

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



**Vliv ošetření mikrovlnným zářením na dezinfekci hmyzu
v ořeších a sušeném ovoci**

Bakalářská práce

Autor práce: Marika Aronová

Obor studia: ATZD

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

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv ošetření mikrovlnným zářením na dezinfekci hmyzu v ořeších a sušeném ovoci" 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 20. 4. 2017

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Lence Kouřimské, Ph.D za odbornou pomoc a konzultace s ní spojené. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za podporu během studia.

Vliv ošetření mikrovlnným zářením na dezinfekci hmyzu v ořeších a sušeném ovoci

Souhrn

Při obchodu a skladování ořechů a sušeného ovoce je nevyhnutelné setkání s hmyzími škůdci, pro které využíváme různé dezinfekční prostředky. Metody jsou různé a jednou z nich je použití tepla, v tomto případě je zdrojem tepla mikrovlnná energie. Mikrovlny jsou složkou elektromagnetického záření, mají frekvenční rozptyl 300 MHz – 300 GHz a jejich zdrojem je magnetron. Výhodou použití mikrovln je rychlost, energetická výhodnost a vznik tepla od jádra suroviny. Při použití v potravinářství je výhodou lepší zachování barvy a chuti v porovnání s konvenčním ohřevem a jako způsob dezinfekce jsou mikrovlny oproti chemickému ošetření bezreziduální metoda. Nevýhodou je omezená prostupnost materiálem a nerovnoměrný ohřev-

Mezi hlavní potravinové škůdce z říše hmyzu patří brouci a především motýli jako je zavíječ paprikový (*Plodia interpunctella* Hübner) nebo obaleč jablečný (*Cydia pomonella* L.). Tito škůdci mají vývojová stádia a v rámci stádií instary, přičemž v každé fázi vývoje jsou jinak citliví na ošetření. Nejrezistentnějším stádiem jsou vajíčka, nejcitlivější jsou dospělci. Ve studiích potvrdil vliv mikrovlnného záření vysokou míru mortality a z části i omezení reprodukční schopnosti přeživších. Vlivem nerovnoměrného ohřevu není v rámci ošetření dosaženo celoplošně letální teploty, proto je potřeba použít i jiné prostředky hubení, jako je horký vzduch nebo skladování v chladu po ošetření, což proces dezinfekce finančně prodražuje.

Další ekonomickou nevýhodou tepelné dezinfekce je snížení obsahu vody, tedy i hmotnosti ošetřovaného materiálu. U ošetření horkým vzduchem klesá aktivita vody, což zabraňuje mikrobiálnímu rozvoji, ovšem u mikrovlnného ohřevu není snížení aktivity tak významné. Vliv mikrovln na ořechy způsobuje další změny, například ve složení lipidů, která mohou vést k prodloužení trvanlivosti.

Klíčová slova: Mikrovlnné ošetření, dezinfekce, mortalita hmyzu, ořechy, sušené ovoce.

The effect of microwave treatment on disinfestation of insects in nuts and dried fruit

Summary

During trading and storing nuts and dried fruit coming into contact with insect pests is inevitable therefore we use various disinfectants. There is a diverse scale of methods. Heat application is one them, in this case the source of heat is a microwave oven. Microwaves are part of electromagnetic radiation with frequency range 300 MHz – 300 GHz and magnetron source. The main advantage of microwaves is the speed, energetic convenience and the heat formed in the core of the material. The main benefit for the food industry compared to conventional heating is better preserving of colour and taste. Microwaves is non-residual method of disinfestation compared to chemical treatment. The disadvantage of this process is limited material permeability and non-uniform heating.

As main food insect pests are considered beetles and particularly butterflies e.g. Indian mealmoth (*Plodia interpunctella* Hübner) or Codling moth (*Cydia pomonella* L.). These insect pests go through different developmental stages, which includes instar stages, whereas their susceptibility to the treatment differs in each stage. The most resistant are eggs on the other hand adults are the most susceptible. Studies confirmed the effect of microwaves on mortality and it also has an impact on the reproductive capacity of survivors. Due to non-uniform heating it is not possible to reach the lethal temperature all over, for that reason it is necessary to use other forms of pests control e.g. hot air or cold storage after the treatment, which leads to increasing price of the process.

Another economic disadvantage of the heat disinfestation is the reduced moisture content and consequently reduced weight. During hot air treatment the moisture activity decreases but during microwave treatment the water activity decrease is not that significant. The impact of microwaves also cause other changes e. g. the structure of lipids which leads to extended durability.

Keywords: Microwave treatment, disinfestation, insect mortality, nuts, dried fruit.

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 7 |
| 2 | Cíl práce | 8 |
| 3 | Literární rešerše..... | 9 |
| 3.1 | Fyzikální podstata mikrovlnného záření | 9 |
| 3.1.1 | Elektromagnetické vlnění | 9 |
| 3.1.2 | Mikrovlnný ohřev | 10 |
| 3.1.3 | Pozitiva a negativa mikrovlnného ohřevu..... | 12 |
| 3.2 | Potravinová a hygieničtí škůdci | 12 |
| 3.2.1 | Přehled škůdců v suchých plodech a sušeném ovoci..... | 13 |
| 3.2.2 | Metody hubení škůdců..... | 15 |
| 3.3 | Dezinsekce suchých plodů mikrovlnným zářením..... | 16 |
| 3.3.1 | Nerovnoměrný přenos tepla..... | 16 |
| 3.3.2 | Určení teplot při ošetření | 16 |
| 3.3.3 | Průmyslové využití v praxi | 17 |
| 3.3.4 | Mortalita hmyzu po ošetření | 18 |
| 3.3.5 | Vliv ošetření na komodity..... | 19 |
| 4 | Materiál a metody | 22 |
| 4.1 | Materiál | 22 |
| 4.2 | Metodika..... | 22 |
| 4.2.1 | Mikrovlnné ošetření | 22 |
| 4.2.2 | Pozorování vzorků | 24 |
| 5 | Výsledky | 26 |
| 5.1 | Pokus č. 1 - mandle | 26 |
| 5.2 | Pokus č. 2 – lískové ořechy..... | 26 |
| 5.3 | Pokus č. 3 - moruše | 26 |
| 6 | Diskuze..... | 27 |
| 7 | Závěr | 28 |
| 8 | Seznam použité literatury..... | 29 |

1 Úvod

Ořechy a suché plody jsou významnou položkou ve stravování člověka a to zejména díky vysokému obsahu polyenových mastných kyselin. Ovšem jejich produkce podléhá mnoha problémům, které navyšují cenu komodity, a ta se pak stává méně dostupnou. Velkým problémem jsou skladištní škůdci, zejména hmyz. Hlavními škůdci jsou motýli a brouci. Napadení hmyzem komodu znehodnotí, přítomnost škůdce je pro zákazníka nepřijatelná, přestože by potravina zůstala zdravotně nezávadná.

Je používáno několik metod předcházení či hubení hmyzu například mechanická, chemická nebo tepelná dezinfekce. Tato práce se zabývá dezinfekcí teplem, přičemž je jako tepelný zdroj použita mikrovlnná energie. Ošetření mikrovlnným ohřevem by mělo snížit náklady na dezinfekci. Kromě toho oproti konvenčním způsobům ohřívá komodu od jádra, kde se mohou nacházet vývojová stadia hmyzu a díky tomu zkrátit dobu ošetření.

Na druhou stranu je u této metody problém nerovnoměrného ohřevu, při kterém minimální bodové teploty nedosahují nad hodnoty letální pro hmyz. Prozatím není možné tomuto jevu zcela zabránit, pouze ho zmírnit.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je v teoretické části zpracování literární rešerše zaměřené na vliv mikrovlnného záření na hygienizaci (dezinfekci) suchých skořápkových plodů a sušeného ovoce. Pozornost byla věnována vlivu stupně expozice na účinnost hygienizace. Diskutován byl i vliv tohoto ošetření na kvalitativní parametry ošetřené potraviny. V praktické části byl sledován vliv mikrovlnného záření na hygienizaci napadených vzorků – účinnost ošetření na různá vývojová stádia hmyzích škůdců.

3 Literární řešerše

3.1 Fyzikální podstata mikrovlnného záření

Mikrovlny jsou vysokofrekvenční složkou elektromagnetického vlnění ve frekvenčním intervalu 30-0,3 GHz, který odpovídá vlnovým délkám $\lambda=0,1\text{mm}-1\text{ m}$ (Vrba, 2003).

3.1.1 Elektromagnetické vlnění

Elektromagnetické vlnění je vzniklé působením elektrického a magnetického pole. Pokud zde je elektrické pole, je tu i pole magnetické a naopak. Jestliže je známé jedno z nich, druhé je možné dopočítat. Jsou spojeny soustavou Maxwellových rovnic (Vander Vorst et al., 2006). Pokud jsou zdrojem elektrického pole elektrické náboje, které se nepohybují (tj. nedochází k elektrickému proudu), nevzniká magnetické pole. Takové pole nazýváme jako elektrostatické.

Maxwellovy rovnice jsou zobecněním Faradayových zákonů a je možné je definovat v integrálním tvaru, kdy popisují elektromagnetické pole v prostoru, anebo v diferenciálním tvaru, kdy ho popisují v určitém bodě tohoto prostoru. První Maxwellova rovnice představuje zobecněný Amperův zákon. Druhá Maxwellova rovnice je též Faradayův indukční zákon. Třetí Maxwellovou rovnicí je Gaussova věta. Čtvrtou rovnicí představuje zákon kontinuity magnetického indukčního toku (Mayer, 2012).

V živých tkáních je elektromagnetický jev obvykle pomalý, nejrychlejší biologická odpověď je v řádu 10^{-4} s, přičemž většina biologických reakcí je pomalejší. Proto z většiny případů nejsou Maxwellovy rovnice vhodné k vyhodnocování biologických účinků na živé tkáně a systémy (Vander Vorst et al., 2006).

Elektromagnetické vlnění Maxwell sice předpověděl, ale v praxi jej potvrdil až Hertz v roce 1887. Vlnění je především spojeno s přenosem energie a přestane-li zdroj energii dodávat, vlnění zanikne. Energie se v homogenním izotropním prostředí přenáší konstantní rychlostí. Při elektromagnetickém vlnění zůstávají hmotné částice v klidu, mění se směr a velikost elektromagnetického pole v jednotlivých bodech prostoru.

Vznikne-li v nevodivém izotropním prostředí vzruch, je od zdroje šířen všemi směry, pokud se jedná o harmonické kmitání, při kterém se v každém bodu prostoru

elektromagnetické pole mění sinusově, tak se intenzita vlnění v jednotlivých bodech prostoru sčítá vektorově (Myslík, 1998).

Když uvažujeme interakci mezi elektromagnetickou energií a látkou, jsou nejdůležitější dielektrické vlastnosti materiálu, permitivita a ztrátový činitel. Permitivita materiálu může být v časově proměnném elektrickém poli vyjádřena jako komplexní permitivita, která má dvě složky – reálnou a imaginární. Reálná složka vyjadřuje schopnost materiálu v sobě uchovávat energii magnetického pole. Imaginární složka popisuje šíření elektrické energie v materiálu přeměnou elektrické energie na teplo. Tento jev je obecně označován jako dielektrický ohřev nebo mikrovlnný ohřev.

Komplexní permitivita ve vakuu je definovaná rovnicí:

$$\epsilon_k = \epsilon' - j\epsilon'',$$

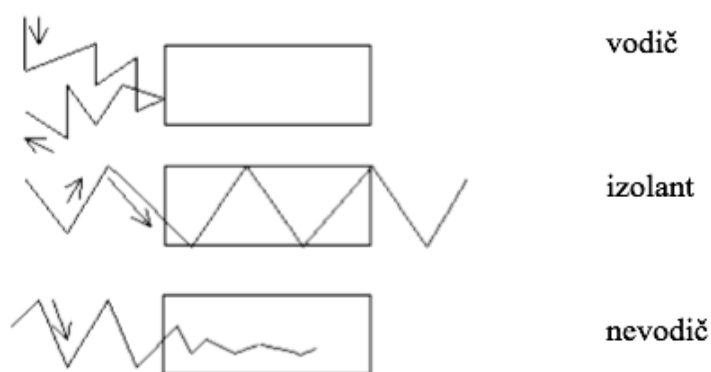
kde ϵ' představuje reálnou složku, relativní permeabilitu, j označuje komplexní operátor $\sqrt{-1}$, ϵ'' představuje imaginární složku, ztrátové číslo. Ztrátový činitel - $\text{tg}\delta$, je považován za index energetického rozptylu či ztráty v materiálu při expozici mikrovlnného pole. Je definován rovnicí:

$$\text{tg}\delta = \epsilon''/\epsilon' \quad (\text{Nelson, 1996}).$$

3.1.2 Mikrovlnný ohřev

Způsob, jakým je materiál zahříván mikrovlnami, závisí na jeho formě, velikosti a dielektrické konstantě. Dielektrický ohřev je způsoben přeměnou ztrátové energie elektromagnetického pole na energii tepelnou, což probíhá u polárních materiálů, které mají nerovnoměrné rozložení elektrických nábojů. Když se takový materiál stane předmětem proměnlivého elektromagnetického pole, dipóly nejsou schopny následovat tak rychlé změny. Výsledkem tohoto fázového zpoždění je rozptýlení energie v materiálu (Bradshaw et al., 1998). Vhodným příkladem je molekula vody, ve které se nacházejí kovalentní vazby, díky kterým má dipolární charakter. Voda je typickým případem nesymetrické molekuly (Kelly et al., 1995). Narušení elektronového obalu v blízkosti nepolární molekuly nebo atomu v přítomnosti vnějšího elektrického pole může indukovat dočasný pohyb dipólů. Tento pohyb generuje tření uvnitř nevodiče a energie je přeměněna na teplo.

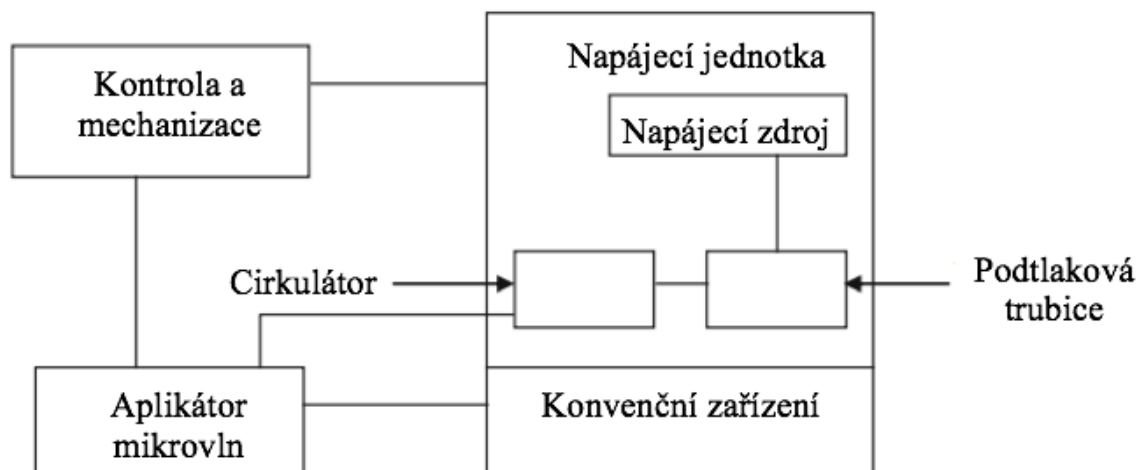
Interakcí nevodivých materiálů s elektromagnetickým vlněním v rozsahu mikrovln je energetická absorpce. Schopnost materiálu absorbovat energii v mikrovlnném lumenou souvisí se poklesem tangenty daného materiálu (Jones et al., 2002).



Obrázek 1: Mikrovlnná absorpce charakteristická pro vodič, izolant a absorbující materiál (Jones et al., 2002), upraveno.

Mikrovlny jsou odraženy kovy, naopak elektricky neutrální materiály jako je sklo, plast, papír a keramika je přenáší, elektricky nabitě materiály je absorbují (Mullin, 1995).

Jako generátory mikrovln se používají magnetrony, které mohou být nastaveny na kontinuální, nebo pulzující režim. V kontinuálním režimu je energie dodávána nepřetržitě a v konstantní energetické úrovni. Během pulzujícího režimu energie kolísá on-off způsobem. Mikrovlny vysoké intenzity jsou produkovány po dobu několika mikrosekund či milisekund. Průmyslový mikrovlnný ohřev má tři hlavní komponenty (Obr. 2). První složkou je napájecí zdroj, kde jsou pomocí magnetronu generovány mikrovlny o požadované frekvenci. Druhou složku tvoří aplikátor, kde je materiál vystaven intenzivnímu mikrovlnnému poli, také se zde připojuje kterékoliv přídatné zařízení, jako jsou čerpadla pro provoz za mírného podtlaku, vstříky par nebo horkého vzduchu. Aplikátor často tvoří poslední část konvenčního procesoru. Další hlavní složkou je řídicí obvod, který pomáhá optimalizovat a regulovat celkový výkon mikrovlnného zařízení. Magnetronové trubice jsou primárně používány ke generování mikrovlnné síly (Yadav et al., 2014).



Obrázek 2: Systém mikrovlnného ohřevu (Yadav et al., 2014), upraveno.

3.1.3 Pozitiva a negativa mikrovlnného ohřevu

Mikrovlny mají potenciál dodat rychle a energeticky výhodně teplo. Jsou aplikovány především ve zpracování potravin, vysoušení dřeva, zpracování plastu a gumy a také vypalování keramiky (Jacob et al., 1995). Mikrovlnný ohřev je v porovnání s konvenční přípravou rychlejší. Konvenční ohřev spoléhá na převod tepla pomocí kondukce a proudění z tepelného zdroje do produktu, což trvá delší čas. Kdežto mikrovlnný ohřev má potenciál odevzdat teplo okamžitě skrze produkt, díky objemovému vzniku tepla (Mullin, 1995).

Kromě rychlosti ohřevu a ekonomické úspory se může mezi benefity řadit lepší kvalita produkce, nové materiály a výrobky. Při vhodné aplikaci znalostí a kontrole může být mnoho technicky významných materiálů ohříváno rychleji, levněji, rovnoměrněji a selektivně oproti možnostem konvenčních metod. Například přesušení povrchu při ošetřování vnitřní části (Clark et al., 2000).

Potraviny ohřáté mikrovlnami mají v porovnání s konvenčními metodami lépe zachovanou barvu, texturu i chuť, ovšem mikrovlnný ohřev je spojen s mnoha problémy, jako je nerovnoměrný ohřev, vznik přepálených míst a omezená prostupnost materiálem. Takto může zapříčinit nekompletní mikrobiální zničení (Nguyen et al., 2013).

3.2 Potravinová a hygieničtí škůdci

V produkci a obchodě s ořechy a sušenými plody je velkým problémem znehodnocení škůdci. Ať už je produkce ze středomoří, Afriky, Austrálie či Kalifornie, hlavní druhy škůdců

jsou stejné. Jsou přenášeny obchodními cestami již několik stovek let. Ztráty zapříčiněné hmyzími škůdci jsou těžko odhadnutelné. Úbytky na váze požerem jsou zanedbatelné, hlavní ztráty jsou kvůli znehodnocení vzhledu a kvality, což snižuje nebo úplně ničí prodejní hodnotu. Kromě toho je přítomnost hmyzu v produktu pro zákazníka znechucující (Simmons et Nelson, 1975).

Přestože náhodná konzumace mrtvého hmyzu zpravidla u zdravého dospělého člověka nezpůsobí závažné zdravotní komplikace, bylo v některých případech doloženo, že konzumace roztočů a živých larev hmyzu vyvolala klinické příznaky jako je horečka, bolest břicha, zvracení (Stejskal et Kocian, 1998).

3.2.1 Přehled škůdců v suchých plodech a sušeném ovoci

V této práci jsou předmětem zkoumání hmyzí škůdci v suchých plodech (ořechy, podzemnice, kopra) a sušeném ovoci. Kromě hmyzu jsou významnými škůdci těchto plodin roztoči nebo také hlodavci. V tabulce č. 1 je znázorněn přehled nejvýznamnějších hmyzích škůdců a jejich projevy v těchto komoditách.

Tabulka č. 1: Přehled poškození a škůdců sušených plodů a ovoce

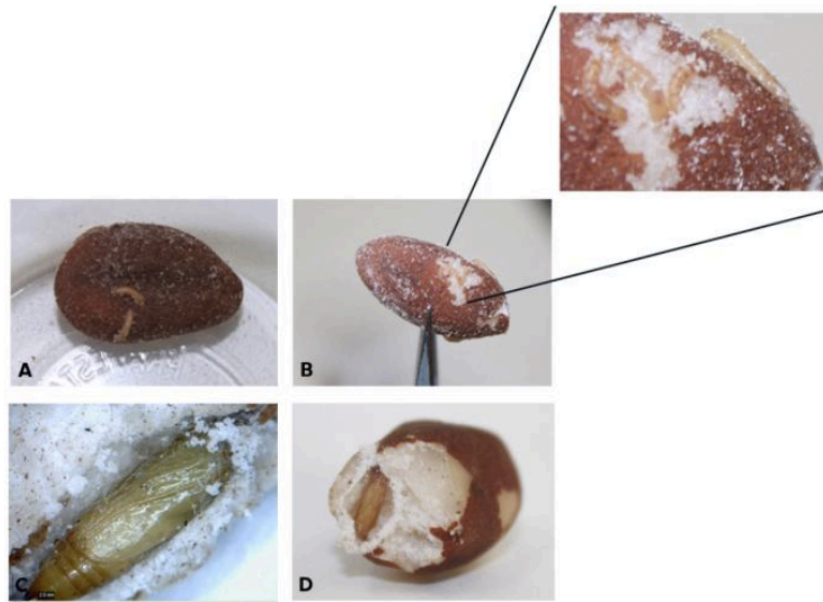
| Projevy | Sušené plody | Sušené ovoce |
|--|---|---|
| Kulaté otvory, červivost | Červotoč tabákový a spíží, kůrovec | Červotoči, vrtavci a větevníček kávový |
| Nepravidelný požer, zámotky s trusem, červivost | Zavíječ paprikový, skladištní, datlový, fíkový a hrozinkový, makadlovky | Zavíječ paprikový, skladištní, datlový a oříškový, makadlovky |
| Nepravidelný požer, bez zámotků | Potemníci, lesáci, paličníci, kožojedi, rušníci, pisivky | Potemníci, lesáci, paličníci, kožojedi, rušníci, pisivky |

Ovšem tyto zástupci, zejména zavíječi, makadlovky a červotoči, jsou typičtí pro většinu suchých produktů (<24 %).

Brouci

Nejčastějšími konzumenty suchých potravin jsou brouci a motýli. Co se brouků týče, mezi nejzávažnější a nejčastější škůdci potravin ve skladech a domácnostech jsou potemníci, lesáci, kožojedi a červotoči. Členíme je do tří skupin podle jejich vzhledu a zvyklostí. První skupinou jsou vegetariáni, vyvíjí se výlučně uvnitř celých semen. V druhé skupině jsou brouci s nevyhraněným jídelníčkem. Nejnebezpečnějším zástupcem je potemník skladištní. Poznává

se podle specifického zápachu, při požití pálí na jazyku. Potemník vylučuje karcinogenní látky. Dalšími významnými škůdci v této skupině jsou červotoči, jejichž přítomnost v potravinách se pozná podle kokonů a kulatých výletových dírek. Do třetí skupiny patří plísňožraví brouci, např. hlodíci. Tato skupina není sama o sobě nebezpečná, ale indikuje výskyt plísní.



Obrázek 3: Škody způsobené larvou potemníka na para ořechu po 24 hodinách - A a B. Kukla potemníka uvnitř para ořechu - C a D (Pires et al., 2017).

Motýli

Významnou skupinou vyvíjející se v potravinách jsou motýli. Dospělí jedinci se neživí tuhou potravou, škodnými jsou na suchých potravinách pouze housenky, ty se odlišují od larev brouků přítomností panožek na zadečku. Nejběžnějšími škodnými zástupci jsou zavíječi: zavíječ paprikový, skladištní, moučný, aj., makadlovka semenová (Stejskal et Kocian, 1998).

Zavíječ paprikový (*Plodia interpunctella* Hübner, 1813)

Plodia interpunctella je ekonomicky nejvýznamnější škodný hmyz v prodáváných produktech. Vyskytuje se na všech kontinentech vyjímaje Antarktidu. První obsáhlá vědecká studie o *P. interpunctella* byla převzatá od Hamlin et al. (1931), kteří ho kategorizovali jako škůdce obilnin, ovoce, sladkostí a více než 20 druhů ořechů. Také popsali ekonomické důsledky zamoření ve vráceném znehodnoceném zboží.

Larva kontinuálně obtáčí hedvábnou síť zevnitř na povrch potraviny a krmí se uvnitř této sítě. V síti jsou také její exkrementy, které způsobují nepříjemný zápach napadené komodity. Zamoření zavíječem přímo zapříčiňuje ztráty znehodnocením produktu, ale také nepřímo ekonomické náklady cenou monitoringu, ochrany před škůdci, zhoršením kvality a také stížnostmi zákazníků (Mohandass et al., 2007).

Wang et Tang (2001) jako významného škůdce ořechů uvádějí obaleče jablečného (*Cydia pomonella* Linné, 1758). V jejich studii byl předmětem desinsekce mikrovlnným zářením u vlašských ořechů.

3.2.2 Metody hubení škůdců

Soubor metod a prostředků, které jsou určeny k hubení hmyzu, se označuje jako dezinfekce. Jedním ze způsobů je mechanické odstranění škůdců, které se může provádět přebráním substrátu, prosetím, omytím a kartáčováním potravin nebo vyplavením. Biologické způsoby, použití feromonů, použití záření ke sterilizaci samců nebo za použití chemických prostředků. Chemické způsoby jsou velmi efektivní, ale jsou toxické a mohou zanechávat v ošetřené komoditě rezidua (Stejskal et al., 1993).

Metody fyzikální jako je dlouhodobé skladování v chladu (pod 10 °C) zabrání hmyzu ve vývoji. Ovšem samotný chlad škůdce nezahubí, to až mrazy (od -10 až -20 °C) zahubí škůdce v řádech hodin až dní, záleží na druhu a stádiu. Oproti tomu vysoká teplota v troubě, průtokové peci nebo termostatu dokáže spolehlivě zničit škůdce uvnitř potravin. Teplota je ovšem limitující, protože může dojít ke změně kvality potraviny a obalu. Jako dostačující jsou používány teploty v rozmezí 48 až 55 °C, při době expozice v řádu minut až hodin. Problémem je, že musí dojít k přímému působení na škůdce, pokud je izolován, nemusí při krátké době působení dojít k proniknutí tepla a škůdce přežije. Tomu se zabraňuje rozvrstvením substrátu (Stejskal et Kocian, 1998).

Soderstrom et al. (1996) uvádí, že při ošetření o teplotě 39 °C s délkou expozice okolo 730 hodin je dosažen stupeň karanténní bezpečnosti, při kterém je u hmyzu 99,9968% mortalita. Ovšem příliš dlouhá expozice zapříčiňuje poškození komodity jako je změna barvy, měknutí nebo tvorbu dolíčků (Lurie, 1998), také dlouhodobé zahřívání není v praxi možné aplikovat pro průmyslové účely. Proto je snaha dosáhnout stejné úrovně mortality za kratší čas pomocí mikrovlnného ošetření (Wang et Tang, 2001).

3.3 Dezinfekce suchých plodů mikrovlnným zářením

Elektromagnetická energie je pro hubení hmyzu v komoditách předmětem studií už mnoho let. Počáteční zkoumání bylo pro použití radiofrekvenčních vln pro hubení škůdců v zrninách a ořechách (Frings, 1952). Novější studie demonstrovaly možnosti užití 2450 MHz mikrovln ke zničení larev červotoče, kdy larvy byly ohřívány na 52-53 °C po dobu kratší než 3 minuty (Andreuccetti et al., 1994). Nelson (1996) shrnuje více než pět dekad výzkumu citlivosti různých druhů hmyzu v zrninách na radiofrekvenční a mikrovlnné ošetření.

3.3.1 Nerovnoměrný přenos tepla

Ošetření mikrovlnami zabije hmyz uvnitř i zvenčí, také ovlivní reprodukční schopnosti přeživších. Ovšem nerovnoměrná distribuce tepla v ošetřovaném materiálu je limitující pro rozšíření této metody (Vadivambal et Jayas, 2007). Tato nerovnoměrná distribuce závisí na mnoha faktorech, jako jsou konstrukce a rozměry mikrovlnné trouby, konfigurace a síla magnetronu, hloubka a dielektrické vlastnosti ošetřovaného materiálu. Dielektrické vlastnosti také závisí na užití mikrovlnné frekvence a na složení, vlhkosti a teplotě materiálu. Také jejich vlastnosti ovlivňuje hustota materiálu, protože odlišné množství hmoty má odlišné interakce s elektromagnetickým polem. Proto je přenos tepla odlišný produkt od produktu, zařízení od zařízení (Kelen et al., 2006) a ošetření od ošetření. Výsledkem nerovnoměrného mikrovlnného ohřevu jsou horká a studená místa, mezi kterými jsou významné teplotní rozdíly. Vadivambal et Jayas (2010) ve své studii prokázali, že je široké spektrum možností, jak je teplo při mikrovlnném ohřevu přenášeno, a teplotní rozdíly nastanou neohledně na materiál.

Nerovnoměrná distribuce tepla může být pouze redukována, nikoli eliminována. Možnosti jsou například zintenzivnění rotačního pohybu, redukce mikrovlnné energie nebo přidání horkého vzduchu (Kelen et al., 2006). Snížení výkonu mikrovln prodlouží čas ošetření, přidání horkého vzduchu zvyšuje komplexnost ošetření, ale i jeho cenu. Shayesteh et Barthakur (1996) uvádějí, že přerušované mikrovlnné ošetření může snížit nerovnoměrnost a je efektivnější při hubení hmyzu než souvislé ozáření.

3.3.2 Určení teplot při ošetření

Experimentální hodnoty pro různé komodity a druhy hmyzu jsou základním poznatkem pro použití mikrovlnného ošetření, výsledky pokusů jsou velmi důležité pro ověření simulačních modelů. Porovnáním simulačních metod, laboratorních experimentů

použití mikrovlnných systémů zabere mnoho času k získání jednotlivé informace a je obtížné zopakování stejných vnějších podmínek. Čisté a systematické porozumění mikrovlnnému ošetření se může opírat pouze o teoretická řešení (Fleischman, 1999). Na druhou stranu, vyvíjení procedur pro mikrovlnné ohřívací systémy může vést k efektivnímu technickému přístupu s cílem optimalizovat konstrukční parametry na základě předpovědi elektrických a magnetických polí a přenosu tepla v daných komoditách.

Maxwellovy rovnice jsou obvykle použity k určení tří komponent elektromagnetického pole. Navier-Stokesovy rovnice jsou s úspěchem používány ke stanovení teploty a rozložení plynné složky v trojrozměrné sféře, založené na zachování hmoty a energie. Do teď byly na několika místech v ošetření nacházeny velké rozdíly mezi naměřenými hodnotami teplot a jejich predikcí. K vyřešení tohoto problému by v první řadě měla být ověřena pokusná data dielektrických vlastností komodit a geometrické definice simulovaného prostředí a jeho okolí. Nejdůležitější je efektivní zkombinování Maxwellových a Navier-Stokesových rovnic. Využitím vysoce vyspělými výpočetními vybaveními mohou nasimulované modely pomoci navrhnout mikrovlnné procedury v praxi (Wang et Tang, 2001).

3.3.3 Průmyslové využití v praxi

Laboratorní a pilotní mikrovlnné testy jsou základem pro vývoj protokolů ošetření. Nejvhodnější informace mohou být snadno používány při experimentech v malém měřítku, nicméně tato etapa výzkumu může být v úzké spolupráci s ořechovým odvětvím a vybavením výrobců. Je důležité přenést laboratorní výzkum do velkoplošného průmyslového zrealizování. Rychlé mikrovlnné ošetření může být navrženo jako kontinuálně běžící proces pro velké množství produktů během krátkého časového úseku. Jelikož je množství ořechů limitující dosažením rychlosti ohřevu podle projektovaného výkonu pro oscilátory, je potřeba brát v úvahu tloušťku vrstvy ořechů.

Zavedené komerční mikrovlnné operace pro sušení textilu a dřeva by mohly být rozšířeny o hubení hmyzu v ořeších. Ve Spojených státech amerických bylo instalováno přes čtyři sta průmyslových kontinuálních výrobních linek, taková technologie může sloužit jako základ pro návrh a trvalý provoz s dopravníkovými pásy pro přepravu několika vrstev produktů mikrovlnnou dutinou. Jelikož je specifická tepelná kapacita pro ořechy malá (okolo $2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), tato energetická podmínka pro ohřev těchto produktů z prostoru o teplotě $55 \text{ }^\circ\text{C}$ by byla relativně malá ($0.025 \text{ kW h} \cdot \text{kg}^{-1}$). Typické mikrovlnné systémy mají

celkovou energetickou výkonost od 60 do 80 %. Energetická výkonost může být zvýšená využitím odpadního tepla z generátorů k souběžně probíhajícímu ohřevu ořechů za účelem plošného hubení škůdců na vnějším povrchu skořápky. Je tedy možné v průmyslu umožnit hubení hmyzu v ořechách, které bude účinné, rychlé a šetrné k životnímu prostředí (Wang et Tang, 2001).

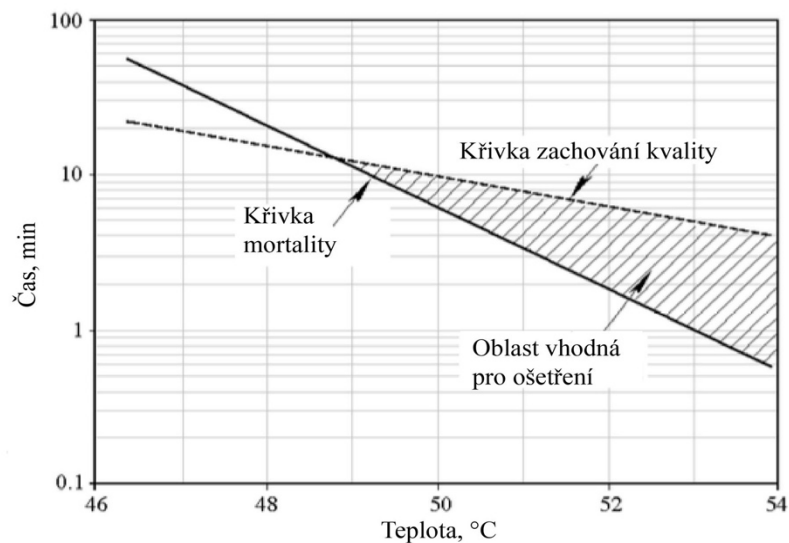
3.3.4 Mortalita hmyzu po ošetření

Nelson (1974) uvádí, že citlivost na ošetření mikrovlnami závisí nejen na druhu, ale především na vývojovém stádiu hmyzu. Obecně jsou citlivější dospělci, oproti nevyvinutým stádiím jako je stádium vajíčka, larvy a kukly. U některých druhů skladištních škůdců se ukázalo, že jsou citlivější na ošetření mimo jádro zrniny nežli uvnitř. Ve studii Nelson (1996) uvádí, že mortalita hmyzu po ošetření, je výsledek vnitřního ohřevu v těle. Pokusy s dospělci prokázaly, že přeživší byli schopni reprodukce (Whitney et al., 1961), ačkoli více kritické subletální ošetření zredukovalo mnoho potomstva. Studie s menšími hmyzími druhy uvedly, že reprodukce byla snížena, pokud bylo u dospělců dosaženo 50% mortality (Nelson, 1996).

Ikediala et al. (1999) ve své studii sledovali mortalitu hmyzu v ovoci po ošetření mikrovlnami. Infikovány byly třešně třetím instarem larvy obaleče jablečného v poměru 1:1. Napadené třešně byly skladovány při pokojové teplotě (23 °C), poté byly ošetřovány v otáčivé dutině mikrovlnného zařízení (915 MHz) do dosažení teploty v jádře 45, 50 a 55 °C, drženy po dobu 2 minut, poté 5 minut chlazeny. Ošetření bylo v každé teplotní úrovni zopakováno dvakrát až pětkrát. Výkon zařízení byl nastaven na 1 kW. U poloviny vzorků byla k metodě desinsekce mikrovlnným ohřevem přidána metoda skladování v chladu, která měla znesnadnit zotavení přeživších. Mortalita hmyzu byla v rozmezí 14–62 % u nekombinovaného ošetření a v rozmezí 47–98 % u skladování v chladu po dobu 1–2 dny. Procento mortality se zvyšovalo s rostoucí teplotou a dobou následného skladování v chladu.

Ve své studii Jian et al. (2015) zkoumali vliv mikrovlnného ošetření pšenice při zamoření lesákem moučným (*Cryptolestes ferrugineus* Stephens, 1831). Pro experiment bylo mikrovlnné zařízení nastaveno na frekvenci 2,45 GHz a na výkon 1,1 kW, měnily se pouze časy 30, 60 a 90 sekund. Více než 20 % dospělců a larev bylo vyhnáno ošetřením do 60 s. Po více než 60 s mikrovlnného ošetření a následného prosetí bylo vypuzeno nebo usmrceno 100 % dospělců a ≥ 99 % larev. Nebyl zjištěn výrazný rozdíl mezi přerušovaným a kontinuálním ohřevem, ani vliv vlhkosti zrna. Výsledkem bylo, že 30 s ošetření je

nedostačující. Dále byla sledována schopnost reprodukce přeživších vajíček a larev (dospělci byli separováni). Mikrovlnné ošetření v této studii nezapříčinilo 100% mortalitu hmyzu, ovšem počet jejich potomstva byl významně snížen ($> 75\%$). Jiná studie uvádí $< 100\%$ mortalitu u larev v pšenici při 90 s ošetření a maximální teplotě 88 °C. Maximální teplota je vyšší než je pro hmyz letální, ovšem minimální teplota tuto hranici letálnosti nepřekročila (Fields, 1992).



Graf 1: Oblast času a teploty vhodná pro ošetření získaná ze studie (Wang et Tang, 2001), upraveno.

3.3.5 Vliv ošetření na komodity

Snížení vlhkosti a aktivity vody

Das et al. (2014) ve svém pokusu, ve kterém byla ošetřována jádra vlašských ořechů, zjistili, že s navyšující hodnotou času expozice (v rozsahu 30 až 240 s) se snižoval obsah vlhkosti v materiálu. Původní vlhkost jader byla $3,7 \pm 0,2\%$ a po ošetření o výkonu 240, 360 a 480 W se hodnota snížila na 3,01 %, 2,61 % a 1,18 % vlhkosti. Aktivita vody byla 0,32 až 0,45, přičemž nebyl značný rozdíl mezi měřeními. Změny aktivity vody při ošetření pistácií se výrazně lišily. Z původní hodnoty surového materiálu 0,375 u pistácií ošetřených horkým vzduchem se aktivita vody snížila na 0,094. Oproti tomu u vzorků ošetřených mikrovlnným ohřevem se hodnoty pohybovaly v rozmezí 0,268 až 0,166 (Hojjati et al., 2015).

Změny barvy

Z analýzy rozptylu je zřejmá přímá úměra výkonu mikrovlnného záření a doby expozice na změnu barvy. Celkově vliv ošetření ořechy výrazně ztmavil. Změna barvy se dá vyjádřit rovnicí:

$$C_{ch} = 0,936 + 0,0118 P + 0,0528 T - 0,000063 * P * T$$

Kde C_{ch} představuje změnu barvy (colour change), P je výkon (power level) ve wattch a T je čas (time) v sekundách. Kladné hodnoty výkonu a času ukazují, že změna barvy se stoupá s narůstající hodnotou těchto proměnných (Das et al., 2014). Obecně výzkumy prokázaly ztmavnutí potravin vlivem mikrovlnného záření například Hojjati et al. (2015), ve kterém byly ošetřovány pistácie nebo Sharma et Prasad (2006), ve kterém vlivem mikrovln změnila stroužky česneku barvu do hněda.

Vliv ošetření na lipidy

Vlašské ořechy obsahují značné množství polyenových mastných kyselin, které snadno podléhají oxidaci a hydrolytickému štěpení, což způsobuje vznik nežádoucích těkavých sloučenin, vady chuti a zkrácení expirační lhůty komodity. Do chemické analýzy hodnotící oxidační a hydrolytické štěpení patří peroxidové číslo (stupeň žluklosti tuku) a číslo kyselosti (obsah volných mastných kyselin). Je uváděno, že vlašská jádra přijatelné kvality mají mít peroxidové číslo menší než 3,0 mEq O_2 /kg tuku a číslo kyselosti menší než 1,0 % (Buransompob et al., 2003). Ve výzkumu Das et al. (2006) měla neošetřená vlašská jádra podstatně vyšší peroxidové číslo i číslo kyselosti než jádra ošetřená. Peroxidové číslo bylo sníženo na 1,42 mEq O_2 /kg (z počáteční hodnoty $2,89 \pm 0,048$) a číslo kyselosti na 0,63–0,69 % (z $1,08 \pm 0,037$). V tabulce č. 2 jsou zaznamenány hodnoty po ošetření a následné zvýšení po šesti měsících skladování při teplotě 25 °C.

Naopak Hojjati et al. (2015) se ve své studii vlivu mikrovlnného ošetření pistácií věnují změně zastoupení konkrétních mastných kyselin jako olejová, linoleová nebo palmitová kyselina, které byly v neexponovaných pistáciích nejvíce procentuálně zastoupeny. Po ošetření horkým vzduchem a mikrovlnami po dobu čtyř minut se zastoupení kyselin změnilo na olejová >> palmitová > linoleová. Ošetření horkým vzduchem mělo nežádoucí vliv na výrazné snížení obsahu nenasycených mastných kyselin, z původních 85,8 % na 74,7 %. Ovšem u mikrovlnného ohřevu nebylo snížení těchto výživově významných kyselin tak výrazné (z 85,0 % na 77,7 %).

Tabulka č. 2: Analýza lipidů vlašských ořechů po ošetření a po 6 měsících skladování (Das et al., 2014), upraveno.

| Vzorek | Výkon (W) | Doba expozice (s) | Peroxidové číslo | | Číslo kyselosti | |
|--------|-----------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | | Ihned po ošetření | Po 6 měsících | Ihned po ošetření | Po 6 měsících |
| 1 | 240 | 30 | 1,51 | 1,61 | | 0,91 |
| 2 | | 60 | 1,50 | 1,56 | 0,77 | 0,84 |
| 3 | | 90 | 1,42 | 1,45 | 0,69 | 0,73 |
| 4 | | 120 | 1,27 | 1,37 | 0,61 | 0,66 |
| 5 | | 180 | 1,24 | 1,28 | 0,53 | 0,59 |
| 6 | | 240 | 1,21 | 1,25 | 0,53 | 0,57 |
| 7 | 360 | 30 | 1,43 | 1,54 | 0,78 | 0,86 |
| 8 | | 60 | 1,42 | 1,49 | 0,64 | 0,79 |
| 9 | | 90 | 1,30 | 1,39 | 0,54 | 0,66 |
| 10 | | 120 | 1,27 | 1,34 | 0,47 | 0,54 |
| 11 | | 180 | 1,21 | 1,26 | 0,41 | 0,48 |
| 12 | | 240 | 1,17 | 1,22 | 0,42 | 0,44 |
| 13 | 480 | 30 | 1,35 | 1,43 | 0,63 | 0,70 |
| 14 | | 60 | 1,37 | 1,40 | 0,50 | 0,58 |
| 15 | | 90 | 1,30 | 1,35 | 0,46 | 0,51 |
| 16 | | 120 | 1,23 | 1,27 | 0,39 | 0,46 |
| 17 | | 180 | 1,15 | 1,17 | 0,36 | 0,39 |
| 18 | | 240 | 1,13 | 1,14 | 0,30 | 0,33 |

4 Materiál a metody

4.1 Materiál

Materiál pro bakalářskou práci zajistila firma IBK Trade. Pro první a druhý pokus provedený 22. 4. 2016 byly použity vzorky loupaných mandlí, které byly napadené zavíječem paprikovým (*Plodia interpunctella*) a jader lískových ořechů napadených larvami. Ve třetím pokusném ošetřování, provedeném 26. 8. 2016, byl použit vzorek moruše sušené, napadené *P. interpunctella*.

4.2 Metodika

Výzkum zahrnoval dvě fáze, a to samotné ošetření a fázi pozorování, která probíhala po dobu pěti týdnů od mikrovlnného ošetření.

4.2.1 Mikrovlnné ošetření

Ošetření mikrovlnným ohřevem vzorků firmy IBK Trade zajistila na svojí laboratorní experimentální lince firma RoMill.

4.2.1.1 Pokusy provedené 22. 4. 2016

Pokus číslo 1.1 byl na vzorku loupaných mandlí napadených zavíječem. Vzorek byl ošetřen mikrovlnným zářením o frekvenci 6,27 Hz při výkonu 4 kW po dobu 50 s a rychlost pohybu pásu byla 1 cm/s, přičemž byla termokamerou naměřena maximální teplota 144 °C, termočlánkem na okrajích byly naměřeny hodnoty 67 °C a 87 °C. Byly sledovány hmotnostní ztráty vzorků vzniklé jejich ošetřením (tabulka č. 3).

Tabulka č. 3: Hmotnostní ztráty u pokusu č. 1

| Číslo misky | Hmotnost vzorku před (g) | Hmotnost vzorku po (g) | Hmotnost po vychladnutí (g) | % po ošetření | % po ošetření a vychladnutí |
|---------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| 1 | 1107,6 | 1104,2 | 1102,6 | 99,69 | 99,55 |
| 2 | 1167,8 | 1162,4 | 1160,4 | 99,54 | 99,37 |
| 3 | 1118,8 | 1112,6 | 1110,6 | 99,45 | 99,27 |
| Průměr | | | | 99,56 | 99,39 |

Pro pokus číslo 2.1- 2.3 byl zvolen vzorek jader lískových ořechů napadených larvami. Při pokusu 2.1 byl vzorek ošetřen mikrovlnným zářením (6,27 Hz) o výkonu 4,2 kW po dobu 60 s. Maximální teploty naměřeny termokamerou byly 138, 140 a 142 °C. Na okrajích 71,8 a 59,3 °C. Hmotnostní ztráty zaznamenány v tabulce č. 4.

Tabulka č. 4: Hmotnostní ztráty pokusu č. 2.1.

| Číslo misky | Hmotnost vzorku před (g) | Hmotnost vzorku po (g) | Hmotnost po vychladnutí (g) | % po ošetření | % po ošetření a vychladnutí |
|-------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| 1 | 1076,0 | 1058,4 | 1054,6 | 98,36 | 98,01 |
| 2 | 1202,4 | 1172,4 | 1166,2 | 97,50 | 96,99 |
| 3 | 1152,2 | 1143,8 | 1137,8 | 99,27 | 98,75 |
| Průměr | | | | 98,38 | 97,92 |

Vzorek pokusu 2.2 byl ošetřen při výkonu 1,5 kW po dobu 60 s. Termokamerou byly naměřeny maximální teploty 99,4 a 94,4 °C. Na okrajích termočlánkem teplota 42 °C. Hmotnostní ztráty zaznamenány v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5: Hmotnostní ztráty pokusu č. 2.2.

| Číslo misky | Hmotnost vzorku před (g) | Hmotnost vzorku po (g) | Hmotnost po vychladnutí (g) | % po ošetření | % po ošetření a vychladnutí |
|-------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| 1 | 990,4 | 987,2 | 983,6 | 99,68 | 99,31 |
| 2 | 1004,0 | 1001,2 | 1040,8 | 99,72 | 99,40 |
| 3 | 1047,2 | 1044,2 | 1007,5 | 99,71 | 99,39 |
| Průměr | | | | 99,70 | 99,37 |

Při pokusu 2.3 byl vzorek lískových ořechů vystaven po dobu 60 s mikrovlnnému záření o výkonu 1,2 kW. Maximální teplota naměřená termokamerou byla 80,7 °C, na okrajích 44 °C. Tabulka č. 6 zachycuje hmotnostní ztráty. U všech pokusů byl k dalšímu postupu použit vzorek z prostřední misky, aby se co nejvíce eliminoval efekt nerovnoměrnosti mikrovlnného ošetření

Tabulka č. 6: Hmotnostní ztráty v pokusu č. 2.3.

| Číslo misky | Hmotnost vzorku před (g) | Hmotnost vzorku po (g) | Hmotnost po vychladnutí (g) | % po ošetření | % po ošetření a vychladnutí |
|-------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| 1 | 1050,2 | 1046,8 | 1043,8 | 99,70 | 99,4 |
| 2 | 1101,8 | 1100,2 | 1098,8 | 99,90 | 99,7 |
| 3 | 1108,0 | 1106,4 | 1102,2 | 99,90 | 99,5 |
| Průměr | | | | 99,83 | 99,5 |

4.2.1.2 Pokus provedený 26. 8. 2016

K pokusu číslo 3.1 byla vzorkem sušená moruše napadena zavíječem. Vzorek byl ošetřen mikrovlnným zářením s frekvenčním měničem 6,27 Hz. Doba ošetření byla 50 s o výkonu 2,5 kW. Při experimentu byly sledovány hmotnostní ztráty, které jsou zaznamenané v tabulce č. 7.

Tabulka č. 7: Hmotnostní ztráty v pokusu č. 3.1.

| Číslo misky | Hmotnost vzorku před (g) | Hmotnost vzorku po (g) | Úbytek (g) | % po ošetření |
|-------------|--------------------------|------------------------|-------------|---------------|
| 1 | 600,8 | 585,6 | 15,2 | 97,5 |
| 2 | 600,4 | 587,0 | 13,4 | 97,8 |
| 3 | 600,6 | 580,4 | 20,2 | 96,6 |
| Průměr | | | 16,3 | 97,3 |

Pro experiment byl odebrán vzorek z prostřední misky.

4.2.2 Pozorování vzorků

U všech zkoumaných vzorků byly vyseparovány mrtvé larvy, pouze u pokusu 2.3, který byl nejšetnější, některé vyseparované larvy jevíly známky života.

Předpokladem výzkumu bylo, že v ošetřených vzorcích budou zahubeny larvy škůdců a tím zamezeno opětovnému zamoření. K prokázání výsledků bylo třeba jak ošetřené,

tak neošetřené vzorky rozdělit a izolovat. Dále následovalo pozorování propukání životního cyklu škodného hmyzu v separovaných vzorcích. Tato fáze probíhala po dobu pěti týdnů.

4.2.2.1 Příprava vzorků z pokusů provedených 22. 4. 2016

Z každého pokusu bylo vyseparováno 20 vzorků po jednom kusu mandle či lískového jádra, a to 20 vzorků z ošetřeného a 20 z neošetřeného preparátu. Každý vzorek byl izolován ve skleněné zkumavce a uzavřen gumovou zátkou. Zkumavky byly umístěny do stojanů s příslušným označením: neošetřené mandle 1.0, ošetřené mandle 1.1, neošetřená lísková jádra 2.0 a ošetřená lísková jádra dle stupně ošetření 2.1-2.3. Takto označené stojany byly umístěny na polostinném stanovišti při pokojové teplotě po dobu pěti týdnů.



Obrázek 4: Založené pokusy č. 1 a 2 k pozorování
(foto autorka).

4.2.2.2 Příprava vzorků z pokusu provedeného 26. 8. 2016

Z ošetřeného i neošetřeného preparátu bylo vyseparováno po třiceti vzorcích, z toho každý vzorek obsahoval 5 kusů sušených plodů moruše. Vzorky byly izolovány v uzavíratelných igelitových sáčcích, které byly umístěny do uzavíratelných plastových nádob s příslušným označením: neošetřené plody moruše 3.0, ošetřené 3.1. Takto označené nádoby byly umístěny na stinném stanovišti při pokojové teplotě po dobu pěti týdnů.

5 Výsledky

Během a na konci pozorování byli zaznamenáváni živí jedinci, kteří byli v izolovaných vzorcích nalezeni.

5.1 Pokus č. 1 - mandle

Pokus č. 1, vzorky loupaných mandlí. Ve zkumavkách stojanu 1.0, kde byly neošetřené mandle ani ve zkumavkách stojanu 1.1, kde byly mandle ošetřené mikrovlnným zářením, nebyli nalezeni žádní jedinci zavíječe v žádném stádiu vývoje ani žádné projevy jejich existence.

5.2 Pokus č. 2 – lískové ořechy

V pokusu č. 2, kde byly pozorovány projevy přítomnosti zavíječe ve vzorcích izolovaných jader lískových ořechů, všechny tři stojany vykazovaly stejný výsledek. Ani zde nebyli nalezeni žádní jedinci zavíječe, jejich vývojová stádia, nebo projevy jejich existence.

5.3 Pokus č. 3 - moruše

Pokus č. 3, vzorky sušených plodů moruše. Ve vzorkách 3.0, u kterých neproběhlo ošetření mikrovlnným zářením, byl nalezen jeden jedinec, již ve vývojovém stádiu dospělé. Ve vzorkách 3.1, které byly ošetřeny mikrovlnným zářením, nebyl nalezen žádný jedinec ani projevy jeho existence.



Obrázek 5: Ukázka pokusu č. 3. Vzorek s nálezem
(foto autorka).

6 Diskuze

V našem pokusu byl zkoumán vliv především na stádia vajíček zavíječe paprikového. Dospělci před ošetřením vyletěli z připravených vzorků a mrtvé (v případě pokusu 2.3 i živé) larvy byly po ošetření ze vzorků vyseparovány. Výsledky značí 100% mortalitu u stádia vajíček, ovšem v porovnání s neošetřenými vzorky, kde byla mortalita též 100% (kromě pokusu 3), je tento výsledek neprůkazný. Můžeme zvažovat, že se v původních vzorcích od firmy IBK Trade nevyskytovalo stadium vajíček nebo nebyly k izolování vybrané infikované ořechy. Ikediala et al. (1999) se ve studii dobrali k vysoké mortalitě, kterou přisuzují i manipulaci během transportu.

V literatuře často vedle účinků mikrovlnného ošetření pozorují účinky radiofrekvenčních vln s frekvencí 27 MHz. Radiofrekvenční ošetření měla ve studiích příznivější účinky. Například Wang et al. (2003a) uvádějí, že ošetření o frekvenci 27 MHz nemělo významný tepelný účinek na ořechy, ovšem na hmyz byl tepelný účinek stejný, jako u ošetření mikrovlnami (915 MHz). Wang et al. (2003b) se dopracovali k názoru, že diferenční ohřev hmyzu ve vlašských ořeších může nastat při použití 27 MHz, ale ne při mikrovlnné frekvenci 915 MHz. Přičemž diferenční ohřev umožňuje rozvoj praktického využití dielektrického ošetření v průmyslu.

Ořechy se ukázaly jako vhodná komodita pro tento způsob dezinfekce, jelikož obsahují málo vody a vysoký obsah olejové složky. Mají podstatně nižší ztrátové číslo ϵ'' oproti hmyzu, především larvám, tudíž v nich dochází k menší generaci tepla a je tak lépe zachovaný nutričně významný obsah (Wang et al., 2003b; Wang et Tang, 2001).

Významným problémem mikrovlnného ošetření je jeho nerovnoměrnost. Ve studiích se tento jev snažili co nejvíce eliminovat přidavnými faktory, jako jsou horký vzduch nebo rotace uvnitř mikrovlnného aplikátoru. Úplné eliminace ovšem dosaženo nebylo. Jelikož během tohoto nerovnoměrného ohřevu vznikají studená místa, tak mohou někteří škůdci přežít, naopak vznikají místa s velmi vysokou teplotou, která poškozuje komoditu. Kromě přidavných faktorů, které napomáhají rovnoměrnosti, byly použité metody, které následovaly po ošetření. Osvědčilo se skladování v chladu ve studii Ikediala et al. (1999), ovšem tato metoda prodlouží ošetření a zvýší náklady na dezinfekci u dané komodity.

7 Závěr

Na základě literární rešerše lze souhlasit s hypotézou, že mikrovlnné záření je vhodným prostředkem pro hygienizaci ořechů a sušeného ovoce. Účinnost ošetření závisí na intenzitě a době expozice. Mikrovlnné ošetření nezpůsobuje významné snížení kvality komodity a prodlužuje její trvanlivost. Do budoucího výzkumu je třeba stanovit vhodnou dobu expozice a intenzitu pro určité komodity. Záleží také na tloušťce vrstvy ošetřovaného materiálu. V praxi je také dobré spojit mikrovlnné ošetření s vhodným doplňujícím prostředkem.

V praktické části byla vypracována metodika pro sledování vlivu mikrovlnného ošetření na mortalitu vajíček hmyzích škůdců, jejíž výsledky je možné následně statisticky vyhodnotit. Metodika je vhodná pro sledování vlivů v izolovaných vzorcích. Pro budoucí výzkum bych navrhovala infikovat vzorky hmyzími vajíčky, aby byla jistota jejich výskytu.

8 Seznam použité literatury

- Andreuccetti, D., Bini, M., Ignesti, A., Gambetta, A., Olani, R. 1994. Microwave Destruction of Woodworms. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 29 (3). 153–160. doi: 10.1080/08327823.1994.11688244.
- Bradshaw, S., Wyk, E., Swardt, J. 1998. Microwave heating principles and the application to the regeneration of granular activated carbon. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. (August). 201–212.
- Buransompob, A., Tang, J., Mao, R., Swanson, B. G. 2003. Rancidity of Walnuts and Almonds Affected By Short Time Heat Treatments for Insect Control. *Journal of Food Processing and Preservation*. 27 (6). 445–464. doi: 10.1111/j.1745-4549.2003.tb00529.x.
- Clark, D. E., Folz, D. C., West, J. K. 2000. Processing materials with microwave energy. *Materials Science and Engineering: A*. 287 (2). 153–158. doi: 10.1016/S0921-5093(00)00768-1.
- Das, I., Shah, N. G., Kumar, G. 2014. Properties of walnut influenced by short time microwave treatment for disinfestation of insect infestation. *Journal of Stored Products Research*. 59 . 152–157. doi: 10.1016/j.jspr.2014.07.005.
- Fields, P. G. 1992. The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. *Journal of Stored Products Research*. 28 (2). 89–118. doi: 10.1016/0022-474X(92)90018-L.
- Fleischman, G. J. 1999. Predicting temperature range in food slabs undergoing short-term/high-power microwave heating. *Journal of Food Engineering*. 40 (1). 81–88. doi: 10.1016/S0260-8774(99)00040-0.
- Frings, H. 1952. Factors Determining the Effects of Radio-Frequency Electromagnetic Fields on Insects and Materials They Infest. *Journal of Economic Entomology*. 45 (3). 396–408. doi: 10.1093/jee/45.3.396.
- Hojjati, M., Noguera-Artiaga, L., Wojdyło, A., Carbonell-Barrachina, Á. A. 2015. Effects of microwave roasting on physicochemical properties of pistachios (*Pistaciavera L.*). *Food Science and Biotechnology*. 24 (6). 1995–2001. doi: 10.1007/s10068-015-0263-0.
- Ikediala, J. N., Tang, J., Neven, L. G., Drake, S. R. 1999. Quarantine treatment of cherries using 915 MHz microwaves: Temperature mapping, codling moth mortality and fruit quality. *Postharvest Biology and Technology*. 16 (2). 127–137. doi: 10.1016/S0925-5214(99)00018-6.
- Jacob, J., Chia, L. H. L., Boey, F. Y. C. 1995. Thermal and non-thermal interaction of

- microwave radiation with materials. *Journal of Materials Science*. 30 (21). 5321–5327. doi: 10.1007/BF00351541.
- Jian, F., Jayas, D. S., White, N. D. G., Fields, P. G., Howe, N. 2015. An evaluation of insect expulsion from wheat samples by microwave treatment for disinfestation. *Biosystems Engineering*. 130 . 1–12. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2014.11.014.
- Jones, D. a., Lelyveld, T. P., Mavrofidis, S. D., Kingman, S. W., Miles, N. J. 2002. Microwave heating applications in environmental engineering—a review. *Resources, Conservation and Recycling*. 34 (2). 75–90. doi: 10.1016/S0921-3449(01)00088-X.
- Kelen, Á., Ress, S., Nagy, T., Pallai, E., Pintye-Hódi, K. 2006. Mapping of temperature distribution in pharmaceutical microwave vacuum drying. *Powder Technology*. 162 (2). 133–137. doi: 10.1016/j.powtec.2005.12.001.
- Kelly, R. M., Rowson, N. A. 1995. Microwave reduction of oxidised ilmenite concentrates. *Minerals Engineering*. 8 (11). 1427–1438. doi: 10.1016/0892-6875(95)00106-Z.
- Lurie, S. 1998. Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology*. 14 (3). 257–269. doi: 10.1016/S0925-5214(98)00045-3.
- Mayer, D. 2012. Aplikovaný elektromagnetizmus: úvod do makroskopické teórie elektromagnetického pole pro elektrotechnické inženýry. Kopp. ISBN: 9788072324361.
- Mohandass, S., Arthur, F. H., Zhu, K. Y., Throne, J. E. 2007. Biology and management of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) in stored products. *Journal of Stored Products Research*. 43 (3). 302–311. doi: 10.1016/j.jspr.2006.08.002.
- Mullin, J. 1995. Microwave processing. In: *New Methods of Food Preservation*. p. 112–134. Boston, MA. Springer US.
- Myslík, J. 1998. Elektromagnetické pole : základy teórie. BEN - technická literatura. p. 159. ISBN: 8086056430.
- Nelson, S. O. 1974. Insect-Control Possibilities Using Microwaves and Lower Frequency RF Energy. In: *S-MTT International Microwave Symposium Digest*. p. 27–29. MTT004.
- Nelson, S. O. 1996. Review and Assessment of Radio-Frequency and Microwave Energy for Stored-Grain Insect Control. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 39 (4). 1475–1484. doi: 10.13031/2013.27641.
- 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. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2012.11.011.
- Pires, E. M., Souza, E. Q., Nogueira, R. M., Soares, M. A., Dias, T. K. R., Oliveira, M. A.

2017. Damage Caused by *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae) in Stored Brazil nut. . 1 (Id). 1–5.
- Sharma, G. P., Prasad, S. 2006. Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves. *Journal of Food Engineering*. 75 (4). 441–446. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.04.029.
- Shayesteh, N., Barthakur, N. N. 1996. Mortality and behaviour of two stored-product insect species during microwave irradiation. *Journal of Stored Products Research*. 32 (3). 239–246. doi: 10.1016/S0022-474X(96)00016-1.
- Simmons, P., Nelson, H. D. 1975. *Insects on Dried Fruits*. 464th ed. USDA Agric. Handb. p. 26.
- Soderstrom, E. L., Brandl, D. G., Mackey, B. E. 1996. High Temperature Alone and Combined with Controlled Atmospheres for Control of Diapausing Codling Moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Walnuts. *Journal of Economic Entomology*. 89 (1). 144–147. doi: 10.1093/jee/89.1.144.
- Stejskal, V., Kocian, M. 1998. *Ochrana před potravinovými a hygienickými škůdci*. Vyšehrad. ISBN: 8070212365. Retrieved from <https://katalog.mendelu.cz/documents/24278>
- Stejskal, V., Verner, P. H., Višnička, J. 1993. *Dezinsekce II: skladištní škůdci*. 1. Praha. ČSPP. Retrieved from https://aleph.czu.cz/F/J85D2SK2ND1UXN8HCDA5TSKNNFVB364211C7VFLJA4NSXB5G2I-15039?func=full-set-set&set_number=004228&set_entry=000004&format=999
- Vadivambal, R., Jayas, D. S. 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products—a review. *Biosystems Engineering*. 98 (1). 1–16. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.06.006.
- Vadivambal, R., Jayas, D. S. 2010. Non-uniform Temperature Distribution During Microwave Heating of Food Materials—A Review. *Food and Bioprocess Technology*. 3 (2). 161–171. doi: 10.1007/s11947-008-0136-0.
- Vander Vorst, A., Rosen, A., Kotsuka, Y. 2006. RF/Microwave Interaction with Biological Tissues. *RF/Microwave Interaction with Biological Tissues*. p. 1-330. ISBN: 047173277X.
- Wang, S., Tang, J. 2001. Radio frequency and microwave alternative treatments for insect control in nuts: A review. *International Agricultural Engineering Journal*. 10 (3–4). 105–120.

- Wang, S., Tang, J., Cavalieri, R. P., Davis, D. C. 2003. Differential Heating of Insects in Dried Nuts and Fruits Associated With Radio Frequency and Microwave Treatments. *Transactions of the ASAE*. 46 (4). 1175–1182. doi: 10.13031/2013.13941.
- Wang, S., Tang, J., Johnson, J. A., Mitcham, E., Hansen, J. D., Hallman, G., Drake, S. R., Wang, Y. 2003. Dielectric properties of fruits and insect pests as related to radio frequency and microwave treatments. *Biosystems Engineering*. 85 (2). 201–212. doi: 10.1016/S1537-5110(03)00042-4.
- Whitney, W. K., Nelson, S. O., Walkden, H. H. 1961. Effects of high-frequency electric fields on certain species of stored-grain insects. *Effects of High-Frequency Electric Fields on Certain Species of Stored-Grain Insects*. (455). Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19630500640>
- Yadav, D. N., Anand, T., Sharma, M., Gupta, R. K. 2014. Microwave technology for disinfestation of cereals and pulses: An overview. *Journal of Food Science and Technology*. 51 (12). 3568–3576. doi: 10.1007/s13197-012-0912-8.