikrovlnný ohřev a rozložení tepla, nejdůležitější z nich jsou dielektrické vlastnosti a hloubka pronikání (Chandrasekaran et al., 2013).

3.1.2 Dielektrické vlastnosti

Dielektrické vlastnosti jsou hlavními parametry, které poskytují informace o tom, jakým způsobem materiály interagují s elektromagnetickou energií během dielektrického ohřevu (taktéž mikrovlnného ohřevu). Tyto vlastnosti jsou velmi důležité při aplikaci mikrovlnného záření na potraviny. Jejich znalost je zásadní pro pochopení a vytvoření představy, jak bude materiál reagovat na elektromagnetické pole při určitých požadovaných frekvencích a teplotách. Distribuce elektromagnetické energie při mikrovlnném ohřevu je řízena Maxwellovými rovnicemi (Sosa-Morales et al., 2010).

Maxwellovy rovnice jsou považovány za základní zákony teorie elektromagnetického pole. První rovnice zobecňuje Ampérův zákon, druhá rovnice představuje Faradayův indukční

zákon, třetí rovnice je Gaussovým zákonem elektrostatiky a čtvrtá určuje zákon spojitosti indukčního toku (Szántó, 2012).

Schopnost potravinářského materiálu převést mikrovlnou energii na teplo je tedy dána jeho dielektrickými vlastnostmi. Dielektrické vlastnosti ukazují úspory a ztráty energie v elektrickém poli, obvykle vyjádřené jako dielektrická konstanta a ztrátový faktor (Guo et al., 2017). Tyto vlastnosti materiálů lze definovat z hlediska jejich relativní permitivity. Permitivita se obecně používá k popisu dielektrických vlastností, které ovlivňují odraz elektromagnetických vln na rozhraních a tlumí vlnovou energii uvnitř materiálů. Relativní komplexní permitivita (ϵ_r), popisuje permitivitu vztahující se k volnému prostoru, která je tvořena skutečnou a pomyslnou částí. Je vyjádřena jako:

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$$

kde ϵ_r' a ϵ_r'' se běžně nazývají dielektrická konstanta a ztrátový faktor a $j = \sqrt{-1}$. Skutečná část (tedy dielektrická konstanta ϵ_r') popisuje schopnost materiálu uchovávat energii, ve chvíli kdy je vystaven elektrickému poli. Ovlivňuje také rozložení elektromagnetického pole a fázování vln při průchodu materiálem. Pomyslná část (tedy ztrátový faktor ϵ_r''), ovlivňuje absorpci i útlum energie a popisuje schopnost odvádět energii na aplikované elektrické pole nebo různé polarizační mechanismy, které obvykle vedou k tvorbě tepla. Množství tepelné energie přeměněné v potravině je úměrné hodnotě ztrátového faktoru (Sosa-Morales et al., 2010). Hlavní faktory, které ovlivňují dielektrické vlastnosti potravinových materiálů, jsou frekvence, teplota, složení potravin (obsah tuku, soli a vody) a stav vody (zmrazená, volná nebo vázaná) (Zhang et al., 2017).

Další důležitá vlastnost související s dielektrickými vlastnostmi je hloubka pronikání. Tento faktor je obvykle definován jako hloubka vzorku, kde mikrovlnný výkon klesl na $1/e$ ($e=2,718$) nebo na 36,8 % své vysílané energie (Sosa-Morales et al., 2010).

Dielektrické vlastnosti potravin je třeba znát pro pochopení chování materiálu při elektromagnetickém ohřevu. V závislosti na dielektrické konstantě a ztrátovém faktoru jsou vyvíjeny nové potravinářské procesy a postupy za účelem zvýšení kvality potravin a také urychlení jejich výroby (Aguilar-Reynosa et al., 2017).

3.1.3 Způsoby využití mikrovln při úpravě potravin

Mikrovlnný ohřev má široké uplatnění v oblasti zpracování potravin po dobu několika desetiletí. Využití mikrovlnného ohřevu v potravinářském průmyslu zahrnuje sušení, pasterizaci, sterilizaci, rozmrazování, temperování, pečení potravinářských materiálů apod. Mikrovlnný ohřev získal oblibu díky schopnosti dosáhnout rychlého zvýšení teploty,

významného zkrácení doby ošetření, bezpečné manipulaci, snadné obsluhy a nízkým nárokům a nákladům na údržbu (Chandrasekaran et al., 2013).

3.1.3.1 Sušení mikrovlnami

Sušení nabízí možnost, jak zachovat potraviny ve stabilním a bezpečném stavu, protože snižuje aktivitu vody a prodlužuje trvanlivost potraviny, která je delší než u čerstvého produktu (Zhang et al., 2006). Mikrovlnné sušení využívá převodu vysokofrekvenční elektromagnetické energie na teplo, čímž se kapalná vlhkost intenzivně odpařuje a dostává se k povrchu potravinářského materiálu (Guo et al., 2017).

Mnoho konvenčních tepelných metod sušení jako například sušení proudem vzduchu, sušení ve vakuu anebo sušení mrazem, často vede k dlouhé době sušení. Může také často docházet k tepelné degradaci výrobků. Sušení pomocí mikrovln umožňuje zkrátit dobu sušení a zlepšit tak konečnou kvalitu produktů (Zhang et al., 2006; Kowalski et al., 2016). Hazervazifeh et al. (2017) ve svém výzkumu došli k závěru, že pro sušení jablečných plátků je výhodnější využít právě mikrovlnnou úpravu, protože při použití metody proudění horkého vzduchu je povrch výrobku přehřátý na povrchu, následně se nadměrně smršťuje a vykazuje velkou tvrdost. Dochází k prodloužení doby sušení a výrobek může končit až v nekvalitním hnědém a smrštěném stavu. Kvalita sušeného ovoce při použití mikrovlnného záření je lepší než při sušení v proudu horkého vzduchu, protože je výrazně zkrácena doba sušení. U mikrovlnného ohřevu dochází k rychlé absorpci energie molekulami vody a to způsobuje rychlé odpařování vody, které vede k vysokému obsahu sušiny v dané potravine. Ohřev pomocí mikrovln také vytváří vnější tok rychle uniklých par, kromě vyšší rychlosti sušení může tento vnější tok zabránit smršťování tkáňové struktury, která převažuje u většiny technik konvekčního sušení (Kouchakzadeh and Shafeei, 2010). Při mikrovlnném ošetření v potravinách dochází k vytvoření porézní struktury (Guo et al., 2017). Vnitřní odpařování vody během mikrovlnného ohřevu vede k vysokému tlaku výparů a poskytuje tak otevřenější strukturu a nižší stupeň smršťování v důsledku roztažnosti par uvnitř výrobku. Pórovitost vede k lepší rehydrataci (De Bruijn and Bórquez, 2014; Paengkanya et al., 2015). Rehydratace je proces, jehož cílem je obnovit vlastnosti čerstvého materiálu, když suchý materiál znovu přijde do kontaktu s kapalnou fází (Bilbao-Sáinz et al., 2005).

Nevýhoda mikrovlnného sušení spočívá v nadměrné teplotě podél rohů a okrajů potravinářských výrobků a může vést k tvorbě nepříjemných aromatických látek, zejména během konečných fází sušení. Tento problém spočívá v obtížné kontrole teploty při

mikrovlnném sušení, zatímco při sušení teplým vzduchem nikdy teplota produktu nepřekročí teplotu vzduchu (Chandrasekaran et al., 2013).

3.1.3.2 Vaření a pečení s využitím mikrovln

Vaření pomocí mikrovlnného záření je ovlivněno přítomností vlhkosti a obsahu tuku v potravinářských materiálech. Produkty vařené v mikrovlnné troubě vykazují lepší chuť, barvu, kvalitu a nutriční hodnotu ve srovnání s těmi, které jsou vařené jinými běžně užívanými metodami (Chandrasekaran et al., 2013). Vaření pomocí mikrovln má schopnost udržovat vysokou antioxidační aktivitu, vysoký obsah bioaktivních složek v zelenině a zlepšovat stravitelnost bílkovin *in vitro* v potravinářských produktech tím, že významně snižuje antinutriční faktory. Nicméně výrazné ztráty živin by mohly nastat při vaření s velkým množstvím vody. Doporučuje se při mikrovlnném vaření vodu nepoužívat, nebo používat jen velmi malé množství. Nízkoteplotní vaření může udržet vysokou úroveň živin v potravinách, nicméně informací o použití mikrovlnných linek k dosažení nízkoteplotního vaření je málo, a proto je nutné k pochopení a využití této techniky podniknout další výzkumy (Guo et al., 2017).

Byly provedeny také pokusy s pečením pomocí mikrovln, ale Chandrasekaran et al. (2013) uvádějí, že samotné mikrovlnné pečení či kombinace s dalšími způsoby pečení (horký vzduch či infračervené záření) neposkytují lepší vlastnosti konečného produktu a konstatují, že je zapotřebí dalšího výzkumu v užití mikrovln pro účely pečení.

3.1.3.3 Mikrovlnná pasterace a sterilace

Pasterace a sterilace se provádějí za účelem zničení nebo inaktivace mikroorganismů, z důvodu zvýšení bezpečnosti potravin a také možnosti delší skladovatelnosti (Nott, 1999). Aby se zajistilo usmrcení patogenních mikroorganismů, udržuje se potravinářský materiál po určitou dobu při určité teplotě. Dochází také k inaktivaci nežádoucích enzymů, které způsobují nechtěné reakce v průběhu skladování (Chandrasekaran et al., 2013). Dávka mikrovlnného záření je velice důležitá pro určování účinnosti inaktivace. Bylo prokázáno, že mikroorganismy mohou být úplně inaktivovány, pokud dávka mikrovlnného záření dosáhne určité úrovně, která je pro každou potravinu jiná (Guo et al., 2017).

Zničení mikroorganismů nebo enzymů mikrovlnami bylo vysvětleno pomocí následujících teorií: selektivní ohřev, elektroporace, ruptura buněčné membrány a vazba magnetického pole. Teorie o selektivním ohřevu naznačuje, že mikroorganismy jsou selektivně zahřívány mikrovlnami a dosahují vyšší teploty než okolní prostředí. To má za následek zničení

mikroorganismů. Podle teorie elektroporace může elektrický potenciál napříč buněčnou membránou vytvořit póry, což vede k úniku buněčných materiálů. Teorie ruptury buněčné membrány hovoří o vzniku napětí napříč celou buněčnou membránou, což vede k jejímu prasknutí. Teorie vazby magnetického pole zmiňuje, že interní komponenty buňky jsou narušeny v důsledku spojení elektromagnetické energie s molekulami, jako jsou bílkoviny nebo DNA. Bez ohledu na přesný původ rekce je zřejmé, že mikrovlny jsou účinné při ničení mikroorganismů nebo při inaktivaci nežádoucích enzymů (Chandrasekaran et al., 2013).

Mikrovlenná sterilace může být efektivně využita k zajištění mikrobiologické bezpečnosti potravin. Nevede k žádným zřejmým změnám v antioxidační aktivitě, barvě a bioaktivních složkách díky inaktivaci enzymů a krátké době expozice (Guo et al., 2017).

3.1.3.4 Kombinace mikrovlnného záření s jinými způsoby úpravy potravin

Nejlepším způsobem, jak využít kladů mikrovlnného sušení a zároveň se zbavit jeho nedostatků, je kombinace mikrovlnného sušení s konvenčními způsoby (Chandrasekaran et al., 2013; Ekezie et al., 2017). Mikrovlenné záření v kombinaci s jinými způsoby sušení, poskytuje často lepší sušicí vlastnosti v porovnání se způsoby, kdy jde o jednostupňové sušení (Chandrasekaran et al., 2013). Při jednostupňovém sušení nelze zaručit splnění přísných požadavků na kvalitu výrobku a zajistit nejnižší spotřebu energie. Nové technologie sušení, které využívají více způsobů přenosu tepla a metody, které se opírají o dva nebo více stupňů sušení, jsou v současné době nezbytné. Při vhodných kombinacích mohou vybrané hybridní nebo vícestupňové mikrovlnné sušicí linky podporovat účinné sušení, pokud jde o zvýšení kvality produktu a snížení spotřeby energie (Zhang et al., 2006).

Kowalski et al. (2016) prováděli pokusy se sušením malin pomocí kombinovaných metod sušení. Mikrovlenné záření bylo použito v kombinaci s využitím ultrazvuku. Mikrovlny byly aplikovány pouze po dobu 10 minut v obou případech. Toto omezení bylo použito k ochraně tepelně citlivých, cenných živin a k zamezení jakéhokoli negativního vlivu na kvalitu materiálu, ke kterému by mohlo dojít při delší mikrovlnné aplikaci. Díky spojení metod došlo k výrazné úspoře času i energie. V prvním případě o 69,7 % a v případě druhém o 79,1 % oproti sušení pouze konvektivnímu.

Pokud využijeme při mikrovlnném ošetření také účinek plazmy, můžeme dospět k lepší mikrobiální dekontaminaci pomocí vyšší hustoty elektronů (Kim et al., 2017). Další možností je spojení mikrovlnného ošetření a elektronových paprsků. Tato kombinace poskytuje rychlou sterilaci (Ekezie et al., 2017).

Nguyen et al. (2013) se zaměřili na možnosti kombinace mikrovlnného a ohmického ohřevu. Testovali pouze modelový pokrm (kostky mrkve v roztoku NaCl). Toto kombinované záření se zaměřuje na ohřev vícefázových potravin. Výsledek vedl k velmi dobrému prohřátí pevné i kapalně fáze modelového pokrmu a stoupla energetická účinnost ohřevu ve srovnání se samotným mikrovlnným ohřevem.

Kombinované osmotické a mikrovlnné sušení vede k homogennějšímu zahřívání produktu díky modifikaci jeho dielektrických vlastností v důsledku absorpce rozpuštěné látky. Také dochází k mírnému snížení času sušení, snížení smrštění dané potraviny, vysoké poréznosti produktu a zlepšení jeho rehydratačních charakteristik (Erle and Schubert, 2001; Torringa et al., 2001). Patel a Sutar (2016) ovšem při pokusech se sušením zmijovce pivoňkolitého (*Amorphophallus paeoniifolius* L.) zjistili výraznější tvrdost produktu. Toto negativum je vysvětleno vzrůstem obsahu cukrů a soli během osmotické dehydratace a vytvořením pevné podpovrchové vrstvy, která se po ukončení samotné sušicí operace stává kompaktnější.

Další možností je užití zmrazení a poté následného sušení pomocí mikrovln. Dojde ke snížení doby sušení (až o 29 %) a také se sníží spotřeba energie (až o 27 %). Tato metoda ovšem vykazuje zhoršenou kvalitu sušených produktů. Produkty byly tvrdší, hůře žvýkatelné a gumovější (Zielinska et al., 2015).

Spojení s infračerveným zářením může být využito na pečení, sušení či pražení. Ve výsledku vykazuje konečný produkt tohoto procesu lepší texturu a křupavost a to díky tomu, že může být použita menší mikrovlnná intenzita při zachování stejné rychlosti sušení (Uysal et al., 2009; Ekezie et al., 2017).

Při kombinaci mikrovln a vakua jsou vytvořeny vhodné podmínky pro sušení. Při této metodě nedochází k výraznému smrštění struktury dané potraviny a odvádění vlhkosti se zrychluje. Vakuum totiž umožňuje, aby se voda odpařovala při nižší teplotě než při atmosférickém tlaku a plody byly sušeny bez vystavení vysokým teplotám. Navíc nepřítomnost vzduchu během sušení může zabránit oxidaci. Při mikrovlnném sušení ve vakuu se teplo nepřenáší, ale vytváří v tkáni. To umožňuje mnohem vyšší přenosové rychlosti než u běžných sušících operací. Vzhledem k těmto výhodám se zlepšuje barva a chuť sušených produktů. Je zde ovšem problém s vysokými provozními náklady (Lina et al., 1998; Erle and Schubert, 2001; Zielinska et al., 2015).

Konvekční sušení horkým vzduchem spolu s mikrovlnným ohřevem vede ke zvýšení kvality produktu a snížení spotřeby energie. Kombinace metod má za následek podobné nebo větší uchování antioxidantů než pomocí metody lyofilizace (Zielinska et al., 2015). Lyofilizace

je označována za metodu, při níž lze dosáhnout nejlepších vlastností upravené suroviny (Zhang et al., 2017).

3.1.4 Výhody mikrovlnné úpravy

Mikrovlny nabízejí při úpravě potravin mnohé výhody. Mezi hlavní patří větší úspora energie, zkrácení doby zpracování a snížení provozních nákladů (Ekezie et al., 2017). Zielinska a Michalska (2016) zjistily, že doba sušení borůvek pomocí mikrovln se oproti sušení konvekčním při 60 °C a 90 °C zkrátila dokonce o 96 % respektive 82 %. Hazervazifeh et al. (2017) v pokusech s jablky zjistili, že zvyšování výkonu mikrovln má účinek na zkrácení doby sušení. Zvýšený výkon tak přináší rychlejší snížení vlhkosti. Doba sušení pro každou mikrovlnnou energii 500, 1 000, 1 500 a 2 000 W je 125, 52, 36 a 20 min, což znamená výrazné snížení doby sušení (asi o 84 %) s výkonem od 500 do 2000 W. Vliv mikrovlnného ošetření na jablkách zkoumali také Zarein et al. (2015). Došli k závěru, že doba potřebná k sušení vzorků jablek od počátečního obsahu vlhkosti $74 \pm 1,5$ % ke konečnému obsahu vlhkosti 4 ± 1 % byla 25, 10 a 4,25 min při 200, 400 a 600 W. Rychlost sušení se zvyšovala s rostoucími úrovněmi mikrovlnného výkonu. Obsah vlhkosti byl v materiálu během počáteční fáze sušení velmi vysoký, což vedlo k vyšší absorpci mikrovlnného výkonu a vyšším rychlostem sušení v důsledku vyšší difúze vlhkosti. Jak postupovalo sušení, ztráta vlhkosti ve výrobku způsobila snížení absorpce mikrovlnného výkonu a vedla k poklesu rychlosti sušení. Wang a Sheng (2006) ve své studii se sušením broskví taktéž uvádějí, že při použití mikrovlnného ošetření dojde k výrazné úspoře energie a času. Stejně výsledky pak přináší i experiment s makadamovými ořechy, který provedli Silva et al. (2006). Dospěli se k závěru, že je možné dokonale usušit makadamové ořechy aplikací mikrovlnné energie, přičemž doba sušení (4,5-5,5 hodiny) je mnohem kratší, než čas potřebný při běžném sušení teplým vzduchem (cca 144 hodin). Aplikace mikrovln během procesu sušení také vedla k zachování přirozené kvality makadamových ořechů ve srovnání s kvalitou získanou při použití obvyklého způsobu sušení. Taktéž u vlašských ořechů i pistácií bylo dosaženo výrazné časové úspory (Ciarmiello et al., 2013; Balbay and Şahin, 2013).

Mikrovlnné sušení vyžaduje také menší podlahovou plochu ve srovnání s konvenčními sušičkami, protože zvýšení rychlosti zpracování umožňuje konstrukci kompaktnějších zařízení, a proto lze zvýšit kapacitu bez dalších nároků na prostor. Při mikrovlnném sušení jsou provozní náklady nižší také proto, že energie není spotřebována při ohřevu stěnami. Teplo generované mikrovlnami se tvoří přímo v produktu, nikoliv ve stěnách pece. Proto jsou tepelné ztráty z trouby do okolí mnohem nižší. Mikrovlnné sušení má pozitivní vliv na rychlost sušení,

pružnost, barvu, chuť, nutriční hodnoty, mikrobiální stabilitu, rehydratační kapacitu a křupavost (Vadivambal and Jayas, 2007).

3.1.5 Nevýhody mikrovlnné úpravy

Přestože výhody mikrovlnného ohřevu výrazně předstihují jeho tradiční protějšky, hlavní nevýhodou, která omezuje jeho komerční rozšíření, je nerovnoměrné rozložení teploty, které má za následek nedostatečné zpracování materiálů. Také přispívá k nerovnoměrnému rozložení vlhkosti během sušících operací, což komplikuje řízení samotného procesu a tím také získání požadovaných sušených produktů (Ekezie et al., 2017).

Při zvyšování intenzity mikrovlnného ošetření může mikrovlnný ohřev účinně snižovat konečný obsah vody, ale zároveň zvyšuje míru smršťování (Guo et al., 2017). Kromě toho vysoký penetrační výkon mikrovlnné energie ovlivňuje chování přenosu tepla a může způsobit přehřátí výrobků vedoucí až k jeho spálení v závislosti na povaze a geometrii materiálu, dielektrických vlastnostech a návrhu samotného mikrovlnného ohříváče (Ekezie et al., 2017).

Vzhledem k tomu, že během konečných fází procesu sušení je k dispozici jen omezené množství vody, může teplota materiálu snadno vzrůst na úroveň, která již způsobuje spálení. Konečná teplota produktu v mikrovlnné sušičce je obtížně kontrolovatelná ve srovnání se sušením horkým vzduchem, při kterém se teplota produktu nikdy nedostane nad teplotu vzduchu v sušičce (Zhang et al., 2017).

Za účelem překonání těchto problémů, zejména nerovnoměrného ohřevu, byla navržena různá řešení, která v sobě zahrnovala vhodný výběr obalových materiálů a také možné kombinované metody (spojení s jinými možnostmi ošetření) pro získání lepších parametrů výrobku. Rovnoměrnosti ohřevu při procesu mikrovlnného sušení lze dosáhnout i otáčením vzorku v mikrovlnném ohříváči (Datta and Ni, 2002; Chandrasekaran et al., 2013; Hazervazifeh et al., 2017).

3.2 Vlastnosti a nutriční složení ovoce a máku

3.2.1 Ovoce

Ovoce jsou jedlé plody a semena stromů, keřů a bylin. Čerstvým ovocem rozumíme ovoce, které se ke spotřebiteli dostane bezprostředně po sklizni nebo po určité době skladování v původním syrovém stavu. Zpracovaným ovocem rozumíme výrobky, ve kterých bylo ovoce nějakým způsobem konzervováno. Pánek et al. (2002) dělí ovoce na několik základních skupin:

- jádrové – jablka, hrušky, kdoule, aronie, jeřabiny, aj.

- peckové – švestky a slívy, meruňky, broskve, nektarinky, třešně, višně, aj.
- bobulové – rybíz, angrešt, lesní ovoce, aj.
- skořápkové – vlašské ořechy, lískové ořechy, jedlé kaštiny, aj.
- plody tropů a subtropů – jedná se o dosti nesourodou skupinu, do níž zahrnujeme všechny druhy pěstované v tropech a subtropích; například jde o citrusové ovoce, banány, ananas, kiwi, mango, fíky, avokádo a také různé druhy ořechů pěstovaných v těchto oblastech
- samostatnou skupinou jsou hrozny vinné révy.

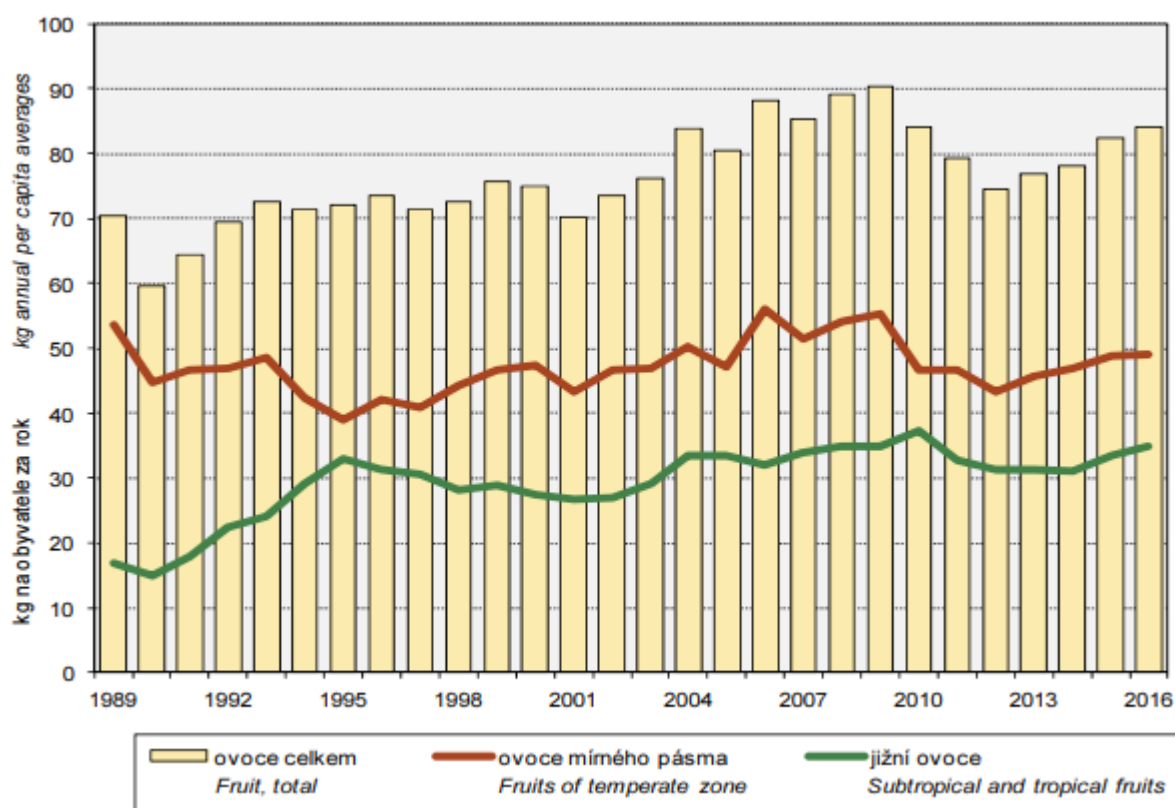
Nutriční hodnota jednotlivých skupin je odlišná. Hlavní složkou dužnatého ovoce je voda, která může tvořit 70-90 %. U skořápkového ovoce je obsah vody pouze 4-8 %. Obsah bílkovin a tuku je u většiny druhů ovoce zanedbatelný. Výjimku tvoří skořápkové ovoce a některé druhy subtropického a tropického ovoce jako je například avokádo. Tuk, který je obsažen ve skořápkovém ovoci, (tedy v oříškách) má vysoký obsah nenasycených mastných kyselin, včetně takových, které jsou pro člověka esenciální. Obsah a poměr mastných kyselin je pro jednotlivé ořechy odlišný, jak je patrné z tabulky 1. Ovoce je také velice kvalitním zdrojem vitamínu C, některých druhů vitamínů skupiny B a karotenoidů. V ořeších je pak významný obsah vitamínu E, minerálních látek a také látek ochranného charakteru, zejména jde o přírodní antioxidanty. Ovoce je dále velice významným zdrojem vlákniny v naší stravě, především ve formě pektinu. Ovoce je také charakteristické vysokou sensorickou hodnotou. Ta je dána především přítomností cukrů, těkavých aromatických látek (silice - éterické oleje), organických kyselin, hořkých a některých dalších sensoricky významných látek.

Tabulka 1 – Obsah tuku, monoenoových (MUFA) a polyenoových (PUFA) nenasycených mastných kyselin ve 100 g skořápkového ovoce, uvedeno v gramech (Nutriservis.cz)

Skořápkové ovoce	Obsah tuku	Obsah MUFA	Obsah PUFA
Arašídny	48,9	23,1	13,5
Kešu	45,6	25,9	7,4
Lískové ořechy	62,4	48,3	7,0
Mandle	53,4	35,2	11,4
Para ořechy	67,3	22,4	24,6
Pekanové ořechy	71,0	40,8	21,6
Pistácie	49,5	30,8	12,5
Vlašské ořechy	63,4	11,8	45,1

Zpracované ovoce můžeme rozdělit na mnoho skupin: sušené ovoce, ovocné protlaky, rosoly, povidla, kandované ovoce, ovoce naložené v lihu, kompoty, džemy, klevely anebo upravené chlazené čerstvé ovoce. Při zpracování se výživová hodnota ovoce prakticky vždy snižuje, především jde mnohdy o ztrátu vitamínů (hlavně vitamínu C). Ovšem při zpracování můžeme danou potravinu také o různé látky (zejména minerální látky a vitamíny) obohacovat. Zvýšení energetické hodnoty výrobku při zpracování je spojeno s přidáním cukrů (například při jejich využití jako konzervantu) nebo se zvýšením sušiny. Z výživového hlediska je vhodnější preferovat čerstvé ovoce před ovocem upraveným, ale u čerstvého produktu je mnohem nižší doba skladovatelnosti (Pánek et al., 2002).

Za poslední roky spotřeba ovoce v České republice stoupá jak je vidět na obrázku 2 (czso.cz).



Obrázek 2 – Spotřeba ovoce v ČR v hodnotě čerstvého (czso.cz)

3.2.2 Mák

Semena máku jsou tvořena z velké části především tuky. Vyzrálé semeno obsahuje 42 až 55 % oleje, 18 až 26 % dusíkatých látek, 5 až 8 % sacharidů, cca 6 % popelovin (hlavně vápník, fosfor a draslík) a 5 až 10 % vody. V malých množstvích jsou zde také obsaženy volné

aminokyseliny. Olej máku tvoří triacylglyceroly mastných kyselin stearové, palmitové, linolové a olejové (Kutina et al., 1975).

3.3 Vliv mikrovln na kvalitativní vlastnosti potravin

Kvalita produktu je velmi důležitým ukazatelem, který umožňuje posoudit účinnost procesu ošetření (Kowalski et al., 2016). Pojem kvalita potravin zahrnuje tři hlavní oblasti: nutriční hodnotu, přijatelnost (senzorická kvalita) a bezpečnost. Téměř jakákoli metoda zpracování surových potravin bude mít nepříznivý vliv na některé z jejich vlastností. Přijatelnost zahrnuje velké množství atributů, jako je vizuální přitažlivost, aroma, chuť a struktura. Celková kvalita výrobku je posuzována dle četné řady parametrů. Dobrá kvalita je posuzována podle čerstvosti, očekávaného vzhledu, chuti a struktury. Změny kvality, které se mohou vyskytnout u jakéhokoli produktu během sušení, jsou změny v optických vlastnostech (barva, vzhled), smyslových vlastnostech (zápach, chuť, vůně), strukturálních vlastnostech (hustota, porozita, specifický objem), změny v textuře, rehydratační změny (rychlost a kapacita) a změny v nutričních charakteristikách (zejména změny vitamínů a bílkovin). Pokud chceme potravinu vydávat za bezpečnou, musí být ochráněna před mikrobiálním, fyzikálním (vysychání, zamoření) a chemickým (žluknutí, hnědnutí) nebezpečím nebo kontaminací, ke kterým může dojít během všech fází výroby, pěstování, sklizně, zpracování, přepravy, distribuce a skladování potravin (Vadivambal and Jayas, 2007). Zhang et al. (2017) uvádějí, že kvalita dehydratovaného potravinářského výrobku je obecně určena šesti parametry: 1) zachování aromatických látek, které výrazně ovlivňují organoleptickou kvalitu sušených produktů; 2) zachování živin, zejména citlivých na teplo a kyslík, jako jsou vitamíny A, C a B₁; 3) inhibice hnědnutí, aby se udržovala žádoucí barva, která je úzce spojena s faktory, jako je čerstvost a bezpečnost potravin; 4) rehydratace, která představuje schopnost obnovit vlastnosti čerstvého produktu, když je sušený materiál v rehydratačním roztoku; 5) jakostní jednotnost, kterou lze měřit na základě teploty, obsahu vlhkosti, rozdílu barev, smršštění a dalšími ukazateli; 6) vzhled a struktura, které jsou výsledkem složitých interakcí mezi složkami potravin na makrostrukturální a mikrostrukturální úrovni. De Bruijn a Bórquez (2014) zmiňují, že velice důležitá je teplota a délka trvání procesu sušení, které ovlivňují kvalitu mikrovlnně sušených potravin, pokud jde o důležité vlastnosti, například rehydrataci, barvu, smršštění a mikrostrukturu.

3.3.1 Vliv mikrovlnného ošetření na sušené ovoce

U biologických materiálů jako je ovoce, které vykazuje nestabilitu, jemnou a citlivou vnitřní strukturou vůči teplotám, je kvalita prioritou, protože určuje funkční hodnotu těchto produktů. Tradiční techniky sušení, např. konvektivní sušení negativně ovlivňují konečnou kvalitu sušených biomateriálů. Vzhledem k dlouhé expozici při relativně vysoké teplotě a vysokému obsahu kyslíku v sušicím zařízení dochází ke změně vnitřní struktury, zhoršení smyslových vlastností (barva, aroma, struktura) a změnám v chemickém složení (ztráta bioaktivních složek). Alternativně může být sušení provedeno hybridní metodou, která kombinuje několik mechanismů s mikrovlnným zářením, což také vede k významnému zlepšení kvality sušeného ovoce (Kowalski et al., 2016).

3.3.1.1 Aktivita vody

Voda je jednou z nejdůležitějších složek potravin, která ovlivňuje oxidaci tuků, mikrobiologický růst, chuť a strukturu sušených potravin (Zhang et al., 2017). Při rovnovážných podmínkách je aktivita vody (a_w) definována jako poměr tlaku vodních par potraviny k tlaku par destilované vody při určité teplotě. Při obvyklých teplotách, které umožňují mikrobiální růst, vyžaduje většina mikroorganismů a_w v rozmezí asi 0,90-1,00. Kvalitativně je a_w mírou volné vody v systému, která je k dispozici pro potřeby biologických a chemických reakcí. Cílem dehydratace je snížit a_w výrobku k dosažení rovnováhy mezi kvalitou produktu a možností skladovatelnosti. Pro bezpečné skladování ovoce je maximální povolená aktivita vody $< 0,70$ (Orsat et al., 2007).

Kowalski et al. (2016) ve svém pokusu s malinami zjistili, že a_w byla při použití mikrovlnného záření pod hranicí 0,60. Paengkanya et al. (2015) v pokusech se sušením durianových kousků uvádějí a_w u vzorků, které byly ošetřeny pomocí různých kombinovaných metod s využitím mikrovlnného záření vždy pod hranicí 0,40.

3.3.1.2 Antioxidační kapacita

Zielinska a Michalska (2016) stanovovaly změny antioxidační kapacity u borůvek. Získané výsledky byly vyjádřeny jako mmol Troloxu na 100 g sušiny. Hodnota antioxidační kapacity nezpracovaného ovoce byla $13,02 \pm 0,53$ mmol Troloxu na 100 g sušiny. $6,18 \pm 0,07$ mmol Troloxu na 100 g sušiny byla hodnota pro plody ošetřené konvekčním sušením při 90°C , zatímco mikrovlnné ošetření vedlo k nižším hodnotám antioxidační kapacity $4,39 \pm 0,10$ mmol Troloxu na 100 g sušiny.

3.3.1.3 Obsah polyfenolových sloučenin

Polyfenolové látky vykazují velké množství vlastností, které závisí na jejich chemické struktuře. Mohou se projevovat jako chuťové a vonné látky či jako barevné pigmenty. Hlavními chutěmi spojovanými s polyfenoly jsou hořkost a svíravost (Cheynier, 2005).

Zielinska a Michalska (2016) stanovovaly obsah polyfenolových sloučenin v borůvkách sušených za pomoci mikrovlnné trouby. Získané výsledky byly vyjádřeny jako ekvivalent gallové kyseliny (GAE) na 100 g sušiny. Sušení způsobilo významný pokles celkového obsahu polyfenolů, jelikož nezpracované bobule obsahovaly $2,28 \pm 0,07$ g GAE na 100 g sušiny a při použití mikrovln došlo ke snížení na hodnotu $0,87 \pm 0,02$ g GAE na 100 g sušiny.

3.3.1.4 Obsah pektinových frakcí

Contreras et al. (2005) se zaměřili na sledování obsahu pektinových frakcí v sušených plátcích jablek. Obsah různých frakcí pektinu byl silně závislý na podmínkách sušení. Když byly aplikovány mikrovlny, obsah vodorozpustného pektinu se zvýšil a frakce protopektinu (což je rozdíl mezi celkovým pektinem a součtem vodorozpustného pektinu a pektinu rozpustného ve formě oxalátu) klesla, což bylo ještě výraznější, když byly vzorky předem podrobeny vakuové impregnaci. Tyto výsledky ukazují, že čím je vyšší teplota vzorku během sušení mikrovlnami, tím je vyšší i rozpustnost pektinu. Tento účinek byl znatelný, když byly intercelulární prostory vzorku ještě plné vody. Změny rozpustnosti pektinu, které se vyskytují během sušení, ovlivní jak průměrnou molekulovou hmotnost rozpuštěných látek v kapalně části ovoce, tak i sílu vazeb v buněčné struktuře. Rozpustnost pektinu zahrnuje impregnaci buněk a zvýšení průměrné molekulové hmotnosti rozpuštěných látek přítomných ve vodné fázi. V sušených produktech, kde jsou buňky zhrouceny, může být síla buněčných vazeb méně objektivní pro hodnocení struktury produktu než právě obsah pektinu ve vodné fázi, který ovlivňuje její konzistenci. Způsoby úpravy, při kterých dochází ve větší míře k rozpuštění pektinu, vedou k tužším, ale méně deformovatelným strukturám. Huang et al. (2012) také testovali sušená jablka a došli k závěru, že použití kombinované metody lyofilizace a následného užití mikrovlnného vakuového ošetření vede k vyššímu obsahu ve vodě rozpustného pektinu než u samotné lyofilizace nebo u kombinované metody sušení, kdy nejprve je výrobek ošetřen mikrovlnnou metodou a až poté lyofilizací. Tento stav lze vysvětlit nižší teplotou sušení během procesu lyofilizace a následného užití mikrovlnného vakuového sušení.

3.3.1.5 Obsah vitamínů

Karatas a Kamyşlı (2007) provedli studii zaměřenou na stanovení vitamínů A, C a E u meruněk za použití infračervených a mikrovlnných sušiček. Hodnoty vitamínů A, C a E ve vzorku meruněk sušených v mikrovlnné troubě byly vyšší než u meruněk sušených pomocí infračervené sušárny. Při pokusu se sušením plátků jablek předem osmoticky ošetřenými došli Erle a Schubert (2001) k závěru, že při mikrovlnném vakuovém sušení (v prvním případě při 390 W po dobu 30 min + 195 W po dobu 39 min, v druhém případě při 390 W po dobu 21 min + 195 W po dobu 13 min) dojde ke ztrátám vitamínu C přibližně o 40 %. Ve stejné studii byly na změny vitamínu C testovány také jahody. U nich při mikrovlnném vakuovém sušení (390 W po dobu 37 min + 195 W po dobu 15 min) byl úbytek vitamínu C taktéž přibližně 40 %. Bórquez et al. (2010) zjistili, že u malin předem osmoticky ošetřenými a sušenými mikrovlnami, ztráta vitamínu C činila 80 %.

3.3.1.6 Barva

Při posuzování změny barevnosti se využívá metoda spektroskopie. Důležité a určující jsou 3 hodnoty. Jedná se o světelnost (L), hodnotu červenání nebo zelenání (a) a hodnotu žloutnutí nebo modránání (b) (Bai-Ngew et al., 2011). Změny barvy dehydratovaného ovoce jsou zpravidla způsobeny Maillardovou reakcí, degradací pigmentu, enzymatickým zbarvením nebo oxidací askorbové kyseliny (Chong et al., 2013; Guo et al., 2017). Hnědnutí ovoce během sušení je způsobeno i neenzymatickými reakcemi. Neenzymatické hnědnutí způsobuje snížení nutriční hodnoty v důsledku snížené stravitelnosti proteinů a ztráty esenciálních aminokyselin. Zahrnuje kondenzaci karbonylové skupiny redukujícího cukru volnou aminovou skupinou aminokyseliny nebo bílkoviny se ztrátou 1 molu vody. Produkty neenzymatického hnědnutí mají antioxidační a antimykotické vlastnosti. Antioxidační vlastnosti souvisejí s tvorbou struktur fenolového typu a vznikem melanoidinů (Özdemir and Devres, 2000).

Hodnoty L , a a b čerstvého durianu byly $85,22 \pm 2,33$; $-1,89 \pm 0,89$ a $18,84 \pm 3,61$. Po mikrovlnném sušení ve vakuu byla světelnost mírně snížena, zatímco červenání a žloutnutí byly zvýšeny. Durianové kousky po ošetření dostaly krémovou barvou s hodnotami L , a a b $80,69-84,25$; $-0,31-2,05$ a $22,58-26,64$. Ve srovnání se sušenými durianovými kousky pomocí páry při $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ (L 70,0; a 6,0; b 32,5) byla barva mikrovlnně upravených kousků durianu jasně lepší (Bai-Ngew et al., 2011). Při pokusech na jahodách se při použití mikrovln zvýšila světelnost vzorku oproti neošetřenému ovoci. Toto zvýšení světelnosti mohlo souviset s odbarvováním vzorku na úrovni povrchu vzhledem k vyšší teplotě dosažené během sušení.

Přesto však nebyl v žádném případě ovlivněn odstín. Červená barva jahod je způsobena především přítomností dvou antokyanových pigmentů. Jedná se o pelargonidin-3-glukosid a kyanidin-3-glukosid v poměru 20:1. Obsah antokyanu poklesl u metody sušení vzduchem velmi nepatrně, avšak u kombinované metody sušení vzduchem a za pomoci mikrovln byl pokles antokyanu znatelnější (u čerstvého ovoce 34 ± 6 mg Pgd-3-glukosidu na 100 g vzorku, u sušení vzduchem byla hodnota 33 ± 3 mg Pgd-3-glukosidu na 100 g vzorku a u kombinovaného ošetření byla naměřená hodnota 21 ± 3 mg Pgd-3-glukosidu na 100 g vzorku). Výrazně vyšší vliv na barvu u kombinované metody by mohl být přičítán degradaci pigmentu spojeného s vyšší teplotou dosaženou u vzorků během mikrovlnné úpravy (Contreras et al., 2008). Na jahodách prováděli pokusy také De Bruijn a Bórquez (2014). V jejich testu se barevnost původních neošetřených vzorků oproti vzorkům ošetřeným změnila jen velmi málo. Tato změna byla posuzována dle obsahu chromu (jak bylo uvedeno, nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi ošetřeným a neošetřeným vzorkem). Změny barev způsobené ztrátou chromu lze přičítat tepelné degradaci antokyanů při dehydrataci ovoce. Kowalski et al. (2016) uvádí, že při použití kombinovaných procesů sušení došlo k lehkému ztmavnutí malin oproti neošetřené surovině. Toto ztmavnutí bylo ovšem při porovnání nižší než ztmavnutí při použití metody konvektivního sušení. Při sušení borůvek v řezu dosáhli Zielinska a Markowski (2016) nejpřirozenějšího zachování barev právě při úpravě mikrovlnným zářením. Bórquez et al. (2010) při mikrovlnném sušení malin zjistili, že barva zůstala stejná jako u čerstvých plodů. Mikrovlnné sušení banánů způsobilo jejich ztmavnutí. Rozdíly mezi barvou mikrovlnně sušených vzorků v různých intenzitách mikrovln nebyly významné. Změna barvy nebyla tedy závislá na intenzitě mikrovlnné energie. Byly zkoumány také změny barev, které zohledňují změny jako zarudnutí a žloutnutí. Mikrovlnné sušení způsobilo jen velmi malé změny v porovnání se sušením za pomoci horkého vzduchu i při kombinaci obou postupů. Teplota a čas sušení jsou důležité parametry pro změnu barvy během sušení. Nižší barevná degradace u sušeného banánu při mikrovlnné úpravě může být proto důsledkem výrazně zkrácené doby sušení. Je tedy patrné, že mikrovlnné sušení udržuje přirozenější barvu banánů než metoda sušení teplým vzduchem nebo kombinované sušení horkým vzduchem a mikrovlnami (Maskan, 2000). Maskan (2001a) u sušení kiwi ovšem prokázal, že mikrovlnné záření způsobuje větší hnědnutí produktu než sušení vzduchem. Ovšem i u sušení vzduchem dochází k značnému ztmavnutí ovoce oproti neošetřeným vzorkům. Karatas a Kamişli (2007) sušili kousky meruněk jak v mikrovlnné troubě, tak provedli ošetření pomocí infračerveného záření. Barva meruněk sušených pomocí mikrovln lépe odpovídala barvě neošetřených kusů. Tento stav je způsobený mnohem kratší dobou sušení v mikrovlnné troubě než za použití

metody infračerveného záření. Použití kombinované metody sušení pomocí mikrovln a horkého vzduchu vedlo k tomu, že sušené kousky longanu byly více hnědé, než surové kousky, nicméně byly ještě považovány za zlatavě hnědé (Varith et al., 2007).

Vadivambal a Jayas (2007) uvádějí, že mikrovlnné sušení způsobuje menší změny hodnoty a , což znamená, že konečné produkty jsou méně hnědé, než ty které jsou sušené pomocí vzduchu. To odpovídá všem výše uvedeným studiím s výjimkou studie, kterou provedl na kiwi Maskan (2001a).

V pokusu se sušením borůvek byl hodnocen pokles monomerních antokyanů. Jako standard byl použit kyanidin-3-glukosid (Cy-3-G) s molárním koeficientem absorpce $26900 \text{ l mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Výsledky byly vyjádřeny jako g Cy-3-G na 100 g sušiny. Obsah monomerních antokyanů v neošetřených plodech byl $0,60 \pm 0,01$ g Cy-3-G na 100 g sušiny, zatímco u sušených bobulí ošetřených pomocí mikrovln klesl na hodnotu $0,16 \pm 0,01$ g Cy-3-G na 100 g sušiny. Konvekční sušení při $90 \text{ }^\circ\text{C}$ vedlo k nejnižšímu obsahu monomerních antokyanů $0,03 \pm 0,01$ g Cy-3-G na 100 g sušiny. Důležitá je také teplota, která obsah monomerních antokyanů ovlivňuje. Snížení obsahu antokyanů je výraznější při teplotách sušení nad $77 \text{ }^\circ\text{C}$ (Zielinska and Michalska, 2016). Piasek et al. (2011) zjistili, že ztráta celkových antokyanů v aroniovém sirupu, který byl podroben mikrovlnné sterilaci, se pohybovala v rozmezí od 39,7 % do 59,1 %. Ztráty způsobené tepelným ošetřením při $100 \text{ }^\circ\text{C}$ se pohybovaly v rozmezí od 66,1 % do 99,8 %.

3.3.1.7 Textura

Odpařování vody a zvýšená koncentrace pevných látek během sušení změní mechanické vlastnosti dané potraviny. V pokusu s borůvkami rozsah změn závisel na režimu sušení (byl využit jak konvekční ohřev tak také mikrovlnné záření). Analýza profilu textury zahrnovala dvojnásobné stlačení vzorku a kvantifikaci mechanických vlastností jako je tvrdost, pružnost, soudržnost a žvýkatelnost. Oba způsoby sušení výrazně zvýšily tyto vlastnosti, ovšem všechny byly při mikrovlnném ohřevu několikrát menší než při ohřevu konvekčním (Zielinska and Michalska, 2016). Zielinska et al. (2015) došli ke stejným výsledkům. V jejich pokusu mikrovlnné záření výrazně snížilo tvrdost, žvýkatelnost a gumovitost. Zvýšila se soudržnost a pružnost se udržela relativně konstantní, zatímco metoda konvekčního ohřevu několikanásobně zvýšila u plodů tvrdost, žvýkatelnost a gumovitost. Bai-Ngew et al. (2011) ve svém výzkumu došli k závěru, že mikrovlnně vakuově sušené durianové kousky měly srovnatelnou strukturu s komerčními praženými kousky této komodity. Dalším zjištěním v této

studii bylo, že zvýšení úrovně výkonu mikrovln ve výši 3,88 až 5,49 W na g mělo tendenci snížit tvrdost durianových kousků.

Huang et al. (2012) posuzovali křupavost a tvrdost vysušených jablek. Nejlépe z hlediska křupavosti dopadlo sušení pomocí lyofilizace, středních hodnot dosahovalo sušení při spojení metody lyofilizace a mikrovlnného vakuového ohřevu. Nejhorší v dané studii dopadlo kombinované sušení, kdy nejprve bylo použito mikrovlnné sušení a až druhým krokem byla lyofilizace. Ovšem tvrdost byla optimální u kombinace lyofilizace a následném ošetření pomocí mikrovlnné trouby.

3.3.1.8 Povrchové praskání

Tento jev je vyvolán mikrovlnným ohřevem při velmi rychlém odpařování vlhkosti. Předpokládá se, že smršťování bobulí borůvek nebylo během ošetření jednotné a vedlo ke vzniku nevyváženého napětí. Pevnost v tahu surových bobulí byla podstatně nižší než jejich pevnost v tlaku a byly vytvořeny povrchové trhliny kvůli selhání tahu v oblasti, kde byl na výrobek aplikován stres (Zielinska et al., 2015).

3.3.1.9 Pórovitost

Contreras et al. (2005) při sušení jablečných plátků dospěli k závěru, že struktura vzorků ošetřených pomocí mikrovlnného záření byla poréznější. Tato skutečnost je u mikrovlnně sušených produktů běžná kvůli rychlému odpařování vody, ke kterému dochází účinkem teploty. Může dojít až ke kalení produktu, což znamená tvrdší vnější vrstvu na sušeném ovoci. Vzorky vysušené vzduchem nevykazovaly tyto mechanické vlastnosti, pravděpodobně kvůli mnohem nižší pórovitosti vznikající při tomto ošetření. Pórovitost borůvek při mikrovlnném ošetření se pohybovala v rozmezí 78 ± 2 % až 82 ± 1 %. Ovšem během konvekčního sušení, které vedlo k výraznému smrštění, bylo produkováno ovoce s nejnižší porézností, která se pohybovala mezi 63 ± 3 % a 70 ± 4 % (Zielinska et al., 2015). Z pokusu provedeného Andrés et al. (2004) vyplývá, že vzorky jablek sušené horkým vzduchem měly velkou porézní strukturu a buněčné stěny byly značně zmenšeny, což zanechalo větší prostory mezi sousedními buňkami. Vzorky sušené při nízkém mikrovlnném výkonu také měly porézní strukturu, ale tyto póry byly mnohem menší. Ovšem vzorek ošetřený vyšším mikrovlnným výkonem obsahoval duté centrum, které bylo makroskopicky sledovatelné. Účinek mikrovln na vytvoření porézních struktur byl potvrzen velikostí pórů u sušených durianových čipsů. Velikost pórů nad 20 μm byla zjištěna u všech kombinovaných mikrovlnných metod sušení, nikoliv však při sušení pouze

teplým vzduchem. Značná velikost pórů byla vytvořena za vysokého výkonu mikrovln a nízkého tlaku, což vedlo k vyšší frakci prázdných oblastí (Paengkanya et al., 2015).

3.3.1.10 Velikost smršťení

Kowalski et al. (2016) prováděli pokusy se sušením malin pomocí kombinace ultrazvuku a mikrovln. Smršťení potravinářského materiálu během pokusů s využitím mikrovln bylo mnohem větší než u ostatních sledovaných metod a mělo velký vliv na strukturu. Ovšem Zielinska et al. (2015) ve svém pokusu se sušením borůvek došli k závěru, že nejvíce intenzivní smršťení (až 84 ± 1 %) bylo pozorováno během konvekčního sušení, zatímco pro mikrovlnný ohřev a kombinaci obou zmíněných metod byly zaznamenány významně nižší hodnoty smršťení v rozmezí 50 ± 1 % až 72 ± 1 %. U konvekčního ohřevu se plody úplně zhutnily na pevné jádro, když byly vlhkostní gradient a vnitřní napětí uvnitř produktu nízké. Naproti tomu vysoká rychlost sušení a následné zkrácení doby sušení při mikrovlnném ošetření smršťení snižují. Smršťování vzorků kiwi bylo 85 %, 81 % a 76 % pro mikrovlnné sušení, horký vzduch a sušení pomocí kombinace horkého vzduchu a mikrovlnného záření. Smršťení bylo nejméně pozorované při kombinované metodě sušení (Maskan, 2001b). Funebo et al. (2000) popisují smršťení při sušení jablek tak, že větší mezery (až do průměru 0,5 mm) byly vytvořeny při vyšších teplotách vzduchu, zatímco při mikrovlnném ohřevu došlo k jemnějšímu oddělení buněk a následné destrukci buněčných stěn.

Při kombinované metodě vakuového mikrovlnného ohřevu je možné snížit procento smršťování, když zvýšíme mikrovlnnou energii a snížíme hladinu vakua (Maskan, 2001a; Paengkanya et al., 2015).

3.3.1.11 Rehydratační kapacita

Sušení materiálu a samotná rehydratace způsobují ve struktuře tkáně rostliny mnoho změn. Tyto změny vedou ke zhoršení konstitučních vlastností. Rehydratace proto může být považována za míru poškození materiálu, které je způsobené dehydratačním procesem (Lewicki et al., 1997; Lewicki, 1998).

Vysoká počáteční rehydratační rychlost je přínosná například pro sušené plody, které jsou součástí cereálií, a jsou často konzumovány s mlékem nebo jogurtem. V pokusech provedených na borůvkách byla rehydratační kapacita a počáteční rehydratační rychlost vyšší u metody konvekčního ošetření než u metody mikrovlnného záření. Optimálně navržená mikrovlnná trouba může produkovat sušené potraviny, jejichž kapacita rehydratace je vyšší než u produktů sušených konvekčním způsobem (zvláště díky zkrácení doby sušení a nižším

teplotám), ovšem v tomto případě byla zjištěna přítomnost tlusté a lepkavé vrstvy na povrchu sušeného ovoce, která mohla být hlavním faktorem omezujícím zisk vody během rehydratace. Nejnižší rehydratační kapacitu (ze všech použitých metod v dané studii) u borůvek ošetřených mikrovlnami lze vysvětlit skutečností, že mikrovlnná energie umožnila rychlé odpařování vody z ovoce, což vedlo k vylučování šťávy z vnitřku na povrch plodu a vznikla tak bariéra pro následné zvýšení vlhkosti plodu během rehydratace (Zielinska and Markowski, 2016). Bilbao-Sáinz et al. (2005) ve svém výzkumu se sušením kousků jablek zjistili, že pokud byla použita vyšší úroveň mikrovlnné energie, vedlo to k nižší rehydratační kapacitě, protože buněčná membrána byla pravděpodobně denaturována. Maskan (2001b) studoval vlastnosti rehydratace kiwi při sušení horkým vzduchem a za pomoci mikrovln. Plátky kiwi sušené mikrovlnami vykazovaly nižší rehydratační kapacitu, ale rychlejší absorpci vody než vzorky sušené vzduchem. De Bruijn a Bórguez (2014) ve svých výsledcích uvádějí, že otevřená, houbovitá struktura mikrovlně zahřátých jahod zlepšuje přístupnost a účinnou difuzivitu vody během rehydratace. Ke stejným výsledkům se kloní také Maskan (2000). Rehydratační poměr vzorku banánů ošetřených pomocí mikrovlnné úpravy měl nejvyšší hodnotu ze zkoumaných možností sušení (asi 79 kg absorbované vody na 100 kg sušeného vzorku). Nižší rehydratační hodnoty jsou důkazem smrštění výrobku způsobeného těžkým ohřátím nebo prodlouženým sušením, což vede k nevratným fyzikálně-chemickým změnám. Tyto změny se zdály být minimální u mikrovlně sušeného vzorku. Rehydratace byla pro jablka ošetřená mikrovlnami vyšší než pro jablka dehydrovaná pouze vzduchem. Rehydratační kapacita se u vzorků ošetřených mikrovlnami zvýšila o 25-50 % ve srovnání s jablky dehydratovanými vzduchem (Funebo et al., 2000). Rehydratace u pokusů s hroznovým vínem má vyšší hodnoty u sušení v mikrovlnné troubě než při sušení pomocí horkého vzduchu. Když ale obě metody zkombinujeme, dosáhneme nejvyšší rehydratační schopnosti (Kassem et al., 2011).

3.3.2 Vliv mikrovlnného ošetření na ořechy

Tepelné zpracování ořechů, většinou vede ke změnám ve struktuře a obsahu sacharidů, bílkovin, tuků nebo fyziologicky účinných látek, jako jsou vitamíny nebo minerální látky, v závislosti na teplotě a době úpravy. Bílkoviny a aminokyseliny mohou být denaturovány nebo rozloženy. Tuky mohou být rozloženy lipolýzou nebo oxidovány. Fyziologicky činné látky mohou být zničeny a oligosacharidy se mohou hydrolyticky rozkládat nebo karamelizovat. Všechny chemické reakce přispívají ke změně původních kvalitativních vlastností produktu, např. barvy, struktury, aroma, výživové hodnoty a trvanlivosti (Özdemir et al., 2001).

3.3.2.1 Aktivita vody a vlhkost

Ořechy s aktivitou vody (a_w) mezi 0,30 a 0,50 se považují za stabilní při skladování (Das et al., 2014b).

Jittrepotch et al. (2010) ve svém výzkumu účinků mikrovlnného záření na arašídů došli k závěru, že vlhkost ořechů se z dobou ohřevu výrazně snižuje a vysvětlují to zahřátím na teplotu varu, která způsobuje odpaření. Smith a Barringer (2014) zjistily, že surové arašídů měly obsah vlhkosti $2,90 \pm 0,18$ %. Po ošetření za pomoci horkého vzduchu poklesla hodnota na $0,43 \pm 0,03$ % a po ošetření mikrovlnným zářením hodnota poklesla na $0,53 \pm 0,01$ %. Ve studii s pražením arašídů Raigar et al. (2017) došli k závěru, že ztráta vlhkosti má tendenci se zvyšovat s delší dobou ošetření a při vyšších výkonech mikrovlnné trouby. Pomocí matematických přepočtů pak určili, že nejvyšší ztráta vlhkosti byla dosažena při době pražení 201,7 s a výkonu 896,73 W. Provedli také porovnání technologie pražení pomocí mikrovln (doba pražení: 201 s, výkon 900 W) a konvenčního bubnového pražení (doba pražení: 10 minut, teplota 140 °C). Obsah vlhkosti při využití mikrovln byl $3,18 \pm 0,03$ % a při použití konvenčního postupu $3,44 \pm 0,08$ %. Aktivitu vody a obsah vlhkosti posuzovali u kešu ořechů po ošetření mikrovlnami Das et al. (2014a). Při prodloužení doby expozice došlo k poklesu obsahu vlhkosti bez ohledu na úroveň výkonu. Po ošetření byl pozorován pokles obsahu vlhkosti ořechů z původních 2,5 % u neošetřeného vzorku na 1,97 %, 1,95 % a 1,54 % při výkonech 240, 360 a 480 W. Bylo zjištěno, že a_w byla v rozmezí od 0,37 do 0,49. Hojjati et al. (2015) ošetřovali pistácie. Hodnota a_w se snížila z 0,375 (surový vzorek) na 0,094 pro pistácie upravené v horkovzdušné troubě. Při ošetření mikrovlnným zářením se hodnota a_w pro různé intenzity pohybovala v rozmezí 0,268 - 0,166. Das et al. (2014b) při pokusech s vlašskými ořechy zjistili, že došlo k poklesu obsahu vlhkosti z 3,70 % (neošetřený vzorek) na 3,01 %, 2,61 % a 1,18 % při 240, 360 a 480 W. Aktivita vody všech vzorků byla od 0,32 do 0,45.

3.3.2.2 Antioxidační aktivita

Özcan et al. (2018) stanovovali změny antioxidační aktivity u para ořechů a lískových ořechů. U neupraveného vzorku para ořechů byla stanovena antioxidační aktivita 81,77 %. Při ošetření pomocí horkovzdušné trouby poklesla na 40,66 % a při využití mikrovlnného záření poklesla na 34,60 %. U lískových ořechů došlo také k většímu poklesu při ošetření mikrovlnami a to z 85,52 % na 76,33 %, po ošetření pomocí horkovzdušné trouby byla antioxidační kapacita 80,17 %. Aljuhaimi a Özcan (2018) měřili antioxidační kapacitu u burských ořechů. U neošetřeného vzorku byla hodnota 46,58 %. Po ošetření mikrovlnami byl zaznamenán nárůst

na hodnotu 48,57 % a při využití horkovzdušné trouby byla hodnota dokonce 49,63 %. Nárůst byl způsoben zřejmě produkty Maillardovy reakce. Pokles antioxidační aktivity u para ořechů a lískových ořechů je zřejmě zapříčiněn nižším obsahem bílkovin a sacharidů nutných pro tvorbu produktů Maillardovy reakce. Obsah bílkovin a sacharidů je u para ořechů a lískových ořechů 14,30 g a 10,50 g respektive 14,60 g a 15,80 g na 100 g, zatímco u arašídů je hodnota bílkovin 25,80 g a hodnota sacharidů 18,20 g na 100 g. Také u para ořechů a lískových ořechů je mnohem vyšší zastoupení tuků (67,30 g respektive 62,40 g na 100 g), než je tomu u arašídů (48,90 g na 100 g) (Nutriserves.cz).

3.3.2.3 Obsah fenolových sloučenin

Fenoly jsou aromatické sloučeniny, které se vyskytují téměř ve všech potravinách. Některé z nich jsou využívány jako vonné nebo chuťové látky či barviva. Velká část těchto látek také vykazuje biologické účinky, proto jsou řazeny mezi antioxidanty (Velíšek, 1999).

Özcan et al. (2018) stanovovali fenolové sloučeniny po mikrovlnném a konvenčním ošetření u para ořechů a lískových ořechů. Získané výsledky byly vyjádřeny jako ekvivalent gallové kyseliny (GAE) na 100 g sušiny. Tepelné ošetření způsobilo významný pokles celkového obsahu fenolů, jelikož nezpracované para ořechy a lískové ořechy obsahovaly $68,97 \pm 0,05$ g GAE respektive $63,83 \pm 0,02$ g GAE na 100 g sušiny a při použití konvenčního ohřevu došlo ke snížení na hodnotu $66,47 \pm 0,05$ g GAE respektive $55,53 \pm 0,02$ g GAE na 100 g sušiny. Při použití mikrovln došlo ještě k razantnějšímu poklesu fenolových sloučenin a to u para ořechů na $25,88 \pm 0,00$ g GAE na 100 g sušiny a u lískových ořechů na $46,75 \pm 0,01$ g GAE na 100 g sušiny. V tomto experimentu nestanovovali pouze celkový obsah fenolových sloučenin, ale také obsah hlavních fenolových sloučenin obsažených u obou druhů ořechů. U para ořechů byly nejvíce zastoupeny gallová kyselina, 3,4-dihydroxybenzoová kyselina a katechin. U lískových ořechů byly hlavními fenolovými sloučeninami 3,4-dihydroxybenzoová kyselina, katechin a 1,2-dihydroxybenzen. Obsah jednotlivých fenolových sloučenin je uveden v tabulce 2. Aljuhaimi a Özcan (2018) také stanovovali obsah celkových fenolových sloučenin v arašidech. U neošetřených ořechů byla hodnota $19,73 \pm 1,17$ g GAE na 100 g sušiny. Při ošetření mikrovlnami došlo k poklesu na hodnotu $15,44 \pm 1,07$ g GAE na 100 g sušiny a při využití horkovzdušné trouby bylo dosaženo po ošetření hodnoty $12,68 \pm 2,23$ g GAE na 100 g sušiny. Také tento experiment zahrnoval posouzení a stanovení hlavních fenolových sloučenin. Zde platilo, že fenolové sloučeniny u vzorků ošetřených v pečicí troubě vykazovaly nižší hodnoty než u vzorků ošetřených mikrovlnami.

Tabulka 2 – Obsahy fenolových sloučenin u lískových ořechů a para ořechů, uvedeno v mg na 100 g sušiny (Özcan et al., 2018)

Fenolová sloučenina	Para ořechy			Lískové ořechy		
	Surový vzorek	Pečicí trouba 130 °C, 20 min	Mikrovlnná trouba, 720 W, 5 min	Surový vzorek	Pečicí trouba 130 °C, 20 min	Mikrovlnná trouba, 720 W, 5 min
Gallová kyselina	5,33	5,14	3,38	4,81	2,71	2,50
3,4-dihydroxybenzoová kyselina	4,33	3,04	2,01	4,61	1,69	3,28
Katechin	4,88	3,52	3,37	6,96	4,22	5,52
1,2-dihydroxybenzen	1,67	1,24	1,70	4,14	3,55	2,56

3.3.2.4 Barva

Pražení oříšků zapříčiňuje tvorbu melanoidinových pigmentů vytvořených z aminokyselin reagujících s redukujícími cukry během Maillardovy reakce, které dávají pečeným oříškům charakteristickou barvu. Při komerčním pražení se jako primární kontrolní parametr používá barva, protože má vztah k vývoji chuti a proto se hodnoty barevných rozdílů běžně používají pro zjištění kvality pražených ořechů. Hodnota *L* (světelnost) je optimální v rozmezí od 58 do 59. Nižší hodnoty *L* znamenají tmavší barvu, zatímco vyšší hodnoty znamenají světlejší barvu. Pokud se zvyšuje doba pečení nebo teplota, zesiluje se také hnědnutí produktu. (Hojjati et al., 2013; Das et al., 2014a; Smith and Barringer, 2014).

Aby se vytvořila ideální barva arašídů, samotné pražení mikrovlnami ušetřilo čas ve srovnání s pražením za pomoci horkovzdušné trouby. Ovšem testované kombinované ošetření, nejprve za pomoci mikrovlnného záření a následného využití horkovzdušného ohřevu, zkrátilo celkovou dobu pražení a barva byla vyhovující. Problém byl zjištěn u kombinovaného ošetření s opačným postupem. Horkovzdušný ohřev před mikrovlnným ošetřením způsoboval tmavší barvu než při opačném kombinovaném postupu. Tento rozdíl může být způsoben účinkem teploty na dielektrické vlastnosti. Pečení ořechů před mikrovlnným ošetřením by zvýšilo teplotu. Zvýšená teplota by zvýšila dielektrický ztrátový faktor produktu a došlo by k větším ztrátám elektrické energie ve stejném časovém období, což by vedlo k tmavšímu zbarvení. Tato teorie může vysvětlit, proč kombinace horkovzdušné úpravy a následného ošetření

mikrovlnami měla za následek tmavší barvu než opačný postup (Smith and Barringer, 2014). Barva syrových arašídů v pokusu Jittrepotch et al. (2010) se postupně s narůstající délkou ošetření měnila na světle žlutou (2,5 min), žlutou (3,5 min) až tmavě hnědou (6,5 min). Změna barvy arašídů závisí na vytvoření polymerních sloučeniny známých jako melanoidiny. Melanoidiny jsou ve vodě nerozpustné látky tvořené prostřednictvím Maillardovy reakce. Teplota, délka ošetření, pH a obsah vlhkosti hrají hlavní roli při tvorbě těchto barevných sloučenin. Také Raigar et al. (2017) ve své studii s pražením arašídů konstatují, že delší doba pražení a vyšší výkon mikrovlnného záření urychlují neenzymatické reakce, které pak vedou k hnědému zabarvení. Stejně závěry přináší také studie Yaylayan a Kaminsky (1998). Uysal et al. (2009) zaznamenali při mikrovlnném ošetření tmavší barvu lískových oříšků, taktéž v důsledku hnědých pigmentů vzniklých prostřednictvím Maillardovy reakce. Pokud se zvyšuje mikrovlnná energie a také doba pražení, jádro oříšku je více ovlivněno mikrovlnami. Ve vnitřku jádra je vytvořeno více tepla, což vede ke zvýšení vnitřní teploty. Časový a teplotní vztah je pro Maillardovu reakci důležitý. Zvýšení teploty po delší čas vede ke zvýšení reaktivity mezi sacharidy a aminokyselinami a zapříčiňuje tak tmavší barvu produktu.

3.3.2.5 Textura

Byla hodnocena textura arašídů po ošetření mikrovlnami při vybraných kombinacích času a výkonu (lehké, 60 s/180 W; optimální, 201 s/900 W a vysoké, 300 s/900 W). U arašídů ošetřených při nízkých intenzitách byl povrch hladký, bez velkého množství pórů, s výjimkou občasných trhlin. Zvýšení výkonu mikrovlnné energie z nízkého výkonu (180 W) na vysoký výkon (900 W) změnilo texturu povrchu z hladkého na hrubý. Při lehkém pražení byl za hladší povrch zodpovědný poměrně vysoký obsah vlhkosti ořechů (Raigar et al., 2017).

3.3.2.6 Těkavé látky

Za tvorbu těkavých látek v pečených ořechích jsou zodpovědné Maillardova reakce, Streckerova degradace, karamelizace cukrů a oxidace tuků (Smith et al., 2014). Obecným trendem u pokusu Smith a Barringer (2014) bylo, že surové arašidy měly nejnižší obsah těkavých látek a se zvyšující dobou a teplotou ošetření se koncentrace většiny těkavých látek postupně zvyšovaly. Stejně výsledky přináší také Raigar et al. (2017), kteří sledovali tvorbu těkavých látek taktéž u arašídů. Se zvyšujícím výkonem mikrovln se začíná odpařovat voda, což zřejmě usnadňuje vznik mikropórů na povrchu ořechu, a tím dochází k uvolnění těkavých látek. Podobně i ve studii Hojjati et al. (2015) se uvádí, že délka, ale hlavně intenzita pražení

ovlivňují koncentraci těkavých látek. Pistácie pečené po dobu 4, 3 a 2 min při 640 W měly vyšší koncentrace těkavých látek než ořechy pražené při 480 W po dobu 4, 3 a 2 min.

Hexanal je hlavní složkou aroma ořechů. Je spojován s aktivitou alkoholdehydrogenázy a lipoxygenázy během dozrávání ořechů. Ke zvyšování hladiny této látky dochází pravděpodobně kvůli oxidaci lipidů, protože hexanal je sekundární oxidační produkt linolové kyseliny (Reed et al., 2002). U pražených arašídů bylo zjištěno, že obsah hexanalu vyšší než 7,40 μg na g (těkavá hladina 7400 ppb) je pro zákazníky nepřijatelný na základě celkových hodnot přijatelnosti (Grosso and Resurreccion, 2002). Obsah některých těkavých látek při použití různých způsobů pražení arašídů je uveden v tabulkách 3 a 4.

Etanol a metanol jsou přítomny v surových arašíděch a bylo prokázáno, že negativně ovlivňují surovou arašídovou příchut'. Etanolu je v surových vzorcích arašídů poměrně velké množství a byl určen jako nejdůležitější těkavá složka arašídové chuti (Brown et al., 1977).

Pyraziny jsou zodpovědné za praženou oříškovou vůni arašídů a také mohou zvyšovat hořkou příchut' ořechů. Jsou to těkavé heterocyklické sloučeniny obsahující dusík. Když se zvyšuje doba pečení, hladiny pyrazinů rostou (Schirack et al., 2006b). Smith a Barringer (2014) dospěly při pražení arašídů k závěru, že při použití pečicí trouby při teplotě 177 °C byla hladina pyrazinů nejvyšší a při mikrovlnném ošetření naopak nejnižší (tabulka 3 a 4). Hojjati et al. (2015) uvádějí, že intenzita procesu pražení může být posouzena právě na základě pyrazinů. V tomto výzkumu byla zjištěna souvislost mezi celkovou hodnotou koncentrace pyrazinů a intenzitou zápachu.

Oxidační nebo lepenkové příchutě jsou spojeny s obsahem nízkomolekulárních aldehydů, jako je pentanal, hexanal, oktanal a nonanal, což jsou produkty oxidace tuků (Smith et al., 2014).

Ze závěrů Smith et al. (2014) vyplývá, že methylmerkaptan měl silný dopad na aroma v pražených arašíděch. Je pravděpodobné, že tato látka vzniká při Maillardově reakci a pochází z metioninu. Dále uvádějí, že vanilin, 2,3-butandion, butanal a sirovodík byly také velmi důležité pro arašídovou chuť. Tyto těkavé látky se vytvářejí při Maillardově reakci nebo jsou produktem oxidace tuků, s výjimkou vanilinu, který je produktem hydrolyzy ligninu.

Tabulka 3 – Obsahy těkavých látek v arašídech při jednostupňových ošetření, uvedeno v ppb
(Smith and Barringer, 2014)

Těkavá látka	Surový vzorek	Mikrovlnná trouba, 30 sekund	Mikrovlnná trouba, 2 min	Mikrovlnná trouba, 3 min	Pečicí trouba, 177 °C, 5 min	Pečicí trouba, 204 °C, 5 min	Pečicí trouba, 177 °C, 15 min	Pečicí trouba, 204 °C, 10 min
Hexanal	326	142	150	228	406	188	283	182
Etanol	2254	964	954	1495	3199	1921	2971	1395
Metanol	2003	8238	7940	9925	14523	10935	20923	15175
Pyrazin	0,27	5,18	2,58	14,1	2,74	2,60	12,5	8,69

Tabulka 4 – Obsahy těkavých látek v arašídech při vícestupňových ošetření, uvedeno v ppb
(Smith and Barringer, 2014)

Těkavá látka	Surový vzorek	Pečicí trouba, 204 °C, 6 min	Mikrovlnná trouba, 1 min	Mikrovlnná trouba, 2 min	Pečicí trouba, 177 °C, 8 min
		Mikrovlnná trouba, 1 min	Pečicí trouba, 204 °C, 6 min	Pečicí trouba, 177 °C, 8 min	Mikrovlnná trouba, 2 min
Hexanal	326	105	108	124	263
Ethanol	2254	833	814	1016	1575
Metanol	2003	10452	9952	12516	14094
Pyrazin	0,27	4,09	4,77	5,58	17,1

3.3.2.7 Obsah mastných kyselin

Özcan et al. (2018) zkoumali změnu hlavních mastných kyselin po mikrovlnném a konvenčním ošetření u para ořechů a lískových ořechů. U para ořechů stanovili jako hlavní linolovou, olejovou, palmitovou a stearovou kyselinu, zatímco dominantní mastné kyseliny u lískových ořechů byly olejová kyselina, následovaná linolovou kyselinou a palmitovou kyselinou. Ohřev způsobil znatelnou změnu ve složení mastných kyselin u obou ořechů (tabulka 5). Na mastné kyseliny se zaměřili také Aljuhaimi a Özcan (2018), kteří prováděli pokusy s arašídami. Jako hlavní mastné kyseliny u těchto ořechů určili olejovou, linolovou a palmitovou kyselinu. Hodnoty po aplikaci mikrovln i po ošetření pomocí pečicí trouby jsou uvedeny v tabulce 5. Hojjati et al. (2015) sledovali změny obsahů mastných kyselin u pistácií. Nejvíce zastoupené mastné kyseliny v syrových pistáciích byly olejová (63,8 %), linolová (19,2 %) a palmitová (12,2 %) kyselina. Při využití mikrovlnného ošetření došlo k celkovému zvýšení obsahu mastných kyselin a to o 2,9 % a 4,8 % při 480 W respektive 640 W. Čím delší

byla doba ošetření mikrovlnami, tím se zvyšovalo procentuální zastoupení palmitové kyseliny a snižovalo se procentuální zastoupení linolové a olejové kyseliny. Pražení pomocí mikrovlnné trouby také způsobilo menší pokles obsahu nenasycených mastných kyselin než ošetření horkým vzduchem. Rozdíl činil 11,1 %.

Tabulka 5 – Obsahy mastných kyselin u vybraných ořechů, uvedeno v % (Özcan et al., 2018; Aljuhaimi and Özcan, 2018)

Mastná kyselina	Para ořechy			Lískové ořechy		
	Surový vzorek	Pečicí trouba 130 °C, 20 min	Mikrovlnná trouba, 720 W, 5 min	Surový vzorek	Pečicí trouba 130 °C, 20 min	Mikrovlnná trouba, 720 W, 5 min
Linolová kyselina	44,39	46,19	48,18	10,02	8,32	9,26
Olejová kyselina	31,74	31,19	27,74	80,84	82,21	80,88
Palmitová kyselina	13,51	13,09	13,70	5,57	5,69	6,22
Stearová kyselina	8,91	8,20	8,78	2,22	2,46	2,28
Mastná kyselina	Arašídy					
	Surový vzorek	Pečicí trouba 120 °C, 15 min	Mikrovlnná trouba, 900 W, 5 min			
Olejová kyselina	54,62	62,64	56,33			
Linolová kyselina	28,64	14,58	27,84			
Palmitová kyselina	8,51	12,34	8,78			

3.3.2.8 Peroxidové číslo

Hodnota peroxidového čísla (PV) se používá jako indikátor kvality tuků a olejů a ukazuje, zda došlo k jejich oxidaci (Smith et al., 2014). Hodnota PV je také ovlivňována přítomností antioxidantů a obsahem vlhkosti (Raigar et al., 2017).

Maximální hodnota PV pro arašídový olej je 10,0 meq O₂ na kg oleje, aby byla zachována přijatelná chuť. Všechny vzorky ošetřené mikrovlnným či kombinovaným zářením

vždy s využitím mikrovlnného ohřevu, měly hodnoty PV nižší než 10,0 meq O₂ na kg oleje, což značí, že vzorky měly nízké hladiny hydroperoxidů. Hodnota PV surových arašídů se významně nelišila od hodnot pražených arašídů, což naznačuje, že mikrovlnná úprava příliš neovlivňuje hodnotu PV (Smith et al., 2014). Arašídů ošetřovali také Raigar et al. (2017) a konstatují, že při vyšší mikrovlnné energii a delší době úpravy potraviny dochází k poklesu hodnoty PV. Při matematických přepočtech pak docházejí k optimální hodnotě PV při délce ošetření 202 s a výkonu 898,57 W. Provedli také porovnání technologie pražení pomocí mikrovln (doba pražení: 201 s, výkon: 900 W) a konvenčního bubnového pražení (doba pražení: 10 minut, teplota: 140 °C). Hodnota PV při využití mikrovln byla 8,52 ± 0,13 meq O₂ na kg oleje a při použití konvenčního postupu dospěli k hodnotě PV 12,35 ± 0,21 meq O₂ na kg oleje. Aljuhaimi a Özcan (2018) ošetřovali pomocí mikrovln také arašídů. U surových ořechů došli k hodnotě PV 18,63 ± 1,19 meq O₂ na kg oleje. Ošetření pomocí mikrovlnné trouby způsobilo pokles PV na hodnotu 12,50 ± 0,81 meq O₂ na kg oleje, ovšem úprava ořechů v pečicí troubě způsobila velké zvýšení na hodnotu 74,26 ± 3,71 meq O₂ na kg oleje. Bylo zjištěno, že když je hodnota PV ve vlašských ořeších menší než 3,0 meq O₂ na kg oleje, můžeme kvalitu ořechů označit za přijatelnou. Hodnota PV u neupraveného vzorku vlašských ořechů byla ve studii Das et al. (2014b) 2,89 ± 0,048 meq O₂ na kg oleje. Hodnota PV poklesla se zvýšením výkonu mikrovlnného ošetření a dobou ohřevu. Vlašské ořechy ošetřené v mikrovlnné troubě na konečnou teplotu 50-55 °C měly PV 1,35-1,42 meq O₂ na kg oleje. PV mikrovlnně ošetřených vlašských jader se zvýšilo po 6 měsících skladování při 25 °C, ale hodnota byla ještě v mezích přijatelné kvality. Zvýšení PV však naznačuje tvorbu hydroperoxidů a nástup oxidačního žluknutí. Bezprostředně po expozici mikrovlnami hodnoty PV u kešu ořechů klesly na 1,10 až 1,66 meq O₂ na kg oleje, přičemž hodnota u neošetřených arašídů byla 2,08 ± 0,05 meq O₂ na kg oleje. Bylo zjištěno, že hodnoty PV mikrovlnně upravených kešu ořechů se mírně zvyšují po 6 měsících skladování při pokojových podmínkách, avšak byly stále v přijatelných mezích (Das et al., 2014a). V experimentu s makadamovými ořechy, který provedli Silva et al. (2006) konvenčně vysušený vzorek v porovnání se vzorkem ošetřeným pomocí kombinované metody, vykazoval vyšší hodnotu PV na konci doby skladování (po dobu 180 dní při teplotě 25 ± 3 °C), což naznačuje, že kombinovaný proces sušení horkým vzduchem a mikrovlnami přispěl k menší oxidaci tuků. Při pokusu Kermani et al. (2017) se sušením pistácií pomocí mikrovln a slunečního záření, byla hodnota PV vyšší u ošetření pomocí slunečního záření. To může být způsobeno díky delší době schnutí a intenzivnějšímu vystavení vzduchu, což vede k vyšší oxidaci tuků.

3.3.2.9 Stabilita vůči žluknutí

Ořechy jsou potraviny velice bohaté na tuk a tak je jakostní stabilita ořechů během úpravy omezena především oxidačním žluknutím a lipolýzou (neboli hydrolytickým žluknutím). Oxidace tuků v pražených ořeších může negativně ovlivnit chuť. Vysoké hodnoty volných mastných kyselin (FFA), které jsou produkty hydrolytického žluknutí, mohou naznačovat nesprávné zacházení s potravinou (Smith et al., 2014). Žluknutí tuků může být způsobeno světlem, teplem, vzduchem, kontaminací kovy, mikroorganismy nebo enzymatickou aktivitou. Lipolýza a oxidační žluknutí jsou způsobeny enzymy, jako lipáza, peroxidáza a lipoxygenasa, a jsou dalším důležitým faktorem, který hraje zásadní roli při zpracování a následném skladování ořechů. Hydroperoxydy vzniklé během oxidace tuků se následně rozpadají na alkoholy, alkany, ketony a aldehydy, které mohou být zdrojem různých změn chuti. Z hlediska ochrany proti oxidaci a lipolýze tuků jsou velice důležité antioxidanty (zejména polyfenoly) (Smith and Barringer, 2014; Ling et al., 2014). Průběh oxidace má dvě odlišné fáze. V první fázi probíhá oxidace pomalou a rovnoměrnou rychlostí, fungují antioxidanty a je přítomno pouze malé množství hydroperoxidů. Tato fáze se nazývá indukční perioda. Jako druhá pak přichází rychlá fáze, kdy velké množství hydroperoxidů vyvolává tvorbu dalších radikálů a tak se rychlost oxidace zvyšuje. Při skladování potravin chceme, aby indukční perioda byla co nejdelší (Da Silva et al., 2017; Raigar et al., 2017).

Podzemnicový olej má hodnoty FFA od 0,8 % do 0,05 %. Ve studii Smith et al. (2014) při jednostupňovém mikrovlnném ošetření (po dobu 2 minut a 30 sekund) byla hodnota FFA u ošetřených arašídů 2,8 %, což nasvědčuje skutečnosti, že arašídové plísňové onemocnění může být způsobeno vlhkostí, růstem plísní nebo nesprávnou manipulací. Aljuhaimi a Özcan (2018) ve svém pokusu také s arašídami porovnávali hodnoty FFA při ošetření pomocí mikrovlnné trouby a pečicí trouby. Oproti neošetřenému vzorku ($1,26 \pm 0,04$ %) dospěli k výsledné hodnotě $0,32 \pm 0,11$ % u mikrovlnného ošetření. U ošetření horkým vzduchem se hodnota FFA výrazně zvýšila a to na $5,63 \pm 0,73$ %. Bylo zjištěno, že když je obsah FFA ve vlašských ořeších menší než 1,0 %, jedná se o přijatelnou kvalitu ořechů. Hodnota FFA u neupravených vlašských ořechů byla na počátku experimentu Das et al. (2014b) $1,08 \pm 0,037$ % a poklesla se zvýšením výkonu mikrovlnného záření a délkou ošetření. Množství FFA se u vlašských ořechů ošetřených mikrovlnami na cílové teploty 50-55 °C pohybovalo v rozmezí 0,63-0,69 %. Obsah FFA v mikrovlnně ošetřených jádrech vlašských ořechů se po 6 měsících skladování při 25 °C zvýšil, ale hodnoty byly stále v mezích přijatelné kvality. Inaktivace lipázy a také odstranění vlhkosti při delší době mikrovlnného ošetření jsou odpovědné za nižší obsah FFA u vlašských ořechů,

a tak může být prodloužena jejich skladovatelnost. Vzorky ošetřené mikrovlnným zářením je možné uchovávat po dobu 6 měsíců při pokojové teplotě bez jakéhokoli zamoření a nepříznivého vlivu na jejich kvalitu. Neošetřené vzorky vlašských ořechů byly na konci 1,5 měsíce skladování zamořeny a silně zapáchaly. Bezprostředně po expozici mikrovlnami hodnoty FFA u kešu ořechů klesly na rozmezí 0,11 % až 0,51 %, přičemž hodnota neošetřených arašídů byla $0,68 \pm 0,03$ %. Bylo zjištěno, že hodnoty FFA mikrovlnně upravených kešu ořechů se mírně zvyšují po 6 měsících skladování při pokojových podmínkách, avšak hodnoty byly v přijatelných mezích. Výrazně zvýšená hodnota FFA byla zaznamenána pouze ve vzorku, který byl ošetřen nízkou úrovní mikrovlnného výkonu (240 W) a doba expozice byla krátká (30 s). Naproti tomu čerstvé kešu ořechy byly na konci 1 měsíce skladování silně zamořeny. Ošetření mikrovlnami tedy mohlo inaktivovat enzymy odpovědné za tvorbu FFA. Došlo tak k prevenci žluknutí během skladování (Das et al., 2014a). Silva et al. (2006) konstatují, že obsah FFA v makadamových oříškách byl po ošetření mikrovlnami poměrně nízký a prakticky nezměněný během skladování po dobu 180 dní a při teplotě 25 ± 3 °C, což vede k závěru, že produkt nevykazoval žádnou hydrolytickou reakci. Stejně jako v předchozí studii i zde inaktivace enzymů (které jsou obvykle spojeny s hydrolytickými reakcemi) během mikrovlnného pražení může být zřejmě odpovědná za tento výsledek. Kermani et al. (2017) prováděli sušení pistácií pomocí mikrovln a slunečního záření. Pistácie sušené na slunci měly hodnoty FFA vyšší než mikrovlnně ošetřené vzorky.

Obecně platí, že na indukční periodu (IP) oleje nemá vliv teplota ošetření, ovšem Raigar et al. (2017) uvádějí, že u arašídů dochází při zvýšení doby pražení a mikrovlnného výkonu také k prodloužení délky IP. Tento efekt lze připsat zvýšené tvorbě produktů Maillardovy reakce, které mají antioxidační vlastnosti. Látky vznikající při Maillardově reakci jsou produkty vytvořené mezi volnými aminokyselinami a redukujícími cukry, o nichž je známo, že obsahují fenolové struktury, které mají schopnost zachytávat volné radikály. Výsledky Raigar et al. (2017) tedy ukazují, že řízené pražení při optimální době a úrovni výkonu mikrovlnné trouby může výrazně zlepšit oxidační stabilitu pražených arašídů. Pomocí matematických propočtů pak stanovili pro získání optimální IP dobou pražení 201 s a výkon mikrovlnné energie 900 W.

3.3.2.10 Chuť a aroma

Aroma a chuť, jak již vyplývá s výše uvedeného textu, velice závisí na vzniku a uvolnění těkavých látek, stupni oxidace tuků a taktéž na vlhkosti plodů. Pokud není nastavena optimální teplota a doba ohřevu, může docházet k nechtěným změnám sensorických vlastností. Při vysoké vlhkosti vzorku může při ošetření docházet k hydrolyze, což zvyšuje množství volných

aminokyselin a monosacharidů, které slouží jako prekurzory pro vývoj chuti (Schirack et al., 2007).

Schirack et al. (2006a) zkoumali možnosti odstranění slupek arašídů metodou blanšírování. Dospěli k závěru, že doba a čas expozice hrají významnou roli při posuzování chuťových vlastností ořechů. Pro odstranění slupky by teplota při ohřevu měla být vyšší než 110 °C. Je také zapotřebí více času při samotném ošetření. Ovšem z hlediska chuťových a aromatických vlastností ořechů by byla vhodná kratší doba ošetření, při které by teplota plodů nepřesáhla 110 °C. Nejlépe by tedy vyšla krátkodobá úprava, při níž vnitřní teplota arašídů bude okolo hodnoty 110 °C, aby nedošlo ke zhoršení sensorických vlastností, ale bylo by možné dobře odstranit slupky ořechů. Na chuti tepelně upravených arašídů se podílí více než 200 aromatických látek. Maillardova reakce, oxidace tuků a produkty tepelné degradace živin jsou dominantní ve vztahu k chuťovým vlastnostem. Vady chuti (jako zatuchlá, květinová či popelová chuť) jsou spojeny se zvýšenou koncentrací fenylacetaldehydu, guajakolu a 2,6-dimethylpyrazinu. Zvýšené a nepříznivé úrovně těchto sloučenin mohou být vytvořeny při Maillardově reakci a tepelné degradaci živin při vysokých teplotách dosažených během mikrovlnného ošetření. Pro dosažení optimální chuti jsou lepší nižší teploty a kratší doba ošetření (Schirack et al., 2006b). Ve výzkumu s pražením arašídů pomocí mikrovln Jittreptch et al. (2010) došli k závěru, že vzorky ošetřené po dobu delší než 4,5 minuty vykazovaly aroma pražených fazolí.

3.3.3 Vliv mikrovlnného ošetření na mák

Vliv mikrovlnného záření na kvalitu máku není na základě dostupné literatury jasný, ovšem díky podobnému složení, jako mají ořechy, se dají očekávat podobné výsledky. Přesto je však v této oblasti zapotřebí dalšího výzkumu, také vzhledem k tomu, že Česká republika patří v pěstování této pochutiny k největším producentům na světě.

4 Závěr

Na základě literární rešerše zaměřené na posouzení vlivu mikrovlnného záření na kvalitu suchých skořápkových plodů, máku a sušeného ovoce lze souhlasit s hypotézou, že při ošetření pomocí mikrovln dochází ke změnám sensorických vlastností, složení a stability vůči žluknutí, a že rozsah změn v potravinovém materiálu závisí na intenzitě ošetření a době expozice.

V porovnání s jinými druhy ošetření lze pomocí mikrovlnného ohřevu dosáhnout v mnoha směrech vyšší kvality takto ošetřené potraviny. Zejména proto, že při mikrovlnném ohřevu není potravinový materiál vystaven ošetření tak dlouho, jako při konvenčním ošetření. Mikrovlnné ošetření také přináší větší úsporu energie, zkrácení doby zpracování a snížení provozních nákladů. Na druhou stranu hlavním problémem u této metody je nerovnoměrnost ohřevu. Prozatím není možné tomuto jevu zcela zabránit, pouze ho zmírnit. Pro překonání nedostatků je vhodné mikrovlnný ohřev kombinovat s jiným typem ošetření pro dosažení lepších kvalitativních parametrů dané komodity.

Do budoucího výzkumu je třeba stanovit vhodnou dobu expozice a intenzitu ošetření pro jednotlivé potravinové materiály. Důležité je složení daného potravinového materiálu a záleží také na tloušťce ošetřované vrstvy. Dále je zde prostor pro výzkum vlivu ošetření na mák, neboť experimentů v této problematice nebylo realizováno mnoho. Lze předpokládat, že vliv mikrovln na mák bude korespondovat s vlivem ošetření mikrovlnami na ořechy na základě podobného složení těchto potravin.

5 Seznam použité literatury

- Aguilar-Reynosa, A., Romani, A., M. Rodríguez-Jasso, R., Aguilar, C. N., Garrote, G., Ruiz, H. A. 2017. Microwave heating processing as alternative of pretreatment in second-generation biorefinery: An overview. *Energy Conversion and Management*. 136. 50-65.
- Aljuhaimi, F., Özcan, M. M. 2018. Influence of oven and microwave roasting on bioproperties, phenolic compounds, fatty acid composition, and mineral contents of nongerminated peanut and germinated peanut kernel and oils. *Journal of Food Processing and Preservation*. 42 (2). e13462.
- Andrés, A., Bilbao, C., Fito, P. 2004. Drying kinetics of apple cylinders under combined hot air – microwave dehydration. *Journal of Food Engineering*. 63 (1). 71-78.
- Bai-Ngew, S., Therdthai, N., Dhamvithee, P. 2011. Characterization of microwave vacuum-dried durian chips. *Journal of Food Engineering*. 104 (1). 114-122.
- Balbay, A., Şahin, Ö. 2013. Drying of pistachios by using a microwave assisted dryer. *Acta Scientiarum. Technology*. 35 (2). 263-269.
- Bilbao-Sáinz, C., Andrés, A., Fito, P. 2005. Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions. *Journal of Food Engineering*. 68 (3). 369-376.
- Bórquez, R. M., Canales, E. R., Redon, J. P. 2010. Osmotic dehydration of raspberries with vacuum pretreatment followed by microwave-vacuum drying. *Journal of Food Engineering*. 99 (2). 121-127.
- Bradshaw, S. M., Van Wyk, E. J., de Swardt, J. B. 1998. Microwave heating principles and the application to the regeneration of granular activated carbon. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 98 (4). 971-975.
- Brown, M. L., Wadsworth, J. I., Dupuy, H. P., Mazingo, R. W. 1977. Correlation of Volatile Components of Raw Peanuts With Flavor Score. *Peanut Science*. 4 (2). 54-56.
- Ciarmiello, L. F., Piccirillo, P., Gerardi, C., Piro, F., Luca, A. D., D'Imperio, F., Rosito, V., Poltronieri, P., Santino, A. 2013. Microwave Irradiation for Dry-Roasting of Hazelnuts and Evaluation of Microwave Treatment on Hazelnuts Peeling and Fatty Acid Oxidation. *Journal of Food Research*. 2 (3). 22-35.

- Contreras, C., Martín-Esparza, M. E., Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N. 2008. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*. 88 (1). 55-64.
- Contreras, C., Martín, M. E., Martínez-Navarrete, N., Chiralt, A. 2005. Effect of vacuum impregnation and microwave application on structural changes which occurred during air-drying of apple. *LWT - Food Science and Technology*. 38 (5). 471-477.
- Český statistický úřad (Spotřeba potravin – 2016) [online]. 2018 [cit. 2018-17-03]. Dostupné z <<https://www.czso.cz/documents/10180/45565376/2701391703g.pdf/8f3a9c3f-e4e5-4b11-ab08-d7629ece4112?version=1.2>>.
- Da Silva, W. L. G., Salomão, A. A., Vila, M. M. D. C., Tubino, M. 2017. Influence of Water and Ultraviolet Irradiation on the Induction Period of the Oxidation of Biodiesel. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 28 (4). 676-680.
- Das, I., Shah, N. G., Kumar, G. 2014a. Cashew Nut Quality as Influenced by Microwave Heating Used for Stored Grain Insect Control. *International Journal of Food Science*. 2014. 1-7.
- Das, I., Shah, N. G., Kumar, G. 2014b. Properties of walnut influenced by short time microwave treatment for disinfestation of insect infestation. *Journal of Stored Products Research*. 59. 152-157.
- Datta, A. K., Ni, H. 2002. Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture. *Journal of Food Engineering*. 51 (4). 355-364.
- De Bruijn, J., Bórquez, R. 2014. Quality retention in strawberries dried by emerging dehydration methods. *Food Research International*. 63. 42-48.
- Ekezie, F. G. C., Sun, D. W., Han, Z., Cheng, J. H. 2017. Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology*. 67. 58-69.
- Erle, U., Schubert, H. 2001. Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *Journal of Food Engineering*. 49 (2-3). 193-199.
- Funebo, T., Ahrné, L., Kidman, S., Langton, M., Skjöldebrand, C. 2000. Microwave heat treatment of apple before air dehydration – effects on physical properties and microstructure. *Journal of Food Engineering*. 46 (3). 173-182.

- Grosso, N. R., Resurreccion, A. V. A. 2002. Predicting Consumer Acceptance Ratings of Cracker-coated and Roasted Peanuts from Descriptive Analysis and Hexanal Measurements. *Journal of Food Science*. 67 (4). 1530-1537.
- Guo, Q., Sun, D. W., Cheng, J. H., Han, Z. 2017. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 67. 236-247.
- Hazervazifeh, A., Moghaddam, P. A., Nikbakht, A. M. 2017. Microwave dehydration of apple fruit: Investigation of drying efficiency and energy costs. *Journal of Food Process Engineering*. 40 (3). e12463.
- Hojjati, M., Calín-Sánchez, Á., Razavi, S. H., Carbonell-Barrachina, Á. A. 2013. Effect of roasting on colour and volatile composition of pistachios (*Pistacia vera* L.). *International Journal of Food Science & Technology*. 48 (2). 437-443.
- Hojjati, M., Noguera-Artiaga, L., Wojdyło, A., Carbonell-Barrachina, Á. A. 2015. Effects of microwave roasting on physicochemical properties of pistachios (*Pistacia vera* L.). *Food Science and Biotechnology*. 24 (6). 1995-2001.
- Huang, L., Zhang, M., Wang, L., Mujumdar, A. S., Sun, D. 2012. Influence of combination drying methods on composition, texture, aroma and microstructure of apple slices. *LWT - Food Science and Technology*. 47 (1). 183-188.
- Chandrasekaran, S., Ramanathan, S., Basak, T. 2013. Microwave food processing — A review. *Food Research International*. 52 (1). 243-261.
- Cheyrier, V. 2005. Polyphenols in food are more complex than often thought. *American Journal of Clinical Nutrition*. 81 (1). 223-229.
- Chong, C. H., Law, C. L., Figiel, A., Wojdyło, A., Oziembłowski, M. 2013. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chemistry*. 141 (4). 3889-3896.
- Chou, S. K., Chua, K. J. 2001. New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*. 12 (10). 359-369.
- Jittrepotch, N., Kongbangkerd, T., Rojsuntornkitti, K. 2010. Influence of microwave irradiation on lipid oxidation and acceptance in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds. *International Food Research Journal*. 17. 173-179.

- Karatas, F., Kamyşlı, F. 2007. Variations of vitamins (A, C and E) and MDA in apricots dried in IR and microwave. *Journal of Food Engineering*. 78 (2). 662-668.
- Kassem, A. S., Shokr, A. Z., El-Mahdy, A. R., Aboukarima, A. M., Hamed, E. Y. 2011. Comparison of drying characteristics of Thompson seedless grapes using combined microwave oven and hot air drying. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 10 (1). 33-40.
- Kermani, A. M., Khashehchi, M., Kouravand, S., Sadeghi, A. 2017. Effects of intermittent microwave drying on quality characteristics of pistachio nuts. *Drying Technology*. 35 (9). 1108-1116.
- Kim, J. E., Oh, Y. J., Won, M. Y., Lee, K. S., Min, S. C. 2017. Microbial decontamination of onion powder using microwave-powered cold plasma treatments. *Food Microbiology*. 62. 112-123.
- Kouchakzadeh, A., Shafeei, S. 2010. Modeling of microwave-convective drying of pistachios. *Energy Conversion and Management*. 51 (10). 2012-2015.
- Kowalski, S. J., Pawłowski, A., Szadzińska, J., Łechtańska, J., Stasiak, M. 2016. High power airborne ultrasound assist in combined drying of raspberries. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 34. 225-233.
- Kutina, J. (eds.). 1975. Řepka, hořčice, mák a slunečnice. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 358 s.
- Lewicki, P. P. 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering*. 36 (1). 81-87.
- Lewicki, P. P., Witrowa-Rajchert, D., Mariak, J. 1997. Changes of structure during rehydration of dried apples. *Journal of Food Engineering*. 32 (4). 347-350.
- Lina, T. M., D. Durance, T., Scaman, C. H. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International*. 31 (2). 111-117.
- Ling, B., Hou, L., Li, R., Wang, S. 2014. Thermal treatment and storage condition effects on walnut paste quality associated with enzyme inactivation. *LWT - Food Science and Technology*. 59 (2). 786-793.
- Maskan, M. 2001b. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 48 (2). 177-182.

- Maskan, M. 2001a. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*. 48 (2). 169-175.
- Maskan, M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*. 44 (2). 71-78.
- Nguyen, L. T., Choi, W., Lee, S. H., Jun, S. 2013. Exploring the heating patterns of multiphase foods in a continuous flow, simultaneous microwave and ohmic combination heater. *Journal of Food Engineering*. 116 (1). 65-71.
- Nott, K. 1999. Advances in temperature validation of foods. *Trends in Food Science & Technology*. 10 (11). 366-374.
- Nutriservis [online]. 2017 [cit. 2017-25-11]. Dostupné z <<http://www.nutriservis.cz/cs/>>.
- Orsat, V., Yang, W., Changrue, V., Raghavan, G. S. V. 2007. Microwave-Assisted Drying of Biomaterials. *Food and Bioproducts Processing*. 85 (3). 255-263.
- Özcan, M. M., Juhaimi, F. A., Uslu, N. 2018. The effect of heat treatment on phenolic compounds and fatty acid composition of Brazilian nut and hazelnut. *Journal of Food Science and Technology*. 55 (1). 376-380.
- Özdemir, M., Açıktur, F., Yıldız, M., Biringen, G., Gürcan, T., Löker, M. 2001. Effect of roasting on some nutrients of hazelnuts (*Corylus Avellana* L.). *Food Chemistry*. 73 (2). 185-190.
- Özdemir, M., Devres, O. 2000. Kinetics of color changes of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*. 44 (1). 31-38.
- Paengkanya, S., Soponronnarit, S., Nathakarakankule, A. 2015. Application of microwaves for drying of durian chips. *Food and Bioproducts Processing*. 96. 1-11.
- Pánek, J., Dostálová, J., Kohout, P. 2002. *Základy výživy*. Svoboda Servis. Praha. 206 s. ISBN: 80-86320-23-5.
- Patel, J. H., Sutar, P. P. 2016. Acceleration of mass transfer rates in osmotic dehydration of elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*) applying pulsed-microwave-vacuum. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 36. 201-211.

- Piasek, A., Kuszniereicz, B., Grzybowska, I., Malinowska-Pańczyk, E., Piekarska, A., Azqueta, A., Collins, A. R., Namieśnik, J., Bartoszek, A. 2011. The influence of sterilization with EnbioJet® Microwave Flow Pasteurizer on composition and bioactivity of aronia and blue-berried honeysuckle juices. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24 (6). 880-888.
- Raigar, R. K., Upadhyay, R., Mishra, H. N. 2017. Optimization of microwave roasting of peanuts and evaluation of its physicochemical and sensory attributes. *Journal of Food Science and Technology*. 54 (7). 2145-2155.
- Reed, K. A., Sims, C. A., Gorbet, D. W., O'Keefe, S. F. 2002. Storage water activity affects flavor fade in high and normal oleic peanuts. *Food Research International*. 35 (8). 769-774.
- Rothbauer, M. 1985. Mikrovlnné polovodičové součástky a jejich použití. Státní nakladatelství technické literatury. Praha. 384 s. Polovodičová technika.
- Schirack, A. V., Drake, M., Sanders, T. H., Sandeep, K. P. 2006a. Impact of microwave blanching on the flavor of roasted peanuts. *Journal of Sensory Studies*. 21 (4). 428-440.
- Schirack, A. V., Drake, M., Sanders, T. H., Sandeep, K. P. 2006b. Characterization of Aroma-Active Compounds in Microwave Blanched Peanuts. *Journal of Food Science*. 71 (9). 513-520.
- Schirack, A. V., Sanders, T. H., Sandeep, K. P. 2007. Effect of processing parameters on the temperature and moisture content of microwave-blanched peanuts. *Journal of Food Process Engineering*. 30 (2). 225-240.
- Silva, F. A., Marsaioli, A., Maximo, G. J., Silva, M. A. A. P., Gonçalves, L. A. G. 2006. Microwave assisted drying of macadamia nuts. *Journal of Food Engineering*. 77 (3). 550-558.
- Smith, A. L., Barringer, S. A. 2014. Color and Volatile Analysis of Peanuts Roasted Using Oven and Microwave Technologies. *Journal of Food Science*. 79 (10). 1895-1906.
- Smith, A. L., Perry, J. J., Marshall, J. A., Yousef, A. E., Barringer, S. A. 2014. Oven, Microwave, and Combination Roasting of Peanuts: Comparison of Inactivation of Salmonella Surrogate Enterococcus faecium, Color, Volatiles, Flavor, and Lipid Oxidation. *Journal of Food Science*. 79 (8). 1584-1594.

- Sosa-Morales, M. E., Valerio-Junco, L., López-Malo, A., García, H. S. 2010. Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st Century and their potential applications. *LWT - Food Science and Technology*. 43 (8). 1169-1179.
- Szántó, L. 2012. *Maxwellovy rovnice*. 2. vyd. BEN - technická literatura. Praha. 124 s. ISBN: 978-80-7300-450-7.
- Torrington, E., Esveld, E., Scheewe, I., van den Berg, R., Bartels, P. 2001. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. *Journal of Food Engineering*. 49 (2-3). 185-191.
- Uysal, N., Sumnu, G., Sahin, S. 2009. Optimization of microwave–infrared roasting of hazelnut. *Journal of Food Engineering*. 90 (2). 255-261.
- Vadivambal, R., Jayas, D. S. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products — a review. *Biosystems Engineering*. 98 (1). 1-16.
- Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A., Achariyaviriya, S. 2007. Combined microwave-hot air drying of peeled longan. *Journal of Food Engineering*. 81 (2). 459-468.
- Velišek, J. 1999. *Chemie potravin*. OSSIS. Tábor. 328 s. ISBN: 80-902391-2-9.
- Vrba, J. 2001. *Aplikace mikrovlnné techniky*. České vysoké učení technické. Praha. 147 s. ISBN: 8001022943.
- Wang, J., Sheng, K. 2006. Far-infrared and microwave drying of peach. *LWT - Food Science and Technology*. 39 (3). 247-255.
- Yaylayan, V. A., Kaminsky, E. 1998. Isolation and structural analysis of maillard polymers: caramel and melanoidin formation in glycine/glucose model system. *Food Chemistry*. 63 (1). 25-31.
- Yin, C. 2012. Microwave-assisted pyrolysis of biomass for liquid biofuels production. *Bioresource Technology*. 120. 273-284.
- Zarein, M., Samadi, S. H., Ghobadian, B. 2015. Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 14 (1). 41-47.

- Zhang, M., Chen, H., Mujumdar, A. S., Tang, J., Miao, S., Wang, Y. 2017. Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 57 (6). 1239-1255.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S., Wang, S. 2006. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*. 17 (10). 524-534.
- Zielinska, M., Markowski, M. 2016. The influence of microwave-assisted drying techniques on the rehydration behavior of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry*. 196. 1188-1196.
- Zielinska, M., Michalska, A. 2016. Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*. 212. 671-680.
- Zielinska, M., Sadowski, P., Błaszczak, W. 2015. Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *LWT - Food Science and Technology*. 62 (1). 555-563.