

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra kvality a bezpečnosti potravin**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Použití manganistanu draselného a různých obalových  
materiálů k prodloužení skladovatelnosti jablek**

**Diplomová práce**

**Bc. Anna Cecoi  
QUALIM**

**Ing. Matěj Božik, Ph.D.**

© 2022 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Použití manganistanu draselného a různých obalových materiálů k prodloužení skladovatelnosti jablek" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.04.2022

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Božikovi Ph.D. za odborné rady a čas věnovaný při psaní této práce. Dále děkuji panu Ing. Caltovi za odborné rady a výpomoc. V neposlední řadě patří poděkování mé rodině a příteli za podporu při studiu.

# Použití manganistanu draselného a různých obalových materiálů k prodloužení skladovatelnosti jablek

## Souhrn

Obalové materiály plní v potravinářském průmyslu důležitou roli. Marketing, distribuce, skladování, mikrobiologická a zdravotní nezávadnost patří mezi důležité faktory a funkce, na kterých se obaly podílejí.

S ohledem na rizika spojená s infekcemi přenášenými potravinami, ale i na speciální požadavky spotřebitelů na kvalitní, čerstvé a nezávadné potraviny, dochází k inovacím v oblasti technologie balení potravin. Pro zajištění těchto požadavků je nutné znát chemické a fyzikální vlastnosti nejen obalů, ale i samotných potravin. Obaly musí splňovat i požadavky týkající se udržitelnosti a legislativní nařízení a limity. Jedním z řešení výše zmíněných požadavků jsou aktivní obaly. Na rozdíl od tradičních obalových systémů mohou být dle NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 450/2009 ze dne 29. května 2009 o aktivních a inteligentních materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami, složky obalu záměrně uvolňovány do potravin či do vnitřního prostředí obalu. Aktivní obaly jsou založeny na zakomponování antioxidantů, antimikrobiálních látek, absorbentů vlhkosti, kyslíku či etylenu nebo látek pohlcujících pachy a příchutě.

Literární rešerše nabízí přehled typů aktivních obalů, jejich výhody, nevýhody a využití v praxi. Mezi tyto aktivní obaly je řazen i absorbent etylenu. Dále byl také sledován vliv různých obalových materiálů na skladovatelnost jablek.

Růst, klíčení či zrání a další fyziologické pochody u klimakterického ovoce, tedy i jablek jsou řízeny etylenem. Tento růstový hormon přispívá k rychlejšímu dozrávání plodů a tím limituje skladovatelnost. Nejčastěji využívanou látkou sloužící k absorpci etylenu je manganistan draselný, zakomponovaný do sáčků, které byly vloženy do obalů pro potraviny (Sadeghi et al. 2021). Tyto sáčky byly aplikovány v různých variantách obalových materiálů a byla sledována skladovatelnost jablek po dobu deseti týdnů. V sedmidenních intervalech byl zaznamenáván hmotnostní úbytek jednotlivých jablek ve všech variantách. Obalové materiály využity v praktické části jsou speciální inovativní pytle Zembag, kdy první variantou toho obalu je kombinace juty, netkané textilie a aluminiové folie, zatímco druhá varianta Zembagu je jen juta bez funkční vrstvy. Dalším materiálem je nízkohustotní polyetylen (LDPE) a varianta LDPE z recyklovaného materiálu, dále papír a plastová kuchyňská nádoba představující skladování při pokojové teplotě v domácích podmínkách.

Na základě zaznamenaných dat hmotnostních úbytků byla provedena statistická analýza pro obecný lineární model odpovídající dvoufaktorové ANOVA s opakovaným měřením. Výsledkem bylo zamítnutí hypotézy, která uvádí, že manganistan draselný jako absorbent etylenu prodlouží skladovatelnost jablek. Ukázalo se, že vliv na kvalitu a skladovatelnost měly v tomto experimentu obalové materiály. Papírové obaly a kontrolní varianta misky zapříčinily vyšší hmotnostní ztráty a nepříjemné sensorické změny. Plastové obaly vykazovaly nejvyšší množství vzorků jablek napadených plísněmi a hnilobami, avšak ostatní vzorky v plastových materiálech si zachovaly své vlastnosti jako barvu či pevnost po delší dobu skladování. Hypotéza, která tvrdí, že obalové materiály mají vliv na skladovatelnost jablek byla potvrzena.

**Klíčová slova:** aditiva, antioxidant, kontaminace, kvalita, mikroorganismy, riziko, obal, potraviny

# The use of potassium permanganate and various packaging materials to extend the shelf life of apples

## Summary

Packaging materials play an important role in the food industry. Marketing, distribution, storage, microbiological and health safety are among the important functions that food packaging provides.

Due to increasing food-borne infections, as well as special consumer demands for quality, fresh and safe food, innovations in food packaging technology are taking place. In order to meet these requirements, it is necessary to know the chemical and physical properties not only of the packaging but also of the food itself. Packaging must also meet sustainability requirements and comply with legislative regulations and limits. One solution to the above requirements is active packaging. In contrast to traditional packaging systems, according to COMMISSION REGULATION (EC) No. 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food, packaging components can be intentionally released into food or into the internal environment of the packaging. Active packaging is based on the incorporation of antioxidants, antimicrobials, moisture, oxygen or ethylene absorbers or odour and flavour absorbers.

The literature search offers an overview of the types of active packaging, their advantages, disadvantages and practical applications. Among the active packaging that has been used subsequently in the experimental part is ethylene absorbent. The effect of different packaging materials on the storage life of apples was also investigated.

Growth, germinating or ripening and other physiological processes in climacteric fruits such as apples are controlled by ethylene. This growth hormone contributes to faster ripening of the fruit and thus limits storage life. Potassium permanganate incorporated into bags that have been bagged for food packaging is the most commonly used substance used for ethylene absorption (Sadeghi et al. 2021). These sachets were applied in different packaging material variants and the shelf life of apples was monitored for ten weeks. The weight loss of individual apples in all variants was recorded at seven-day intervals. The packaging materials used in the practical part are special innovative zembags, where the first variant of this packaging is a combination of jute, non-woven fabric and aluminium foil, while the second variant of zembag is just jute without a functional layer. Another material is low-density polyethylene (LDPE) and a variant of LDPE made of recycled material, as well as paper and a plastic kitchen container representing storage at room temperature in domestic conditions.

Based on the recorded weight loss data, statistical analysis was performed for a general linear model fitting a two-factor repeated measures ANOVA. The result was a rejection of the hypothesis that potassium permanganate as an ethylene absorber would extend the storage life of apples. It showed that packaging materials had an effect on quality and shelf life in this experiment. Paper packaging caused higher weight losses and unacceptable sensory changes. Plastic packaging showed the highest number of samples of apples affected by mould and rot, but the other samples retained their characteristics such as colour and strength over a longer storage period. The hypothesis that packaging materials have an effect on the storability of apples was confirmed.

**Keywords:** additives, antioxidant, contamination, quality, microorganisms, risk, packaging, food

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Obaly v potravinářském průmyslu</b> .....	<b>11</b>
<b>3.2 Polymery</b> .....	<b>12</b>
3.2.1 Polyethylen .....	12
<b>3.3 Papír a lepenka</b> .....	<b>13</b>
<b>3.4 Výběr obalového materiálu</b> .....	<b>13</b>
3.4.1 Migrace kontaminantů z obalů .....	13
<b>3.5 Systém aktivního balení potravin</b> .....	<b>14</b>
3.5.1 Legislativa.....	15
<b>3.6 Absorbenty kyslíku</b> .....	<b>16</b>
3.6.1 Antioxidační látky.....	19
<b>3.7 Absorbenty vlhkosti</b> .....	<b>21</b>
<b>3.8 Absorbenty etylenu</b> .....	<b>22</b>
3.8.1 Etylen a jeho účinky .....	22
3.8.1 Klimakterické a neklimakterické ovoce a zelenina .....	23
3.8.1 Zrání ovoce a zeleniny .....	24
3.8.2 Další zdroje etylenu .....	25
<b>3.9 Manganistan draselný</b> .....	<b>25</b>
3.9.1 Vlastnosti manganistanu draselného .....	25
3.9.1 Využití manganistanu draselného v praxi.....	25
3.9.1 1- methylcyklopropen.....	27
<b>3.10 Ozon</b> .....	<b>27</b>
<b>3.11 Aktivní uhlí</b> .....	<b>28</b>
<b>3.12 Systémy pohlcující či uvolňující chuť</b> .....	<b>29</b>
<b>3.13 Antimikrobiální aplikace</b> .....	<b>30</b>
3.13.1 Druhy aktivních látek .....	30
3.13.2 Druhy aplikací .....	30
3.13.3 Využití v praxi.....	32
<b>3.14 Vlastnosti, složení a skladování jablek</b> .....	<b>32</b>
<b>3.15 Fenolické látky</b> .....	<b>33</b>
3.15.1 Fenolické látky v jablkách .....	35
<b>3.16 Mikrobiologie jablek</b> .....	<b>36</b>
<b>4 Metodika</b> .....	<b>38</b>
<b>4.1 Obalové materiály</b> .....	<b>39</b>

<b>4.2</b>	<b>Statistické vyhodnocení .....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>47</b>



# 1 Úvod

Obalové systémy jsou neodmyslitelnou součástí potravinářského průmyslu. Jedná se o oblast zahrnující inženýrství, chemii i mikrobiologii (Topuz & Uyar 2020).

Balení potravin přispívá nejen k zajištění jejich požadované kvality, ale i k distribuci, marketingu, skladování, zdravotní nezávadnosti (Han 2005) či omezení plýtvání (Bradley et al. 2011). Pro uspokojení spotřebitelů a požadavků na kvalitní, nezávadné a trvanlivé potraviny jsou vyvíjeny stále nové obalové systémy zajišťující specifické funkce (Topuz & Uyar 2020), jako zlepšení bezpečnosti, trvanlivosti a prodloužení skladovatelnosti (Bradley et al. 2011). Nejen na základě nároků spotřebitelů, ale i v důsledku nových trendů, nárůstu počtu obyvatel či distribuci potravin na velké vzdálenosti, roste snaha o výrobu kvalitních, nezávadných a spolehlivých obalů (Topuz & Uyar 2020). Balení potravin může představovat i jistá rizika, a to například možnost migrace kontaminantů z obalových vrstev. Výroba, ale především likvidace obalových materiálů dále představují zátěž pro životní prostředí (Bradley et al. 2011).

Dalším významným důvodem, který motivuje výrobce obalů k inovativním metodám je stále narůstající počet výskytu infekcí přenášených mikroorganismy (Majid et al. 2018). Autoři Nugen & Baeumner (2008) ve svém článku zmiňují několik významných patogenů potravin a patří mezi ně *Salmonella*, *Listeria*, *Toxoplasma*, *Campylobacter*, *Shigella*, *Escherichia coli*.

Tradiční obaly napomáhají udržovat trvanlivost či skladovatelnost, avšak potýkají se s řadou omezení. Významným inovativním konceptem balení potravin jsou aktivní obaly (Vermeiren et al. 1999). Systém aktivního balení spotřebitelům nabízí funkce nad rámec tradičních metod balení potravin. Mezi hlavní techniky těchto aktivních systémů patří zakomponování látek jako jsou antioxidanty, antimikrobiální látky, absorbenty etylenu, kyslíku a vlhkosti či látky zachycující a uvolňující pachy a příchutě. Zmíněné složky aktivních obalů přispívají k zamezení nežádoucích mikrobiálních a enzymatických změn, zamezení kažení, oxidace, úbytku hmotnosti či zachování barvy (Ahmed et al. 2017).

V této práci byly charakterizovány a blíže specifikovány jednotlivé typy aktivních systémů balení potravin. Jsou zmíněny jejich vlastnosti, výhody a nevýhody a také možnosti využití v praxi. V praktické části této práce byly takové absorbenty aplikovány na jednu odrůdu jablek a byly sledovány změny během jejich skladování. Absorbující složkou je manganistan draselný. Manganistan se jeví jako nejběžnější látka využívaná pro tyto účely. Manganistan lze zakomponovat do různých materiálů například do sáčků (Sadeghi et al. 2021), které byly také využity v experimentální části této práce. Principem je nereverzibilní reakce, kdy tento aktivní systém balení absorbuje etylen, jež je produkován jako růstový hormon vyššími rostlinami. Etylen reguluje růst, fyziologické pochody, klíčení a zrání ovoce (Gaikwad et al. 2020). Po dobu jedenácti týdnů byly zaznamenávány úbytky hmotnosti v závislosti na použitém obalu a přítomnosti určitého množství manganistanu draselného. Cílem diplomové práce bylo ověřit účinnost a vliv jak manganistanu draselného, tak i vliv obalových materiálů na skladování jablek.

## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotéza:

Přidání adsorbentu etylenu (manganistanu draselného) prodlouží skladovatelnost jablek.

Obalový materiál ovlivňuje skladovatelnost jablek.

Cílem diplomové práce bylo zpracovat literární rešerši a experimentálně ověřit vliv různých obalových materiálů a adsorbentu etylenu (manganistanu draselného) na kvalitu a skladovatelnost jablek v domácích podmínkách. Cílem praktické části bylo testování účinnosti manganistanu draselného jako složky aktivního obalu za účelem zpomalení zrání jablek. Experiment byl proveden na jedné odrůdě jablek a byly využity různé obalové materiály. Výsledky byly statisticky vyhodnoceny a taktéž byly závěrem práce navrženy další postupy pro zajištění požadovaných podmínek skladování jablek.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Obaly v potravinářském průmyslu

Systémy balení potravin lze označit jako multidisciplinární oblast. Oblast zahrnuje potravinářskou vědu, inženýrství, chemii a mikrobiologii (Topuz & Uyar 2020). Balení potravin pomáhá zajišťovat a udržovat požadovanou kvalitu potravin, vhodné skladování, distribuci a marketing (Han 2005). Vhodné systémy balení potravin jsou důležité pro zajištění nejen jejich kvality, ale i zdravotní nezávadnosti (Topuz & Uyar 2020).

V technologiích obalových systémů dochází k neustálým inovacím a vylepšování vlastností obalů. Jsou vyráběny nové, snadno otevíratelné, vícerázové obaly, aby splňovaly požadavky spotřebitelů (Topuz & Uyar 2020). Trh s obaly se orientuje na efektivnější, kvalitnější a bezpečnější obaly.

Aby byly zajištěny požadavky jako například čerstvost či bezpečnost potravin lze využít metody aktivního a inteligentního obalového systému (Han 2005). Obaly potravin představují v potravinářském průmyslu zásadní oblast, která se rozvíjí na základě potřeb spotřebitelů, ale i nových globálních trendů, a to včetně nárůstu počtu obyvatel či požadavků na přepravu potravin na dlouhé vzdálenosti. Primárním cílem obalových materiálů je zajistit co nejdelší trvanlivost, skladovatelnost, nezávadnost, bezpečnou distribuci konečnému spotřebiteli (Topuz & Uyar 2020) a poskytnutí informací o složení a nutričních údajích (Sanchis et al. 2017).

Mezi důležité funkce patří bariérové vlastnosti, snížení oxidace a ochrana proti mikrobiologickému znehodnocení (Topuz & Uyar 2020). Co se bezpečnosti týče, kladou výrobci důraz na zamezení migrace složek obalového materiálu do potravin. V souvislosti s tím byly legislativou stanoveny limity a mezinárodní předpisy týkající se materiálů jež přichází do styku s potravinami (Sanchis et al. 2017).

Spolu s tradičními úpravami potravin pro konzervaci jsou aplikovány nové technologie zpracování potravin. Příkladem je ozařování, působení vysokého tlaku, pulzní elektrická pole, ošetření UV zářením nebo použití antimikrobiálních obalů. Zmíněné technologie však vyžadují i specifické vlastnosti obalových materiálů jako chemická odolnost v případě ozařování, propustnosti UV záření, odolnost vůči tlaku a dostatečné těsnění. Inovativní obalové materiály musí zároveň vykazovat svoji bezpečnost. V některých případech může být za potřebí upravit legislativní požadavky a limity v závislosti na konkrétním typu materiálu a technologii (Han 2005).

Obaly musí splňovat nároky, které kladou spotřebitelé, dále musí mít požadované vlastnosti z hlediska výroby, distribuce, prodeje, marketingu, ale i likvidace (Han 2005).

V souvislosti s problematikou likvidace obalů roste snaha o eliminaci velkého množství pevného odpadu. Používání nadbytečného množství plastových obalových materiálů vede ke značné zátěži životního prostředí. Jedním z řešení tohoto problému mohou být jedlé obaly (Han 2005). Tyto materiály jsou vyrobeny z jedlých biopolymerů a přísad využívaných v potravinářství. Většina z používaných biopolymerů je přírodního původu včetně polysacharidů, lipidů a proteinů (Gennadios et al. 1997). Jedlé obaly, filmy a nátěry mají za úkol zlepšovat kvalitu potravin poskytováním ochrany před poškozením fyzikálního, chemického i biologického původu. Jedlé obaly mohou sloužit jako bariéry například plynům, lipidům nebo jsou nositeli antimikrobiálních látek, antioxidantů či barviv (Han 2005).

Studie autorů M. Rangaraj et al. (2021) se zabývala technologiemi a výhodami jedlých obalových materiálů na bázi přírodních antioxidantů. Zakomponování antioxidantů do těchto materiálů představuje zlepšení například mechanických nebo bariérových vlastností. Dále

zvyšují oxidační stabilitu a inhibují patogenní mikroorganismy. Většina z používaných antioxidantů je získávána z extraktů a esenciálních olejů a jsou využívány jako alternativy syntetických antioxidantů. Tato studie taktéž nabízí přehled dalších komponent jedlých obalů jako jsou celulóza, škrob, alginát, chitin, želatina, pšeničný lepek, sójový protein a řadu dalších (M. Rangaraj et al. 2021). Použitím hořčičné odtučněné moučky pro kontrolu rozvoje bakterií rodu *Listeria monocytogenes* se zabývala následující studie Lee et al. (2012). Hořčičná složka byla použita bez přídavku jakýchkoliv dalších antimikrobiálních látek. Film byl aplikován na maso z lososa a byl sledován růst *L. monocytogenes*. Účinek takového filmu záleží na faktorech jako tloušťka filmu, způsob přípravy a aplikace, avšak autoři došli k závěru, že takový jedlý film představuje potenciální ochranu před rozvojem bakterií *L. monocytogenes* (Lee et al. 2012).

## 3.2 Polymery

Polymerní či lidově plastové materiály jsou tvořeny monomery, které tvoří jejich hlavní složku. Mezi nejběžnější polymery patří polyvinylchlorid (PVC), polyethylen (PE), polyvinylacetát (PVA), polypropylen (PP) (Sanchis et al. 2017), polystyren (PS), polyethylentereftalát (PET) (Zhang et al. 2022). Plastové materiály, které přichází do kontaktu s potravinami jsou nejen obaly, ale i kuchyňské nádoby. Dále například polykarbonáty (PC) představují polymery ze skupiny termoplastů. Takové plasty mají dobré mechanické vlastnosti, jsou houževnaté a průhledné, což je činí vhodnými například pro mikrovlnný ohřev nebo opakované používání (Sanchis et al. 2017).

I přes mnoho vyhovujících vlastností polymerů existují nevýhody související se zátěží životního prostředí. V důsledku toho roste zájem o biologicky odbouratelné materiály (Zhang et al. 2022). V této souvislosti je nutné rozlišovat dva termíny, a to biopolymery a biodegradovatelné polymery. Výroba biopolymerů je založena na využití obnovitelných zdrojů biomasy, tedy rostlin, živočichů nebo mikroorganismů. Všechny biopolymery však nezajišťují možnost biologického odbourání. Naopak biodegradabilní polymerní materiály lze rozložit na oxid uhličitý, vodu a biomasu, a to za účasti mikroorganismů (Sanchis et al. 2017).

### 3.2.1 Polyethylen

Mezi jedny z nejpoužívanějších polymerních obalů patří materiály na bázi nízkohustotního polyethylenu (LDPE). V potravinářském průmyslu je tento materiál hojně využíván díky dobrým bariérovým vlastnostem, nízké ceně, širokému využití, dobré odolnosti a nízké hmotnosti. Přesto, že byly těmto materiálům navrženy alternativy, nespĺňují zmiňované vlastnosti. Výhody LDPE vedly k hojnému využití, a to je také příčinou obrovského množství pevného odpadu (Ornelas-Paz et al. 2012).

Negativní dopady na životní prostředí v důsledku používání plastových materiálů vedlo k zavedení jejich recyklace. Autoři článku Chytiri et al. (2006) taktéž uvádí, že Evropská unie stanovila cíle pro snižování odpadu z obalových materiálů právě prostřednictvím recyklace. Recyklováno má být 25-45 % obalových materiálů. Při použití recyklovaných plastových materiálů je nutné brát ohled na možnou migraci složek obalu do potravin a je zapotřebí předcházet přímému kontaktu s potravinami. Recyklované složky materiálu lze zakomponovat do vícevrstvých materiálů, kde budou tvořit vnější bariérovou vrstvu (Chytiri et al. 2006).

### 3.3 Papír a lepenka

Materiály na bázi papíru nebo lepenky (Deshwal et al. 2019), které se od sebe liší na základě hustoty (Podsedník 2011), jsou velmi rozšířeny v potravinářském průmyslu a můžeme se s nimi setkat u potravin jako je mléko či jiné nápoje, cukrovinky, pekařské výrobky, zmrzlina, popcorn aj. Během výrobního procesu jsou však do materiálu začleněny chemické složky jako ftaláty, barvy, bělidla apod. Následně může docházet k migraci některých ze zmiňovaných složek do prostředí obalu či přímo do potravin, ale i dále do životního prostředí. Papír se vyznačuje špatnými bariérovými vlastnostmi a vyžaduje tak v mnoha případech impregnaci či aditivum vhodné látky s požadovanými vlastnostmi (Deshwal et al. 2019).

### 3.4 Výběr obalového materiálu

Výběr vhodného obalového materiálu patří mezi významné faktory ovlivňující jak skladovatelnost, tak i konečnou kvalitu potravin (O.a. 2009). Potravinářský průmysl klade důraz na řadu požadavků na obalové materiály, mezi které patří udržitelnost, pevnost, bariérové vlastnosti, zákonné požadavky, možnosti zpracování, potisku apod. (Deshwal et al. 2019). Obaly mají vliv na barvu, titrační kyselost, mikrobiologickou nezávadnost, pH, vlhkost a na nutriční složení potravin. Vlivem některých typů obalových materiálů na skladovatelnost potravin se zabývala následující studie O.a. (2009).

Experiment byl prováděn na ibišku a zahrnoval tři varianty materiálů, a to běžnou plastovou misku bez uzávěru (sloužící jako kontrola), plastové síto obalené LDPE materiálem a samostatné sáčky z LDPE. Hmotnostní ztráty u nezabalených vzorků uložených v otevřené plastové nádobě odpovídaly 8,1 %, zatímco vzorky v LDPE obalech pouze 1,1 % za pokojových podmínek. Co se týče mikrobiální zátěže, v rozmezí 4-8 dní vykazovaly LDPE sáčky v chladírenských podmínkách lepší ochranu v porovnání s ostatními variantami. Avšak po 8 dnech v pokojové teplotě byly zaznamenány horší výsledky oproti sítu s LDPE a kontrolní variantě. Výsledkem studie byl statisticky významný rozdíl v použití různých obalových technik. V celku nejlepší výsledky byly dosaženy použitím LDPE sáčků, které zajistily dobrou skladovatelnost při pokojové teplotě, a ještě lepších výsledků v kombinaci s chladovými podmínkami. Snížené hmotnostní ztráty u polymerních obalů ve srovnání s variantou v misce potvrzuje i studie například u rajčat (O.a. 2009). Dále se skladovacími podmínkami a typy obalových materiálů ibišku zabývala studie autorů Finger et al. (2008), která zkoumala vliv teploty a konkrétně obalu z PCV (polyvinylchlorid) v chladírenských podmínkách. Zatímco při teplotách kolem 25 °C byly hmotnostní ztráty vyšší, snížení teploty na 10-5 °C v kombinaci s PCV obalem zabránilo velkým ztrátám vody. Se snížením teploty souviselo i snížení rychlosti degradace chlorofylu (Finger et al. 2008).

#### 3.4.1 Migrace kontaminantů z obalů

Grob et al. (2006) se zabývali ve své studii migrací složek obalových materiálů do potravin a jejich účinky. Většina spotřebitelů, a to jak někteří odborníci, tak i široká veřejnost označí jako nejvýznamnější zdroj kontaminace potravin pesticidy, dále environmentální chemikálie například PCB (polychlorované bifenoly) a DDT (dichlordifenyltrichlorethan), léčiva užívaná v chovech, a nakonec látky znečišťující pitnou vodu. Uvádí, že některé zdroje opomíjí

obalové materiály. Evropská legislativa reguluje limity povolených množství uvolňovaných látek. Migrace z různých materiálů je však velmi odlišná. Příkladem je migrace složek z polyethylentereftalátu (PET), která většinou limitů nedosahuje a migrace z folií vyrobených z PVC, které jsou naopak často velmi blízko povoleným limitům. Vzhledem k určitým nedostatkům v této oblasti apelují autoři článku na pečlivější kontroly migrujících částic z obalových materiálů a jejich potencionální toxicitu či nebezpečí (Grob et al. 2006).

### 3.5 Systém aktivního balení potravin

Technologie aktivního balení potravin představuje nové příležitosti v oblasti potravinářského průmyslu pro konzervaci a udržování kvality potravin.

Aktivní obal je definován jako systém, který zahrnuje interakci mezi potravinou nebo vnitřním prostředím a balením či součástmi balení. Aktivní obaly mají za úkol prodlužovat trvanlivost potravin, zachovávat jejich nutriční kvalitu, inhibovat růst nežádoucích mikroorganismů, zabraňovat či signalizovat migraci kontaminujících látek a zajišťovat tak bezpečnost potravin (Ozdemir & Floros 2004). Pro představu autoři Imran et al. (2010) uvádí, že nemoci přenášené prostřednictvím potravin ve Spojených státech způsobují zhruba 76 milionů onemocnění, 325 tisíc hospitalizací a 5 tisíc úmrtí. Výskyt onemocnění prostřednictvím potravin je jak v rozvojových, tak i ve vyspělých zemích. Článek dále uvádí, že přibližně dvě třetiny potravin stažených z trhu je v důsledku vadného balení a následné mikrobiální kontaminace (Imran et al. 2010).

Aktivním obalovým technologiím se věnuje pozornost už řadu let a vzhledem k nárůstu poptávky o aktivní obalové fólie, se předpokládá i další rozvoj trhu v této oblasti. Používání vhodných obalových metod přispívá k minimalizaci ztrát potravin a také k poskytování zdravotně nezávadných potravin. Spotřebitelské trendy zaměřeny na lepší kvalitu, čerstvost a bezpečnost potravin nabírají na popularitě (Ozdemir & Floros 2004). Spotřebitelé vyžadují dodání sezonních potravin po celý rok, s čímž neodmyslitelně souvisí zdouhavé požadavky na balení a podmínky přepravy, a to obzvláště u zemědělských produktů s krátkou trvanlivostí (de Abreu et al. 2012). Důvodem je v neposlední řadě i omezení znečišťování životního prostředí, s čímž souvisí i problémy s likvidací obalových materiálů (Ozdemir & Floros 2004).

Na rozdíl od běžných obalů, které musí být inertní, jsou aktivní obaly záměrně designovány tak, aby s okolním prostředím či přímo potravinou interagovaly (de Abreu et al. 2012). Autoři Imran et al. (2010) článku o aktivních obalových systémech je popisují a definují jako inteligentní systém zahrnující interakce balení a vnitřního prostředí za účelem zajištění kvality a bezpečnosti potravin pro spotřebitele. Aktivní obaly hrají důležitou roli obzvláště u balených potravin podléhajících rychlému kažení, tedy ty s vysokou vodní aktivitou (Imran et al. 2010). Do aktivních obalových materiálů či systémů byly již zakomponovány aktivní složky jako organické kyseliny a jejich soli, bakteriocin nisin a pediocin (Franklin et al. 2004), enzym lysozym (Min et al. 2008) a triclosan (Vermeiren et al. 2002). Triclosan je látka působící proti růstu mikroorganismů. Tato sloučenina byla například testována spolu s LDPE jako potencionální antimikrobiální obal (Vermeiren et al. 2002). Studie Al-Naamani et al. (2016) prováděla aplikaci chitosanu na LDPE film. Nátěr vrstvy obsahující chitosan sloužil k inhibici celé řady mikroorganismů, a to jak bakterií tak i plísni. Chitosan je látka širokého využití, setkáme se s ní v potravinářském i biomedicínském průmyslu. Vyznačuje se svojí antimikrobiální aktivitou, nízkou toxicitou a chemickou stabilitou. Studie Weng & Hotchkiss (1992) popisuje použití antimykotika imazalilu. Tato látka byla zakomponována do LDPE fólie

a byl sledován růst *Penicillium spp.* a *Aspergillus toxicarius*. Koncentrace imazalilu na filmu odpovídající 2000mg/kg způsobila zpomalení růstu *Aspergillus toxicarius* a při koncentraci 1000 mg/kg došlo ke zpomalení růstu *Penicillium spp.*

V dnešní době existují různé typy aktivních obalových systémů např. pohlcovače kyslíku, absorbenty oxidu uhličitého, ethylenu, chuti či vlhkosti (Ozdemir & Floros 2004).

Trvanlivost a kvalita balených potravin jsou závislé na vnitřních a vnějších faktorech. Mezi vnitřní faktory lze zařadit vodní aktivitu, pH, obsah živin, redoxní potenciál, strukturu a antimikrobiální aktivitu. Naopak vnější faktory zahrnují teplotu skladování, vlhkost okolního prostředí, složení plynů prostředí aj. (de Abreu et al. 2012).

Spolu s aktivními obaly jsou často zmiňovány i inteligentní systémy balení potravin. Ty se ovšem vyznačují schopností monitorovat aktuální stav potravin a prostředí. Poskytují informace o faktorech, které mají během přepravy či skladování vliv na kvalitu potravin. Inteligentní obalové systémy zahrnují detektory nežádoucích plynů, ukazatele teploty a času či ukazatele zrání. Všechny tyto informace významně přispívají ke sledování a zlepšování kvality a potravin pro konečné spotřebitele. Díky inteligentním obalům je možné monitorovat stav potravin během přepravy a předejít tak případným zdravotním újmám (de Abreu et al. 2012).

### 3.5.1 Legislativa

Provozovatelé potravinářských podniků jsou povinni používat pouze takové obalové materiály, které plní funkci ochrany před znehodnocením potravin a znemožní jejich záměnu či změnu obsahu bez otevření a změny obalu. Obaly musí odpovídat požadavkům pro materiály a předměty přicházející do styku s potravinami (de Abreu et al. 2012).

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1935/2004 ze dne 27. října 2004 o materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami a o zrušení směrnic 80/590/EHS a 89/109/EHS uvádí, že nové materiály navržené speciálně pro udržování a zlepšování stavu potravin, tedy aktivní obaly nejsou ze své podstaty stabilní jako tradičně používané obaly potravin. Avšak jak aktivní, tak i inteligentní obaly (sledující stav potravin) jsou povoleny pro styk s potravinami. Aktivní obaly jsou navrženy tak, aby jejich aktivní složky, jež jsou přidány záměrně, mohly být uvolňovány, ale i plnily funkci absorbentů nežádoucích látek. Během použití aktivních obalových materiálů smí docházet ke změnám organoleptických vlastností nebo složení, je-li to v souladu s předpisy Společenství vztahujícími se na potraviny, jako je směrnice 89/107/EHS o potravinářských přídatných látkách. Nevhodným použitím aktivních či inteligentních obalových materiálů je například schopnost sorpce aldehydů či aminů s cílem znemožnit odhalení o kažení dané potravin. Nejsou povoleny jakékoliv aktivní materiály, které by způsobovaly změny barvy a uváděly tak spotřebitele v omyl.

Aktivní a inteligentní systémy balení potravin jsou hojně využívány především ve Spojených státech a Asii. Uvedení aktivních a inteligentních obalů na evropský trh musí splňovat podmínky, které autoři článku de Abreu et al. (2012) následně shrnují do několika bodů:

- a) Materiály musí být vhodné a také účinné pro zamýšlené použití
- b) Materiály a předměty, a to včetně aktivních a inteligentních materiálů, musí být vyrobeny v souladu se správnou výrobní praxí. Za běžných nebo předvídatelných podmínek nesmí přenášet své složky do potravin v takovém množství, které by mohlo

ohrožit lidské zdraví nebo negativně ovlivnit organoleptické vlastnosti či kvalitu potravin.

- c) Zahrnuje-li proces uvolňování aktivních látek do potravin, jsou tyto složky považovány za přísady. Materiály nesmí způsobovat změny jež by uváděly spotřebitele v omyl, například maskování kažení potravin aj. Stejně tak nesmí uvést spotřebitele v omyl prezentace, označování ani reklama.
- d) Jsou-li materiály v přímém kontaktu s potravinou, musí na nich být uvedeny veškeré informace jako název a množství uvolněné látky, aby mohli provozovatelé potravinářských podniků následně plnit veškerá ustanovení týkající se označování potravin.
- e) Složkami účinných materiály smí být pouze látky, které jsou uvedeny na seznamu povolených látek, případně i látky uvolňované za účelem splnění specifických požadavků nebo látky na něž se vztahují vnitrostátní předpisy potravin (přidatné látky, enzymy aj.), které jsou odděleny funkční bariérou. Látky nesmí vykazovat mutagenitu, toxicitu, karcinogenitu ani teratogenitu.
- f) Zajištěno musí být povinné označení „nejíst“ pro upozornění spotřebitele před nežádoucím pozřením, v případě, že by části obalu byly vnímány jako jedlé. Při uvádění informací je nutné zařídit, aby byly dostatečně viditelné, čitelné a nesmazatelné (Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1935/2004)

### 3.6 Absorbenty kyslíku

Vysoké hladiny kyslíku přítomné v obalech potravin mohou přispívat k mikrobiálnímu růstu. Dále mohou vznikat nežádoucí pachy a příchutě, změny barev a neméně důležité jsou nutriční ztráty (Ozdemir & Floros 2004; Gaikwad & Lee 2016). Příkladem negativních změn je žluknutí tuků a tmavší pigment čerstvého masa (Cichello 2015). Pro udržení charakteristické červené barvy masa je kyslík důležitý v souvislosti s oxysličením myoglobinu. Avšak vysoké hladiny kyslíku přispívají k oxidaci lipidů a působí tak spíše negativně. Se snižujícím se obsahem kyslíku se trvanlivost masa prodlužuje (de Abreu et al. 2012). Dále dochází k růstu nežádoucích aerobních mikroorganismů a plísní, vniká zatuchlý zápach pekárenských výrobků, fenolické hnědnutí ovoce či horší chuť piva (Cichello 2015). V důsledku zmiňovaných nežádoucích změn dochází ke zkrácení trvanlivosti potravin. Z tohoto důvodu je velmi důležité regulovat množství kyslíku v potravinových obalech (Ozdemir & Floros 2004).

Využitím absorbentu kyslíku u pekárenských výrobků se zabývala studie autorů Berenzon & Sam Saguy (1998), a to konkrétně u vojenských krekrů. Krekry byly uloženy v hermeticky uzavřených plechových nádobách po dobu 52 týdnů. U vzorků bez absorbentů se projevil žluklý zápach po 24 týdnech při teplotě skladování 25 a 23 °C. Nezávisle na teplotě skladování nebyl u vzorků s absorbenty kyslíku zaznamenáno žluknutí po dobu 44 týdnů.

U cereálií jakožto potravin s vyšší vodní aktivitou se často vyskytují nežádoucí mikroorganismy jako *Penicillium roqueforti*, *P. commune*, *Aspergillus flavus* či *Endomyces fibuliger* a jejich inhibicí použitím absorbentů kyslíku se zabývala následující studie autorů Nielsen & Rios (2000). Absorbenty kyslíku zajistily ochranu před mikroorganismy jako *Penicillium*, avšak *Aspergillus* a *Endomyces* přeživali při koncentraci kyslíku 0,03 %, kdy *Endomyces* přežíval i při vyšších koncentracích kyslíku. V této studii byly dále použity silice z bylin v kombinaci s absorbenty kyslíku. Nejlepších výsledků dosahovaly silice z hořčice, skořice, česneku a hřebíčku (Nielsen & Rios 2000).



Cichello (2015) také ve článku uvádí úspěšné využití absorbentů i mletých sójových bobů. Dále byla prodloužena skladovatelnost u vlašských ořechů a mandlí. Absorbenty kyslíku představují důležitou funkci při balení ořechů a semen, jelikož zabraňují oxidaci lipidů, a ty jsou významnou nutriční složkou těchto potravin.

Ve středomořských zemích včetně Řecka jsou chovány ryby a jednou z nich je i oblíbený pstruh duhový (*Onhcorynchus mykiss*) chován v řekách severozápadního Řecka. Čerstvé ryby podléhají rychlejšímu kažení v porovnání s červeným a kuřecím masem, a proto se studie autorů Mexis et al. (2009) zabývala jejich trvanlivostí. Studie zkoumala použití absorbentu kyslíku a silice z oregana. Jak absorbenty, tak i silice měly samostatně menší účinky, zatímco kombinace těchto metod zajistila výrazně delší skladovatelnost, a to až na 17 dní. Aerobně skladované vzorky ryby měly trvanlivost pouze 4 dny. Kombinace aerobního balení a přídavek silice z oregana zajistila skladování na 7-8 dní, zatímco vzorky s absorbentem ethylenu do 14 dní.

Studie Aday & Caner (2013) aplikovala absorbenty kyslíku při balení čerstvých jahod. Jahody podléhají rychlému kažení v důsledku oxidace nebo mikrobiální aktivitě. Různé typy absorbentů byly aplikovány a následně sledovány. V závěru studie uvádí, že lapače kyslíku představují významnou ochranu jahod před znehodnocením během skladování.

Nežádoucí přítomnost kyslíku může být způsobena nedostatečným odsáním během balícího procesu, přítomnosti v potravině, špatnému těsnění obalu, či pronikání přes obalový materiál (de Abreu et al. 2012). Článek Cichello (2015) doporučuje využití hermetického uzávěru v kombinaci s modifikovanou atmosférou. Kyslík v horní části obalu je možné odstranit vakuovým balením nebo pomocí atmosféry inertního plynu v prostředí obalu (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) případně obojím. Odstranění stopových množství kyslíku je dále velmi nákladným procesem (de Abreu et al. 2012). Systémy sloužící k pohlcování nežádoucího kyslíku představují alternativu vakuovému a plynovému balení, které zlepšují kvalitu a prodlužují trvanlivost potravin. Výhodou takových systému je také snižování nákladů na balení (Ozdemir & Floros 2004).

Funkci absorbentů kyslíku může plnit celá řada látek, a to jako kovové lapače, organické, anorganické, polymerní a enzymatické viz tabulka č. 1

Tabulka č. 1 Přehled typů absorbentu kyslíku (Gaikwad et al. 2018).

Typ absorbentu	Látka pohlcující kyslík
<b>Kovový</b>	Železo (oxid, sůl)
<b>Organický</b>	Kyselina askorbová, kyselina isoaskorbová, tokoferol, hydrochinon, katechol, lignin, kyselina gallová
<b>Anorganický</b>	Siřičitan, thiosíran, hydrogensířičitan, oxid titaničitý
<b>Polymerní</b>	Oxidačně-redukční pryskyřice
<b>Enzymatický</b>	Glukozoxidáza, laktáza, ethanoloxidáza

Kovové sorbenty kyslíku patří mezi nejvyužívanější formy již řadu let. Jak uvádí autoři článku Gaikwad et al. (2018), komerční úspěch spočívá ve vysoké účinnosti a nízkých nákladech. Kromě železa byl pro tyto účely testován i prvek palladium, který byl zakomponován do vrstvy filmu pro zachycení zbytkového kyslíku. Optimální tloušťka aplikace palladia byla v rozmezí 0,7 až 3,4 nm (Gaikwad et al. 2018).

V případě se železa jsou nejčastěji využívány sáčky s aktivním obsahem. Materiál tohoto sáčku je vysoce propustný pro kyslík a v určitých případech i pro vodní páru. Tento již známý systém pohlcování kyslíku byl poprvé vyvinut a uveden na trh obalů pro potravinářské účely společností Mitsubishi Gas Chemical Company, známou také jako Ageless. Množství použitého absorbentu v sáčku a jeho typ se odvíjí od počáteční hladiny kyslíku v balení, dále množství kyslíku přítomného v potravine, míry propustnosti obalového materiálu a jeho povahy (tvar, velikost, hmotnost aj.) a také od vodní aktivity potraviny. Také systémy jsou vhodné nejen pro chladírenské či mrazírenské podmínky, ale i pro výrobky určené k mikrovlnnému ohřevu (Ozdemir & Floros 2004). Mezi velké výhody tohoto systému patří snížení na velice nízké hladiny, a to až na méně než 0,01 %, což je značně nižší hladina, než je možné dosáhnout při balení v atmosféře (0,3 – 3 %). Takto nízká hladina může být udržována v závislosti na propustnosti obalu. Nevýhodou je nutnost určitých balicích operací pro zakomponování jednotlivých sáčků do každého balení, dále specifické atmosférické podmínky (nízký obsah CO<sub>2</sub>, vlhkost aj.). Vlhkost může představovat obzvláště důležitý faktor, jelikož v případech, kdy potravina obsahuje vysoké množství vody, může být sorbent neúčinný. Pronikne-li vlhkost do prostředí sorbentu, vznikne vodná kaše. Tato složka díky své konzistenci může stékat přímo na potravinu a významně tak ovlivnit její vzhled. Pro potraviny s vyšším obsahem vody nebo pro nápoje je jako lapač kyslíku využívána například kyselina askorbová (de Abreu et al. 2012). Co se dalších nevýhod týče, lze zmínit, že sáčky sloužící jako pohlcovače kyslíku mohou způsobit náhodné požití spolu s potravinou nebo hrozí pozření dětmi. Tento problém je například v USA z bezpečnostních důvodů řešen dle FDA (Úřad pro kontrolu potravin a léčiv) nápisy „Nejezte“. Řešením může být i uložení sáčků do sekundárních obalů, to ovšem značně zvyšuje náklady (Ozdemir & Floros 2004).

V současné době existuje celá řada variant absorbentů kyslíku (Gaikwad et al. 2018). Sáčky mohou být také nahrazeny fóliemi, do kterých jsou pohlcovače kyslíku zakomponovány. Tato metoda mimo jiné pomůže vyřešit i výše zmiňovaný problém s náhodným požitím. Aktivní látky mohou být zakomponovány do pevného obalového materiálu například nízkohustotního polyethylenu, a to do různých vrstev včetně adhezivních či lakovaných.

Vícevrstvé pohlcovače kyslíku vykazují účinnější absorpční než jednovrstvé. Absorbent kyslíku uložený ve vrstvě, která je vysoce propustná pro kyslík je využíván k absorpci kyslíku přítomného uvnitř obalu. Proniknutí kyslíku z vnějšího prostředí do absorbující vrstvy není možné díky vysoce nepropustné pro kyslík bariéře.

Pohlcovače kyslíku ve formě fólie umožňují absorpci kyslíku prakticky ze všech povrchů potravin, které přijdou s fólií do kontaktu. Rychlost absorpce kyslíku z takovýchto fólií závisí na jejich tloušťce a ploše. Ačkoliv mohou fólie velice účinně pohlcovat kyslík, je zde riziko vzniku nežádoucí příchuti potravin.

Společnost Cryovac Corporation vyvinula film sloužící jako pohlcovač kyslíku na bázi železa. Výhodou této fólie je, že ji spotřebitel nevidí, jelikož je bezbarvá, tudíž ani nemění vzhled původního spotřebitelského obalu. Neméně důležité je univerzální použití, a to jak pro potraviny s vysokou, tak i s nízkou vodní aktivitou.

Systémy založené na zachycování kyslíků prostřednictvím enzymů jsou finančně náročnější než předchozí metoda. Enzymatické systémy jsou často značně citlivé na teplotu,

vodní aktivitu, pH a rozpouštědlo přítomné v sáčku. Zmiňované body ovšem omezují široké využití takových systémů na bázi enzymů (Ozdemir & Floros 2004). Článek (Cichello 2015) dále uvádí, že přes široké a spolehlivé využití sáčků s obsahem železa v potravinářství, došlo k záměně sáčků na etikety či štítky. Takové štítky se lehce přizpůsobí požadované velikosti obalu i aplikaci a kapacitě.

### 3.6.1 Antioxidační látky

Antioxidanty představují důležitou složku přídatných látek v potravinářském průmyslu. Pozornost je antioxidantům věnována díky jejich schopnosti zabránit či oddálit oxidaci, kažení či žluknutí potravin (André et al. 2010).

Oxidace je jedním z nejvýznamnějších faktorů při znehodnocení potravin, a to během výroby, přepravy, zpracování i skladování. Důsledkem oxidace potravin je významné zkrácení jejich trvanlivosti, ale i zdravotní rizika, snížení nutriční hodnoty poklesem množství esenciálních mastných kyselin a proteinů, vitaminů rozpustných v tucích. Dochází také k produkci nežádoucích pachů a příchutí (Sanches-Silva et al. 2014). V některých případech vede oxidace ke vzniku toxických aldehydů (Gómez-Estaca et al. 2014). Může docházet ke změnám barvy vlivem degradace pigmentů, a i to je důležitým faktorem při výběru potravin spotřebitelem (Sanches-Silva et al. 2014).

Dle legislativy Evropské unie lze využívat v potravinářství několik povolených antioxidantů. Aplikace antioxidantů v balících systémech pomáhá oddálit nejen oxidaci lipidů, ale i denaturaci proteinů apod. (Sanches-Silva et al. 2014). V důsledku významných ekonomických ztrát při znehodnocení potravin vyvíjí potravinářský průmysl různé metody a způsoby snížení oxidace. Kromě pohlcovačů kyslíku lze využít k těmto účelům i antioxidanty (Sanches-Silva et al. 2014). Kombinace vakuových obalů či obalů s modifikovanou atmosférou a obaly s dobrými bariérovými vlastnostmi pomáhají snížit obsah kyslíku v balení. Kvůli zbytkovému kyslíku však není tato metoda vždy spolehlivá. V jiných případech není možné danou potravinu balit bez kyslíku např. čerstvé červené maso nebo některé ryby a riziko oxidace je tedy výrazně vyšší (Gómez-Estaca et al. 2014). Aplikace antioxidantů přímo na povrch potravin má taktéž řadu omezení (Mastromatteo et al. 2010). Velkou výhodou představují speciální antioxidačně aktivní balení potravin, které zajistí trvalé uvolňování antioxidantů během celé doby skladování (Gómez-Estaca et al. 2014).

Taktéž antioxidanty pomáhají dle článku autorů Lanina et al. (2007) předcházet karcinogenním, kardiovaskulárním a neurologickým onemocněním. Přesto, že bylo provedeno velké množství studií antioxidantů (André et al. 2010), jejich bezpečnost byla mnohokrát zpochybňována, jak uvádí Yang et al. (2002). Autoři Guan et al. (2006) ve svém článku uvádí, že nadměrné používání syntetických antioxidantů přidávaných do potravin může způsobovat tvorbu toxických látek jež ohrožují lidské zdraví. Studie Saad et al. (2007) provádějící stanovení fenolických antioxidantů pomocí HPLC (vysokoúčinné kapalinové chromatografie) taktéž k závěru, že u potkanů byla nadměrná expozice antioxidantů jako BHA (butylhydroxyanisol) nebo BHT (butylhydroxytoluen) spojena s rozvojem rakoviny.

Přirozeně antioxidační obaly potravin mají ve srovnání s přidáváním antioxidantů přímo do potravin bezesporné výhody. Důraz se klade především na antioxidanty dostupné například v bylinách či kořenech, zkrátka o přírodní antioxidanty jako  $\alpha$ -tokoferol, katechin, kvercetin, karvakrol, kyselina kávová, ale i rostlinné extrakty, například z rozmarýnu (Sanches-Silva et al. 2014).

Antioxidanty je možné přímo zakomponovat do obalových materiálů (Sanches-Silva et al. 2014). Jedná se o aktivní balení, kdy je povolena migrace aktivní složky tedy antioxidantu do prostředí potravin či přímo do potravin (André et al. 2010). Přidávání antioxidantů do obalů vyvolává zájem díky výhodám ve srovnání s přidáváním antioxidantů přímo do potravin. Roste také velký zájem spotřebitelů o přirozené antioxidanty, které nevykazují toxikologické vedlejší účinky např. karcinogenitu, ale zároveň mají vlastnosti odpovídající syntetickým antioxidantům (Sanches-Silva et al. 2014), ačkoliv řada z nich má horší stabilitu (Saad et al. 2007). Mezi zdroje přírodních antioxidantů využívaných v potravinářském průmyslu patří:

- skořice (*Cinnamomum zeylanicum* L.)
- oregano (*Origanum vulgare* L.)
- hřebíček (*Syzygium aromaticum* L.)
- rozmarýn (*Rosmarinus officinalis* L.)
- zázvor (*Zingiber officinale* Rosc.)
- citronová tráva (*Cymbopogon citratus* (DC.)
- zelený čaj (*Camellia sinensis* L.)
- máta (*Mentha spicata* L.)
- kůra granátového jablka (*Punica granatum* L.)

Již zmiňovaný rozmarýn a jeho extrakty již byly zakomponovány do obalových materiálů potravin. Rozmarýn lékařský je pro své známe účinky hojně využíván nejen v potravinářství, ale i v medicíně. Obsahuje flavony (apigenin, hesperetin), fenolické diterpeny (rosmarol, karnosol) a fenolové kyseliny (kyselina rozmarýnová, kávová). Silice získaná z oregana se vyznačuje nejen antioxidačními účinky, ale i antimikrobiálními vlastnostmi. Významnou složkou související s antioxidační kapacitou v oreganu je kyselina rozmarýnová. Výtažky z oregana ve formě silice byly použity u aktivního balení hovězího masa, kde účinně prodlužovaly jeho trvanlivost (Sanches-Silva et al. 2014).

Již využívané přírodní antioxidanty v potravinářství jako složky aktivních obalů jsou například tokoferoly. Tyto látky jsou klasifikovány jako bezpečné pro potravinářské účely. Příkladem je  $\alpha$ -tokoferol, používaný k ochraně polymerů během jejich zpracování a dále jako složka aktivního obalu. Byl vyvinut vícevrstvý polymerní aktivní obal, kdy vnitřní vrstva nízkohustotního polyethylenu obsahovala  $\alpha$ -tokoferol. Tento balicí systém zajistil zpomalení oxidace lipidů u sušeného mléka. V aktivním balení lze také použít karvakrol, avšak nevýhodou je potencionální nežádoucí změna organoleptických vlastností. Využit lze pro tyto účely dále kvercetin a katechin, tedy netěkavé flavonoidy (Sanches-Silva et al. 2014).

Studie autorů De Abreu et al. (2011) se zabývala aplikací obalového filmu s obsahem antioxidantů při balení platýse obecného. Ryby jsou obecně náchylné ke kažení a podléhají oxidaci. Některé studie uvádí dlouhou skladovatelnost této konkrétní ryby na ledu a v modifikované atmosféře. Možností, jak oddálit či zabránit oxidaci ryb je zakomponování antioxidantů přímo do potravin či do obalového materiálu. V této studii byl použit extrakt ze slupek ječmene a byl zaznamenán pozitivní vliv této aplikace na trvanlivost platýse.

Využitím přírodních zdrojů ve formě slupek slunečnice se zabývala studie Menzel (2020), která tento materiál využila pro výrobu škrobových folií určených k balení potravin. Byly sledovány celkem tři složky, a to kyselina citronová, celulózní vlákna a antioxidační látky. Slupky slunečnice představují vedlejší produkt či výrobní odpad a byly využity pro výrobu antioxidačních škrobových filmů jako potenciální obaly potravin. Kombinace všech složek zajistila výborné vlastnosti obalu. Takové potahové obaly by mohly představovat ochranu před

oxidací lipidů v potravinách jako ořechy či cereálie navíc získané z přírodních zdrojů. Studie reaguje na problematiku využití a recyklace plastového materiálu využívaného nejen v potravinářském průmyslu. Článek uvádí, že pro výrobu obalů je využíváno zhruba 40 % veškerého vyrobeného plastu. V důsledku znečišťování životního prostředí těmito materiály roste snaha o nalezení a vytvoření biologicky odbouratelných a netoxických alternativ k běžně užívaným materiálům jako polyethylen, polypropylen, polystyren apod. (Menzel 2020)

### 3.7 Absorbenty vlhkosti

Nahromaděná vlhkost uvnitř balení potravin může vést k růstu bakterií a plísní a následně ke kažení potravin. Znehodnocení potravin může vlhkost způsobovat u potravin s vysokou i velmi nízkou vodní aktivitou. Obzvláště suché potraviny s nízkou aktivitou jsou náchylné i na velmi nízkou relativní vlhkost během skladování (Gaikwad et al. 2019). U potravin s vysokou vodní aktivitou jako jsou ryby, maso či čerstvé produkty je nutné vlhkost regulovat, aby nedocházelo k vysychání potravin (Rux et al. 2015). Účinným způsobem, jak regulovat vlhkost v obalových systémech je využití absorbentů vlhkosti. Absorbenty lze použít v různých formách jako jsou sáčky používané u potravin jako sušenky, koření, ořechy, či sušené mléko (Ozdemir & Floros 2004), dále ve formě podložek, polštářků či folií (Gaikwad et al. 2019).

Hojně využívány absorbenty ve formě sáčků obsahují absorbující materiály mezi které patří silikagel (Ozdemir & Floros 2004; Wyrwa & Barska 2017), dále zeolity, celulózová vlákna, chlorid sodný (Wyrwa & Barska 2017), oxid vápenatý, modifikovaný škrob či přírodní jíl, kdy nejčastější je silikagel díky tomu, že není toxický a korozivní (Ozdemir & Floros 2004).

Dle článků autorů Wyrwa & Barska (2017) a Gaikwad et al. (2019) lze absorbenty vlhkosti rozdělit na dvě kategorie. První z nich jsou regulátory vlhkosti, a to v horním prostoru obalů. Do druhé kategorie patří absorbenty, jež pohlcují tekutiny vytékající z potravin jako například vložky či polštářky pod v balení čerstvého masa, jak uvádí i autoři (Ozdemir & Floros 2004) článku o aktivních systémech balení potravin, ale i u sýrů, ořechů či koření (Wyrwa & Barska 2017). Pro konzervované potraviny (maso, drůbež, ryby aj.) jsou obvykle využívány podložky schopné absorbovat vodu. Další možností jsou superabsorpční polymerní laminátové filmy. Absorbující vrstva je tvořena z polymeru a pryskyřice (Ozdemir & Floros 2004).

Autoři (Gaikwad et al. 2019) také v článku popisují tři způsoby regulace vlhkosti v obalových systémech. První je snížení vlhkosti použitím modifikované atmosféry nebo vakuového balení. Druhým způsobem je prevence. Zajistit prevenci proti vlhkosti lze obalovými materiály s dobrými bariérovými vlastnostmi. Poslední možností je odstranění vlhkosti jako například u již zmiňovaného balení čerstvého masa (Gaikwad et al. 2019).

Důvodem regulace nadměrné vlhkosti v obalových materiálech je snaha o potlačení růstu nežádoucích mikroorganismů a také vznik tzv. mlžného filmu uvnitř obalu. Akumulace vody je značně výraznější u materiálů nepropustných pro vodní páru. Nadměrný vznik vody uvnitř potravinového obalu vzniká v důsledku metabolických pochodů u čerstvých potravin nebo kolísání teplot v obalech (Ozdemir & Floros 2004)

Studie autorů (Rux et al. 2015) se zabývala aplikací materiálů regulujících vlhkost u hub. Houby mají vysokou rychlost transpirace, a proto je vlhkost velmi důležitým faktorem z hlediska jejich trvanlivosti. Nízká relativní vlhkost může zapříčinit ztrátu hmotnosti a pevnosti, zatímco vysoká relativní vlhkost přispívá ke kondenzaci par a následné změně barvy a mikrobiálnímu růstu (Mahajan et al. 2008). Byl vyvinut aktivní obalový systém zajišťující regulaci vlhkosti. Tento obal obsahuje aktivní látku ve formě chloridu sodného a je složen ze

tří vrstev, a to bariérová, aktivní a těsnící vrstva. Cílem studie bylo sledovat podmínky skladování s použitím různých obalových materiálů. Bylo zjištěno že polypropylenové obaly zajišťující regulaci vlhkosti dosahovaly lepších výsledků skladování.

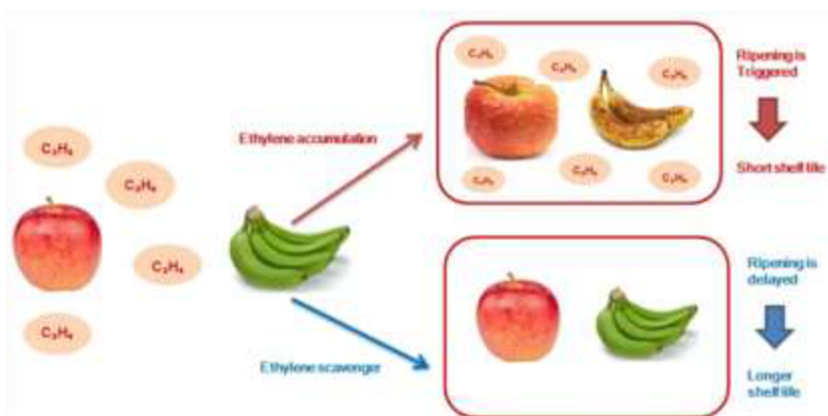
Skladováním hub s využitím regulátorů vlhkosti se zabývala taktéž i studie autorů Shao et al. (2020). Byl vyvinut dvouvrstvý jedlý film a aktivní složkou karboxymetyl chitosan. Tato aktivní složka reguluje vlhkost, která je při skladování hub velmi důležitá. Bylo zjištěno, že takový film účinně reguluje vlhkost uvnitř balení a zároveň zabraňuje průniku vlhkosti do vnějšího prostředí. Kvalita hub během skladování byla prodloužena a taktéž bylo oddáleno nežádoucí hnědnutí.

### 3.8 Absorbenty etylenu

#### 3.8.1 Etylen a jeho účinky

Etylen je považován za růstový hormon neboli regulátor růstu (Martínez-Romero et al. 2007). Tato látka tvořená vyššími rostlinami a řídí fyziologické pochody, vývoj, reguluje růst (Gaikwad et al. 2020), klíčení (Wei et al. 2021) a stárnutí rostlin (Gaikwad et al. 2020). Zvyšuje rychlost respiračních procesů klimakterického ovoce a zeleniny, a to vede ke zkrácení trvanlivosti (Ozdemir & Floros 2004) v důsledku rychlého dozrávání a tvorbě hnilob (Wei et al. 2021). Eliminace etylenu z prostředí obalového materiálu tak zpomaluje stárnutí plodin a zároveň prodlužuje trvanlivost (Ozdemir & Floros 2004).

Čerstvé potraviny jsou citlivé na skladovací podmínky a jsou náchylné k nežádoucím změnám (Sadeghi et al. 2021). Ovoce a zelenina jsou obzvláště citlivé na etylen v případě dlouhodobé expozice dochází ke zhoršení kvality a organoleptických vlastností viz obrázek č. 1 (Gaikwad et al. 2020).

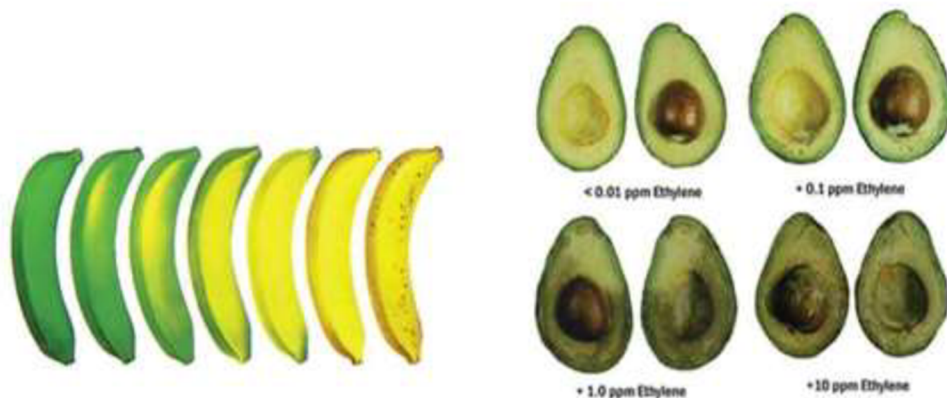


Obrázek 1 Vliv etylenu na organoleptické vlastnosti ovoce (Gaikwad et al. 2020).

Obrázek č. 1 znázorňuje posklizňovou akumulaci etylenu (nahore) a negativní dopad na ovoce a stav po použití absorbentů etylenu (dole) (Gaikwad et al. 2020).

Do obalových systémů jsou zakomponovány chemické látky zachycující nejen kyslík a oxid uhličitý, ale i etylen (Sadeghi et al. 2021). Etylen přispívá k rychlejšímu odbourávání chlorofylu v listové zelenině či ovoci (Ozdemir & Floros 2004). Avšak spotřebitelé vybírají potraviny na základě vlastností jako je právě barva, textura, tvar nebo vůně. Etylen je plyn, který působí pozitivně mluvíme-li o zrání ovoce a zeleniny a přípravy k prodeji na trhu a negativně jedná-li se o znehodnocení potravin a zkrácení skladovatelnosti viz obrázek

(avokádo). U hlávkového salátu je odbourání chlorofylu děj nežádoucí, zatímco při zrání citronu je vnímán pozitivně. Avšak během skladování a maloobchodního prodeje je etylen považován za kontaminující látku a je vyžadována jeho kontrola a eliminace. Tento bio–mechanismus etylenového plynu zásadním způsobem ovlivňuje růstový cyklus rostlin a jejich plodů včetně somatické embryogeneze, vývoji a růstu kořenů, klíčení semen, zrání, stárnutí a opadávání listů i květů. Fyzický stres, ale i nevhodná manipulace při sklizni, přepravě a skladování může urychlit produkci etylenu. Kontrola podmínek skladování jako teplota, vlhkost, přítomnost patogenů, mechanická zátěž aj. je velice důležitá (Sadeghi et al. 2021).



Obrázek 2 Pozitivní (banán) a negativní (avokádo) účinky etylenu (Sadeghi et al. 2021).

### 3.8.1 Klimakterické a neklimakterické ovoce a zelenina

Na základě respiračních procesů lze ovoce a zeleninu rozdělit na klimakterické a neklimakterické (Hu et al. 2019). Klimakterické ovoce a zelenina se vyznačují vysokou rychlostí respiračních pochodů a emisemi etylenu během procesu zrání a skladování (Sadeghi et al. 2021). Takové plody jsou tedy schopny dozrávání i po sklizni na rozdíl od neklimakterických (Hu et al. 2019). Do této skupiny patří jablka, meruňky, avokádo aj. (Martínez-Romero et al. 2007). Naopak neklimakterické označení se týká ovoce a zeleniny, u kterých není pozorována výrazná změna v rychlosti respirace a hladiny etylenu zůstávají na bazálních koncentracích viz tabulka č. 2 (Sadeghi et al. 2021).

Tabulka č. 2 Přehled kategorií čerstvého ovoce a zeleniny dle množství emisí etylenu (Sadeghi et al. 2021)

Tabulka č. 2. Kategorie ovoce a zeleniny dle množství emisí etylenu

<b>Nízké</b> $<1,0 \text{ ml.kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	<b>Střední</b> $1-10 \text{ ml.kg}^{-1} \cdot \text{h}$	<b>Vysoké</b> $10-100$ $\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	<b>Velmi vysoké</b> $> 100$ $\text{ml.kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
Ananas, artyčok, květák, datle, celer, citron, červený řepa, pomeranč, rebarbora, špenát, zelený chřest	Banán, mango, rajče, švestka	Broskev, hruška, meruňka, nektarinka	Avokádo, jablko, mučenka

### 3.8.1 Zrání ovoce a zeleniny

Zráním ovoce a zeleniny se rozumí fyziologický proces, zahrnující celou řadu chemických, biochemických a fyzikálních změn. V důsledku toho se stávají ovoce a zelenina chutnými a atraktivními pro spotřebitele. Zrání je regulováno etylenem a mezi hlavní změny obzvláště u klimakterického ovoce a zeleniny, které během něj nastupují patří změna barvy (ztráta zelené a zbarvení do žlutých, oranžových, červených či jiných odstínů), pevnosti (změkčení v důsledku degradace složek buněčných stěn), chuti (zvyšuje se obsah sacharidů, a naopak se snižuje množství organických kyselin) a chuti (vzniká aroma důsledkem produkce těkavých sloučenin). I po sklizni u ovoce a zeleniny přetrvává proces transpirace, respirace aj. V důsledku toho existuje pravděpodobnost vzniku ztrát (Martínez-Romero et al. 2007).

Jakmile nastane v klimakterickém ovoci syntéza etylenu v malém množství, rychlost jeho produkce výrazně vzroste. Ovoce a vegetativní pletiva syntetizují v počátečních fázích malé množství etylenu. Rychlý nárůst jeho produkce je spojen s již zmiňovaným procesem zrání. Etylen vykazuje vysokou biologickou aktivitu již při nízkých koncentracích, avšak tyto koncentrace se odvíjí od druhů ovoce a zeleniny v závislosti na jejich citlivost k etylen. Byl pozorován vztah mezi atmosférickou koncentrací etylenu a dobou skladování. U vzorků s vyšší koncentrací tohoto plynu byly zaznamenány jednoznačně vyšší ztráty a horší skladovatelnost. Negativní účinky etylenu však záleží na více faktorech jako teplota, trvání expozice, koncentrace ethylenu apod. Často jsou nežádoucí jevy provázeny fyziologickými poruchami jako hořkost, klíčení, barevné změny a pachutě. V závislosti na všechny zmiňované nepříznivé účinky, je doporučováno udržovat a regulovat individuálně dle typu potraviny koncentraci etylenu ve skladovacích prostorech (Martínez-Romero et al. 2007).

Na základě všech informací a charakteristik konkrétního ovoce je nutné dbát na několik aspektů během skladování:

- Inhibice či zpomalení zracího procesu u ovoce a zeleniny
- Inhibice růstu nežádoucích mikroorganismů
- Balení v modifikované atmosféře napomáhá stárnutí ovoce či zeleniny, snižuje se spotřeba živin a prodlužuje se trvanlivost
- Zamezení zamlžování v důsledku kondenzace vodní páry na obalové vrstvě, které by mohlo způsobit mikrobiální růst



### 3.8.2 Další zdroje etylenu

Kromě etylenu pocházejícího z rostlinných částí představuje významný zdroj i fermentace biomasy činností mikroorganismů jako jsou některé bakterie a houby. Vystavení etylenu může dojít i v potravinovém řetězci, a to uvnitř obalových materiálů, ve skladovacích prostorech, během manipulace a přepravy, ale i v domácích podmínkách. Dále mohou být zdrojem etylenu i složky polutantů ovzduší. Etylen z těchto zdrojů má podobné účinky tomu endogennímu, a proto je nutné sledovat nejen vnitřní, ale i vnější podmínky prostředí. Ve skladovacích komorách může být řešením dostatečné a vhodné větrání čerstvým vzduchem, avšak může v důsledku toho docházet k energetickým ztrátám, ztrátám vlhkosti apod. (Martínez-Romero et al. 2007).

## 3.9 Manganistan draselný

### 3.9.1 Vlastnosti manganistanu draselného

Nejběžnějším systémem zachycujícím etylen je využití manganistanu draselného ( $\text{KMnO}_4$ ). Manganistan draselný byl pro zvýšení jeho účinnosti zabudováván do obalových materiálů (např. LDPE) nebo vložen ve formě propustných sáčků do obalu.  $\text{KMnO}_4$  má schopnost přeměňovat plynný etylen na acetát a ethanol prostřednictvím oxidačních reakcí. Zmiňované látky nevykazují nepříznivé účinky na čerstvé potraviny.  $\text{KMnO}_4$  ve formě vysoce propustných sáčků zajišťuje praktickou metodu, při které dochází k oxidaci etylenu bez přímého kontaktu manganistanu a potraviny. Důvodem je toxicita manganistanu draselného na lidský organismus (Sadeghi et al. 2021). Sáčky, případně i fólie mohou být dodávány v kombinaci s některými substráty jako je silikagel, oxid hlinitý, zeolit aj. (Martínez-Romero et al. 2007)

Účinnost manganistanu draselného při zachycování etylenu ovlivňuje řada faktorů. Patří mezi ně teplota, relativní vlhkost, vlastnosti materiálů a v neposlední řadě i množství samotného  $\text{KMnO}_4$ . Ukázalo se, že i tvar manganistanu má vliv na jeho účinnost. Nejlepších výsledků je dosaženo s granulami v porovnání s práškem a vlákny. Dále byla pozorována silnější účinnost nanočástic  $\text{SiO}_2$  impregnovaných manganistanem draselným oproti gelovým materiálům obsahujícím  $\text{KMnO}_4$ .  $\text{SiO}_2$  představuje netoxický a přírodní materiál vyhovující jako matrice pro použití v aktivním obalovém systému díky svému velkému povrchu. Impregnace  $\text{SiO}_2$  manganistanem draselným dokázala zajistit dobrou skladovatelnost plodů tykve, zajistila snížení degradace chlorofylu, úbytku hmotnosti i mikrobiální aktivity. Avšak nevýhodou použití  $\text{SiO}_2$  je nízká saturační kapacita během eliminace etylenu. Bylo zjištěno, že účinnost tohoto systému se již po 60 minutách snížila na 80 %. Jsou proto využívány jiné matrice, a to například oxid hlinitý  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Tato látka má porézní matrici, vysokou tepelnou stabilitu, dostatečně velký povrch i adsorpční kapacitu. Výhodou jsou taktéž nízké náklady a fakt, že nevykazuje toxicitu. Tento systém byl aplikován u pokusu o prodloužení trvanlivosti jahod a baleného ovoce. Částice  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , jež byly impregnovány manganistanem draselným zajistili snížení obsahu etylenu až o 80–100 %. Zatímco částice oxidu hlinitého s absencí manganistanu dokázaly redukovat etylen pouze z 21 % (Sadeghi et al. 2021).

### 3.9.1 Využití manganistanu draselného v praxi

Studie autorů (Murmu & Mishra 2018) prováděla testování vhodného aktivního balení ovoce guavy s použitím absorbentu vlhkosti a absorbentu etylenu ve formě manganistanu

draselného. Zmiňované ovoce podléhá rychlému kažení a uvádí se vysoké riziko poškození mrazem při teplotě nižší než 13 °C, avšak tento fakt je vyvrácen v případě použití modifikované atmosféry. Jako absorbent etylenu byl použit sáček, obsahující 0,4g  $\text{KMnO}_4$ . Studie probíhala po dobu třiceti dní při 12 °C. Následně bylo ovoce skladováno při 30 °C dva dny. Byly zaznamenávány ztráty způsobené výkyvy teplot a dále změny složení ovoce (Murmu & Mishra 2018). Použití manganistanu draselného vedlo k oxidaci přítomného etylenu na vodu a oxid uhličitý (Yan & Schwartz 1999). Studie (Murmu & Mishra 2018) taktéž uvádí, že přidání předem vypočteného obsahu  $\text{KMnO}_4$  v sáčku do modifikované atmosféry významně prodlouží trvanlivost dané potraviny. V případě konkrétní plodiny je však nutné brát v úvahu její vysokou rychlost transpirace, což zapříčiňuje případnou kondenzaci uvnitř obalového systému. Kromě absorbentu etylenu je tedy nezbytné aplikovat i absorbenty vlhkosti, které pomohou snížit rozvoj bakterií a plísní (Murmu & Mishra 2018). Použití  $\text{KMnO}_4$  podobným způsobem potvrzuje i studie zabývající se různými podmínkami skladování avokáda. Byly testovány skladovací podmínky v závislosti na faktorech jako je tepelné zpracování ovoce a manganistan hrál roli absorbentu etylenu prodloužující trvanlivost, což je obzvláště při distribuci na velké vzdálenosti přínosem (Sanxter et al. 1994). Na široké využití manganistanu draselného v potravinářském průmyslu poukazuje i studie autorů Chaves et al. (2007) zabývající se aplikací  $\text{KMnO}_4$  u jablek skladovaných v PVC folii a závislostí mezi množstvím manganistanu a dobou skladování. Výsledkem studie bylo úspěšné oddálení dozrávání a prodloužení trvanlivosti jablek. Hrušky po sklizni podléhají celé řadě biochemických procesů a důsledkem může být nejen nežádoucí hnědnutí, ale celá škála kvalitativních změn. Řeším tohoto problému je použití obalových materiálů obsahujících absorbenty etylenu a oxidu uhličitého, které popisuje následující studie autorů (Nugraha et al. 2015). Oxid uhličitý a etylen patří mezi významné faktory způsobující hnědnutí, avšak autoři uvádí, že tou hlavní příčinou je zejména oxid uhličitý. V případě, že dojde k nahromadění vyššího množství  $\text{CO}_2$  může docházet k hnědnutí dužiny, což taktéž závisí na nízké koncentraci kyslíku. Hnědnutí postihuje nejdříve pouze dužinu, tudíž na povrchu nelze zaznamenat vizuální změny. Studie probíhající sedm měsíců porovnávala varianty obalů s absorbentem oxidu uhličitého, obalů s kombinací absorbentu etylenu a zároveň oxidu uhličitého a třetí variantu bez aktivní složky. Po uplynutí doby sledování byly vzorky plynů z prostředí obalů analyzovány plynovou chromatografií. Dále byla hodnocena barva slupky pomocí spektrofotometru a vizuální posouzení hnědnutí dužiny. Závěrem bylo stanoveno, že největší míra hnědnutí postihla vzorky, u kterých nebyly aplikovány absorbenty  $\text{CO}_2$ , tudíž jeho hladina byla vysoká a zároveň vykazovaly nízké koncentrace kyslíku. Dále bylo zjištěno, že 3%  $\text{CO}_2$  má za následek hnědnutí i na povrchu, a to při skladovací teplotě 1 °C. U kontrolních vzorků bylo zaznamenáno hnědnutí již při nízkých koncentracích  $\text{CO}_2$  což potvrzuje fakt, že je oxid uhličitý hlavní příčinou hnědnutí hrušek a zároveň při vysokých koncentracích kyslíku. Na základě této studie lze říci, že typ aktivní obalové složky je nutné vybírat pečlivě a individuálně v závislosti na typu potraviny a dalších faktorech (Nugraha et al. 2015). Manganistan draselný byl také využit ve studii Choehom et al. (2004) jako jedna z aktivních složek modifikované atmosféry sloužící k zamezení stárnutí a skvrnitosti slupky banánů odrůdy Sucrier, pro které je tento proces typický. Výsledkem této studie bylo, že hlavní roli hrála koncentrace kyslíku. Aplikace absorbentu etylenu ani oxidu uhličitého neměli na problematiku zásadní vliv (Choehom et al. 2004). Naopak v případě studie autorů Kudachikar et al. (2011) u banánu odrůdy „Robusta“ z Indie mělo využití manganistanu draselného význam. Indie patří k významným vývozcům této komodity, avšak distribuce, manipulace a skladovací podmínky představují určitá omezení. Velký potenciál představuje použití modifikované atmosféry, který zajistí bezpečnou distribuci na velké vzdálenosti. Cílem bylo zjistit účinnost použití sorbentu

kyslíku, oxidu uhličitého a etylenu v modifikované atmosféře. Sáčky obsahující manganistan draselný nazývaný v této studii také jako Green Keeper, měly eliminovat vyprodukovaný etylen. Byly porovnávány účinky samotné modifikované atmosféry a kombinace s absorbentem etylenu, a to jak nezralých, tak zralých banánů. Výsledkem sledování bylo v případě využití samotné modifikované atmosféry (s LDPE folií) prodloužení doby skladování na 5 týdnů. Kombinace modifikované atmosféry a manganistanu draselného zajistilo skladovatelnost až na 7 týdnů (Kudachikar et al. 2011). Naopak Picón et al. (1993) se ve své studii zabývali podmínkami skladování jahod za použití modifikované atmosféry, tak etylenových absorbentů ve formě manganistanu draselného došli k závěru, že je použití bylo spojeno s vyššími náklady bez prokázaných účinků.

### **3.9.1 1- methylcyklopropen**

Jablka patří do skupiny dužnatého ovoce (Busatto et al. 2017) označované jako klimakterické vzhledem k tomu, že většina fyziologických procesů a změn je způsobena a řízena etylenem (Xu et al. 2022). Etylen je v ovoci (a zelenině) vnímán skupinou receptorů v přítomnosti kofaktoru mědi (Agarwal et al. 2012). Systémy sloužící k blokování etylenu jsou založeny na těkavých materiálech, jež mohou blokovat místa vázání etylenu. Nastane-li tato situace, etylen se nenaváže na svůj receptor v zelenině či ovoci. Tato metoda funguje na základě deaktivace a oxidace etylenu v horním prostoru obalu. Mezi tyto systémy patří 1-methylcyklopropen (1-MCP), thiosíran sodný (STS) a aminoethoxyvinylglycin (AVG). (1-MCP) patří mezi nejběžnější systémy využívané u čerstvých potravin. STS je využíván u řezaných květin stejně jako AVG. Vzhledem k tomu, že se poslední dva zmiňované systémy vyznačují svoji toxicitou, nelze je využívat v potravinářském průmyslu, jak uvádí autoři Sadeghi et al. (2021).

(1-MCP) v potravinářství slouží pro zachování posklizňové kvality mnoha komodit ať už klimakterických, tak i neklimakterických. Komerčně se využívá u jablek, melounů, banánů, rajčat ale i u řezaných květin. Jako ošetřující přípravek plodin po sklizni je využíván v šesti zemích EU, 15 státech mimo Evropu, a to i ve Spojených státech a Kanadě (Martínez-Romero et al. 2007). Mezi hlavními pozorovanými účinky (1-MCP) bylo snížení koncentrace etylenu, zpoždění barevných změn a zmenšení indexu zrání. Neméně důležitým poznatkem bylo významné snížení hmotnostního úbytku, což přináší výhody nejen z hlediska kvality ale z ekonomických důvodů (Martínez-Romero et al. 2007). Při studii byl systém (1-MCP) aplikován u jablek. Cílem bylo prodloužení trvanlivosti a zpomalení zrání. Tento systém zároveň zachoval jak fenolické, tak i antioxidační sloučeniny jablek v průběhu skladování (Sadeghi et al. 2021). (1-MCP) systém tedy účinně oddaluje dozrávání jablek (ovoce) a tím i jejich změkčení (Busatto et al. 2017). (1-MCP) je schopný se vázat na etylenový receptor s mnohonásobně vyšší afinitou ve srovnání se samotným etylenem, přičemž je aktivní v mnohem nižších koncentracích. Tato sloučenina vzbuzuje zájem z celosvětového hlediska jako látka netoxická ani pro člověka, ani pro životní prostředí (Martínez-Romero et al. 2007).

### **3.10 Ozon**

Fyzikální a chemické vlastnosti silně oxidačního ozonu, mluvíme-li o rozpustnosti ve vodě a reaktivitě, jej činí vysoce účinnou složkou při konzervaci a sterilizaci potravin. Ozon je v potravinářství využíván pro dezinfekci a také pro zajištění trvanlivosti. Dle FDA (2001) byl označen jako bezpečný a obecně uznávaný materiál, schválen k používání u zpracovaných potravin, pro úpravu a skladování. Aplikace ozonu je během posklizňových manipulací

využívána nejen kvůli zpomalení procesu zrání důsledkem eliminace etylenu, ale i pro prevenci omezení růstu bakterií a plísní a v neposlední řadě i snížení výskytu hnilob. Nevýhodou tohoto plynu je jeho nestabilita. Po velmi krátkém časovém období dochází k jeho rozkladu a je proto velice obtížné udržet jeho koncentraci na požadovaných hladinách ve skladovacích prostorech. Riziko, které s sebou použití ozonu v potravinářském průmyslu přináší je jeho toxicita na lidské zdraví vdechnutím. Z tohoto důvodu i Úřad pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (OSHA) v USA stanovil doporučený limit pro expozici zaměstnanců (Martínez-Romero et al. 2007).

### 3.11 Aktivní uhlí

Jevy související s adsorpcí pochází již ze starověku, ačkoli první vědecké poznatky o účinnosti dřevěného uhlí na adsorpci plynu provedli Scheele v roce 1773 a Fontana roku 1777 jak uvádí autoři Martínez-Romero et al. (2007) ve své studii.

Aktivní uhlí se využívá jako absorbent celé řady látek včetně etylenu. Používá se také jako katalyzátor či nosič katalyzátorů při odstraňování nečistot z plynů i kapalin. Pomocí aktivního uhlí lze eliminovat kontaminanty jako organické sloučeniny obsažené ve vodném prostředí, pachové sloučeniny v čistírnách odpadních vod, barviva, farmaceutické kontaminanty (ATB) apod. (Ma & Ouyang 2013). Vzhledem k neustále narůstající kontaminaci vod těžkými kovy jsou stále častěji využívány nejrůznější absorbenty například oxid křemičitý, celulóza a její deriváty nebo jíl. Avšak aktivní uhlí je výrazně účinnější díky svým fyzikálně-chemickým vlastnostem a univerzálnímu použití (Youssef et al. 2004).

Aktivní uhlí má mezoporézní strukturu, díky které je schopné rychle a účinně absorbovat plynné a kapalné molekuly (Sobhan et al. 2019). Adsorpce popisuje jev, kdy se částice (adsorbát), kterou může být plyn, drží povrchu adsorbentu, tedy pevného materiálu. Mezi hlavní adsorbéry etylenu patří uhlí a zeolity. Účinnost aktivního uhlí závisí na celé řadě podmínek jako je velikost a distribuce objemu pórů, velikost povrchu a neméně důležité jsou i kvalita a typ povrchově vázané funkční skupiny (Martínez-Romero et al. 2007).

Pro potravinářské účely je aktivní uhlí využíváno ve formě vláknité, granulované a práškové. Nejvíce vyhovující jsou granule pro jejich snadnější regeneraci a univerzálnosti. Takováto aplikace absorbentu etylenu odpovídá modelu, který byl navržen v roce 1916 Langmuirem (Martínez-Romero et al. 2007).

Pro výrobu aktivního uhlí mohou být použity různé suroviny například papír, zemědělské zbytky (kukuřičné klasy, obilí, třtinová dřevina, zbytky semen) (Ma & Ouyang 2013), dřevo, pecky, jablečná dužina či stonky bavlny (Martínez-Romero et al. 2007). Autoři Ma & Ouyang (2013) studie pro výzkum absorbentu etylenu na bázi aktivního uhlí využili k jeho výrobě kávovou sedlinu a slupky pomela. Jiná studie autorů Stavropoulos & Zabaniotou (2005) použila zbytky olivových semen pro výrobu aktivního uhlí. Tento zdroj se ukázal jako velmi účinný a autoři článku tento absorbent charakterizovali jako „super aktivní uhlí“. Výhodou při výrobě aktivního uhlí je nejen dobrá dostupnost, ale i nízké náklady zmiňovaných zdrojů (Youssef et al. 2004).

Dalšími využívanými adsorbéry jsou zeolity. Jedná se o materiály vulkanického původu. Zeolity mohou být jak přírodní, tak i syntetické a vyskytující se ve více než stovce krystalických struktur. Pro adsorpci etylenu lze využít několik typů systému na bázi zeolitů. Prvním z nich je anorganická membrána pro filtraci, dále polyetylenová folie určená k balení v modifikované atmosféře (MAP) nebo malé sáčky, které jsou zakomponovány dovnitř balení. Polyetylenové

folie obsahovaly přibližně 5 % zeolitů a byly zaznamenány pozitivní účinky při eliminaci etylenu. Výhodou kombinace zeolitů a folií je příznivý vliv nejen na sensorické vlastnosti, ale i v souvislosti s mikrobiálním znehodnocením (Martínez-Romero et al. 2007).

Bailen et al. (2007) provedli studii účinnosti aktivního uhlí jako absorbentu etylenu. Výzkum byl doplněn o katalyzátor v podobě palladia. Tento aktivní systém uzavřených nádob byl aplikován na rajčata. Studie došla k závěru, že etylen byl eliminován a zrání nastalo později v porovnání s kontrolními vzorky. Takové aktivní obaly s aktivním uhlím by mohly složit jako způsob zachování kvality u rajčat během skladování.

Studie Sobhan et al. (2020) se zabývala vývojem filmu na bázi aktivního uhlí, který bude vykazovat antimikrobiální vlastnosti. Antimikrobiální funkce byla testována na potravinových patogenech jako *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli*, kdy film zajistil jejich inhibici. Taktéž byly sledovány a potvrzeny i antifungální vlastnosti filmu testováním přítomnosti plísně *Rhizopus stolonifera*. Aktivní uhlí bylo pro vývoj speciální aktivního filmu zvoleno díky jeho dobrým vlastnostem. Aktivní uhlí zajišťuje dobrou absorpci etylenu a není toxické (Sobhan et al. 2020).

### 3.12 Systémy pohlcující či uvolňující chuť

Obaly potravin, zejména polymerní materiály, mohou interagovat s prostředím v němž je potravina uložena. Sorpce chutí obalovým materiálem vede ke změnám organoleptických vlastností potravin. Pohlcení chuti je vnímáno jak negativně, tak i pozitivně v případě nežádoucích chutí, kde mohou být absorpční systémy řešením (Vermeiren et al. 1999). Přesto, že látky způsobující nežádoucí chuť nepřesahují limity zdravotní bezpečnosti mohou u spotřebitelů vyvolávat obavy a nepříjemnost dané potraviny (Ridgway et al. 2010).

Příchuť se obvykle ztrácí nebo degradují po opracování potravin použitím vysokých teplot nebo po zabalení. Z tohoto důvodu je snaha o nahrazení těchto degradujících složek, které značně ovlivňují organoleptické vlastnosti potravin (Ozdemir & Floros 2004).

Ačkoli některé obalové materiály na bázi plastu příchuť v obalu zadržují, je v některých případech za potřebí dalších systémů, které příchuť uvolňují. Některé odrůdy pomerančů (např. Navel) mohou vykazovat hořkou chuť v důsledku překročení koncentrace limoninu nad 12mg/kg. Při výrobě plastových lahví pro pomerančovou šťávu jsou využívány potahy acetát-butyrátem, které fungují právě jako absorbenty limoninu. Bylo prokázáno, že hořkost se výrazně po této aplikaci snížila (Ozdemir & Floros 2004). Článek autorů (Vermeiren et al. 1999) taktéž popisuje jako příčinu hořké chuti látky limonin a niringin obsaženy v citrusových plodech.

Vznik nežádoucích příchutí či pachů ve vnitřním prostředí obalů potravin vzniká často v důsledku mikrobiálního kažení (Ridgway et al. 2010), ale i oxidací tuků a olejů. Dochází ke tvorbě aldehydů nebo se bílkoviny (například u ryb) štěpí na aminy. Aldehydy i aminy mohou být sice pomocí absorbentů eliminovány, ale dochází tak k maskování přítomných látek, které svědčí o znehodnocení dané potraviny (Ozdemir & Floros 2004). Zdrojem nežádoucích příchutí může být taktéž migrace nežádoucích složek z obalových materiálů, kontaminace z prostředí výroby a skladování nebo přísady použité při výrobě (Ridgway et al. 2010).

### 3.13 Antimikrobiální aplikace

V důsledku výskytu infekcí mikrobiálního původu přenášených potravin, roste zájem i antimikrobiální techniky balení potravin (Gemili et al. 2009). Hlavními metodami konzervace potravin jsou pasterizace, chlazení, mrazení, fermentace či sušení. Dalším způsobem je přidání chemických konzervačních látek, které nabízí výhody při eliminaci mikroorganismů (Ozdemir & Floros 2004).

Již spoustu let roste snaha o minimalizaci růstu nežádoucích mikroorganismů v potravinách. Kažení potravin v důsledku působení bakterií, plísní ale i jejich sekundárních metabolitů tedy mykotoxinů snižuje nejen kvalitu ale i významně ohrožuje zdraví spotřebitelů (Ozdemir & Floros 2004). Toto tvrzení potvrzuje i článek autora Han (2005) zabývající se inovacemi ve sféře obalových materiálů, kam patří antimikrobiální obalové systémy. Na trh se proto dostávají například antifungální či antimykotoxikogenní látky, které jsou součástí aktivních obalů (Jafarzadeh et al. 2022). Antimikrobiální systémy balení potravin jsou účinným řešením prodloužení trvanlivosti a zajištění zdravotní nezávadnosti potravin (Corradini et al. 2013).

#### 3.13.1 Druhy aktivních látek

Látky, které lze pro účely antimikrobiálního balení použít, zahrnují organické kyseliny, a především jejich soli jako například propionáty, sorbáty, benzoáty. Dále lze využít parabeny, dusitany, siřičitany, fosfáty, chloridy, alkoholy, ozon, peroxid vodíku nebo antibiotika (Ozdemir & Floros 2004). Dále to jsou dle autorů Corradini et al. (2013) bakteriociny jako nisin, pediocin a lakticin, enzymy jako lysozym či chitanáza a další látky, které lze do obalů zakomponovat. Již zmíněný lysozym je využíván jako biokonzervační činidlo v obalových systémech. Lysozym je účinný především při ochraně proti gramnegativním patogenním bakteriím (Corradini et al. 2013). Lysozym byl uplatněn v obalových aplikacích na bázi polyvinylalkoholu (Conte et al. 2007) nebo například celulózy (Gemili et al. 2009). Chitosan je látka, která je předmětem nejrůznějších studií v oblasti kosmetiky, farmacie, biomedicíny, zemědělství i potravinářství, a to především díky svým antibakteriálním a imunologickým vlastnostem (Lago et al. 2014). Americkým úřadem pro kontrolu potravin a léčiv (FDA) byl v roce 2002 označen jako bezpečný pro potravinářský průmysl (Sagoo et al. 2002).

Přírodní látky jako výše uváděné (esenciální oleje, lysozym, či nisin) nahrazují chemické konzervační látky. Jejich použití má však některá omezení a dle autorů Devlieghere et al. (2004) se jedná o možné změny organoleptických a texturních vlastností. Dále například aktivita bakteriocinů je omezena úzkým spektrem účinnosti. V jiných případech jsou koncentrace účinných látek příliš nízké, aby mohly zajistit antimikrobiální účinek. Autoři článku taktéž uvádí, že v některých případech i mírné koncentrace NaCl mohou způsobovat neutralizaci antimikrobiálního charakteru. Je tedy nutné zvážit, zda bude varianta přírodních antimikrobiálních aplikací dostačující pro požadované výsledky.

#### 3.13.2 Druhy aplikací

Aktivní složky lze použít ve formě sáčků nebo filmů (potahů) obsahující antimikrobiální látky, sloužící k inhibici mikroorganismů, a tím i k prodloužení skladovatelnosti potravin (Ozdemir & Floros 2004).

Vícevrstvý film či fólie, která vykazuje antimikrobiální vlastnosti je obvykle složena ze čtyř vrstev, a to vnější, kontrolní, bariérové a matricové vrstvy. Antimikrobiální látka je v tomto systému zakomponována do matricové vrstvy. Uvolňování účinné látky do prostředí z matricové vrstvy na povrch potraviny je řízeno vrstvou kontrolní. Reguluje (kontrolní) vrstva se nachází v těsné blízkosti matricové (Ozdemir & Floros 2004).

Aktivní obaly na bázi nejedlých antimikrobiálních filmů lze rozdělit do dvou kategorií. První způsob je založen na filmech obsahujících antimikrobiální činidlo, které migruje na povrch potravin. V druhém případě filmy obsahují aktivní látku (činidlo), která je navázána na povrchovou vrstvu filmu obalového materiálu. V tomto případě hrozí riziko částečné nebo úplné ztráty antimikrobiální aktivity činidla při zabudování do filmu (Ozdemir & Floros 2004). Autoři Lü et al. (2009) v článku zabývajícím se antimikrobiální obaly popisují následující rozdělení:

- 1) Antimikrobiální obaly ve formě sáčků obsahující účinnou látku.
- 2) Zakomponování antimikrobiální látky přímo do materiálu.
- 3) Aplikace potahů či nátěrů na vnitřní vrstvu obalů.
- 4) Imobilizace antimikrobiální látky do materiálu (polymeru) pomocí iontových a kovalentních vazeb.
- 5) Použití polymerů přirozeně vykazující antimikrobiální vlastnosti.

Další metodou antimikrobiálních potahů jsou zeolitové filmy substituované stříbrem. Dochází k pomalému uvolňování stříbrných iontů z obalu do potravin. Jelikož jsou tyto stříbrno-zeolitové fólie nákladné, vyrábí se pouze ve formě velice tenkých vrstev. Aplikují se na vnitřní povrch fólie a jsou účinné pro široké spektrum bakterií, plísní i kvasinek (Ozdemir & Floros 2004).

Ukázalo se, že elektronovým ozářením lze upravit složení povrchu polymerů tak, aby povrch obsahoval aminové skupiny a následně docházelo k inhibici mikroorganismů při kontaktu. V návaznosti na to byla vyvinuta sofistikovanější metoda výroby antimikrobiálních filmů na površích polymerních obalů. Je založena využitím UV excimerového laseru při správné vlnové délce. Nylonové filmy ozařované tímto laserem pro vlnové délce 193 nm, vykazují na vzduchu antimikrobiální aktivitu, které vede k přeměně skupin z amidových na aminové na nylonovém povrchu. Na základě mikrobiálních testů bylo stanoveno, že takové antimikrobiální filmy byly schopny zajistit až 99,9% inhibici bakterie *Klebsiella pneumoniae* (Ozdemir & Floros 2004).

Pro výrobu fungistatického obalu je využíváno potahovacích roztoků sorbatů vápenatého či karboxymethylcelulózy. Do obalů ovoce a zeleniny na bázi nízkohustotního polyetyleny (LDPE) bylo zakomponováno antimykotikum imazalil. Touto látkou impregnované fólie se ukázaly účinnými i pro prevenci rozvoje povrchových plísní u sýrů. Existují i látky, které sice vykazují vysokou schopnost inhibice mikrobiálního růstu, pro použití v obalech určených pro styk s potravinami jsou však zakázané. Příkladem je fungicid benomyl chemicky vázán na ionomerní film (Ozdemir & Floros 2004).

Dle Organizace pro výživu a zemědělství se ročně po celém světě znehodnotí v důsledku napadení plísněmi a jejich mykotoxiny zhruba 1000 milionů metrických tun potravinářských výrobků. Mezi významné zástupce patří rody *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* (Jafarzadeh et al. 2022) a dle autorů Meng & Doyle (2002) je nejdůležitějším zdrojem alimentárních onemocnění *Campylobacter*. Tyto rody mohou napadat celou škálu potravin jako ovoce, zeleninu, pekárenské výrobky, ořechy, čokoládu, cereálie, kávová zrna, luštěniny apod. Ačkoli jsou mykotoxiny v potravinách kontrolovány syntetickými konzervačními látkami, jejich

neustále používání není jak spotřebiteli, tak i výrobci preferováno. Důvodem je, že nejsou biologicky odbouratelné a mohou tak představovat nejen enviromentální, tak i zdravotní problémy. Pro výrobu jedlých povlaků se využívají biologicky odbouratelné látky, jako proteiny nebo polysacharidy, které nezatěžují životní prostředí (Jafarzadeh et al. 2022)

### 3.13.3 Využití v praxi

Absorbenty kyslíku či vlhkosti se využívají například u pekárenských výrobků, těstovin nebo masa. Aniž by byly tyto systémy použity záměrně jako antimikrobiální, důsledkem snížení obsahu kyslíku a vodní aktivity zabraňují nejen oxidaci, ale i mikrobiálnímu růstu (Lü et al. 2009).

Předmětem studie autorů Dawson et al. (2002) se stala aplikace kyseliny laurové a nisinu jako antimikrobiálních látek jež jsou součástí obalů pro masné výrobky. Nisin a kyselina laurová byly aplikovány na sójový film. Látky byly sledovány jednotlivě i společně, a ve všech případech bylo prokázáno snížení počtu bakterií *Listeria monocytogenes* (Dawson et al. 2002).

Využitím antimikrobiálního filmu s oreganovým esenciálním olejem se zabývala následující studie Muriel-Galet et al. (2012). Filmy s aktivní antimikrobiální látkou byly aplikovány na minimálně zpracované saláty. Byla sledována a zaznamenána antimikrobiální aktivita u *Escherichai coli*, *Salmonella enterica* a *Listeria monocytogenes*. Využití esenciálního oleje konkrétně má svá omezení v důsledku intenzivního aroma, které může být vnímáno negativně. Autoři článku jako řešení navrhují vhodné kombinování více aktivních látek v menších koncentracích.

Ozdemir & Floros (2004) v svém článku uvádí, že celofánový film, odolný vlhkosti a zároveň obsahující kyselinu sorbovou lze vytvořit termoplastickým potahováním. Ačkoli byla kyselina sorbová pouze rozprostřena na vnitřní vrstvu folie a nebyla přímo zabudována do obalu, byla prokázána její účinnost a prodloužena trvanlivost přírodních a tavených sýrů. Zaznamenán byl i zpomalený růst povrchových plísní.

## 3.14 Vlastnosti, složení a skladování jablek

Jablko je typickým a oblíbeným ovocem mírného pásma (Kumar et al. 2018). Autoři Feliciano et al. (2010) ve svém článku popisují jablka jako plody s pestrým a vyváženým složením jež jsou tvořeny z více než 84 % vodou. Jablka jsou součástí lidské stravy a jsou bohatým zdrojem minerálních látek (Kumar et al. 2018) například K, Mg, Ca, Na, Zn, Mn, Cu, Fe, B, F, Se, Mo (Feliciano et al. 2010), sacharidů, vlákniny a sloučenin jako kyselina askorbová či fenoly. Organické kyseliny, sacharidy a fenolové sloučeniny dodávají jablku charakteristické chuťové vlastnosti (Kumar et al. 2018).

Profily sacharidů jsou využívány pro informace o kvalitě výrobků z jablek např. šťáv (Wu et al. 2007). Obsah organických sloučenin v jablku má vliv nejen na chuťové vlastnosti, ale i na nutriční kvalitu, stabilitu a trvanlivost výrobků z jablek (Kumar et al. 2018). Fenolické sloučeniny zajišťují antikarconogenní, antimutagenní, antioxidantní či protizánětlivé účinky. Dále jsou také fenoly spojovány s hnědnutím jablek (Alberti et al. 2017). Přesto, že existují studie zabývající se účinky jablek v souvislosti s redukcí hmotnosti či předchází onkologickým onemocněním, je nutné brát v potaz, že zdravotní účinky souvisí nejen s koncentrací živin, ale i s denním příjmem a biologickou dostupností jednotlivých složek (Feliciano et al. 2010).



Téměř všechny vlastnosti jablek je možné měřit či klasifikovat. Spotřebitelé se dle autorů Musacchi & Serra (2018) článku zaměřují nejdříve na vzhled jablek (barva, tvar, velikost, vady) a teprve poté následuje kvalita. Autoři Harker et al. (2003) popisují spotřebitelský výběr jako kompromis mezi cenou a kvalitou. Článek autorů Musacchi & Serra (2018) dále uvádí, že kvalitu jablek v USA a Evropě definují obchodní normy a mezi hlavní aspekty patří například barva, velikost, celistvost, struktura slupky či nepřítomnost vad. Na rozdíl od USA, kde jsou využívány čtyři jakostní kategorie, EU klasifikuje do tří kategorií, a to I., II. a Extra. Existuje celá řada studií, které se zabývají nároky spotřebitelů v závislosti na nejrůznějších faktorech (Harker et al. 2008).

Kvalita stejně jako spotřebitelská přijatelnost souvisí nejen s organoleptickými vlastnostmi, ale i s chemickým složením (Kumar et al. 2018). Obsah a koncentrace jednotlivých látek obsažených v tomto ovoci závisí na faktorech jako odrůda, prostředí, podmínky pěstování a skladování. Mezi další faktory ovlivňující kvalitativní znaky jablek patří doba sklizně, ale i hustota výsadby (Musacchi & Serra 2018).

Velikost plodů jak bylo výše zmíněno je jedním z rozhodujících a důležitých faktorů spotřebitelů uvádí King (2011) ve článku o preferencích spotřebitelů. Autoři Musacchi & Serra (2018) také uvádí, že preference při výběru jablek se liší nejen na základě země a regionu, ale i dle typu trh či místa nákupu, pohlaví, věku a paměti z předchozí konzumace. Tvar také hraje roli při rozhodování a výběru jablek. Dle tohoto parametru lze také odhadnout i odrůdu. Uvádí se, že jablka z vyšších nadmořských výšek mají protáhlý tvar než jablka z nížin. Jablka, jež jsou nepříjemně zdeformovaná jsou však již během sklizně či během třídění vyřazena.

Textura a pevnost jablek je hodnocení pomocí školeného panelu během sensorického hodnocení v kombinaci s instrumentálními metodami. Stejně jako velikost, barva či tvar je i pevnost a vyhovující textura je požadavkem spotřebitelů (Brookfield et al. 2011).

Neméně důležitým faktorem pro konečnou kvalitu jablek je teplota. Teplota má výrazný vliv na již zmiňované aspekty během produkce této komodity (Musacchi & Serra 2018). Nejedná se jen o teploty charakteristické pro dané pásmo, ale i teploty v rámci denního cyklu a zabývala se tím studie na Novém Zélandu (Warrington et al. 1999). Teplota působí na regulátory růstu, jako je etylen a tím ovlivňuje dobu zrání a dobu skladovatelnosti jablek (Musacchi & Serra 2018).

### **3.15 Fenolické látky**

Konzumace ovoce v čerstvém stavu je doporučována mimo jiné i kvůli obsahu živin. Ovoce je také zdrojem fotochemikálií, které mají příznivý vliv na lidské zdraví (Núñez-Gastélum et al. 2015). Potraviny rostlinného původu jsou bohaté právě na fenolické látky a to včetně jednoduchých fenolů, fenolových kyselin a flavonoidů (Tuberoso & Orrù 2008). Zdravotní účinky spojené s konzumací ovoce a zeleniny lze přičíst právě bioaktivním fenolickým sloučeninám (Ribas-Agustí et al. 2018). Jak již bylo zmíněno, jablka jsou bohatým zdrojem fenolických látek, které ovlivňují sensorické vlastnosti. Fenoly jsou produkty metabolismu rostlin a hrají roli při růstu, reprodukci a ochraně rostlin proti patogenním organismům (Alberti et al. 2017).

Termín „fenolický“ lze definovat jako organickou sloučeninu nesoucí jeden či více aromatických kruhů s jedním nebo více hydroxylových substituentů, včetně funkčních derivátů jako estery, glykosidy či metylestery (Tuberoso & Orrù 2008).

Fenolické sloučeniny tvoří skupinu více než 8000 identifikovaných látek, které lze klasifikovat na základě molekulární struktury. Mohou mít podobu jednoduchých molekul s jedním fenolem, fenolových kyselin, nebo složitější struktury obsahující dvě a více fenolových skupin, jako jsou flavonoidy a stilbeny (Ribas-Agustí et al. 2018). Mezi fenolické látky patří konkrétně například epikatechin, kyselina chlorgenová, katechin, floridzin, kyanidin-3-galaktosid, kvercetin-3-galaktosid a kvercetin-3-glukosid (Núñez-Gastélum et al. 2015).

Dle Scalbert & Williamson (2000) lze celou skupinu fenolů klasifikovat na flavonoidy, fenolové kyseliny, stilbeny a lignany.

Nejzastoupenějšími fenoly ve stravě jsou flavonoidy (Scalbert & Williamson 2000). Jsou tvořeny dvěma aromatickými kruhy spojené heterocykly. Nejběžnějšími podtřídami flavonoidů jsou anthokyanidiny, flavonoly, flavony, isoflavony, flavanony sacharidy (Ribas-Agustí et al. 2018) a proanthokyanidy (Scalbert & Williamson 2000). Jejich nativní forma je často polymerizována či konjugována například s organickými kyselinami nebo sacharidy (Ribas-Agustí et al. 2018).

Bohatým zdrojem isoflavonů je sója obsahující vysoké množství genisteinu a daidzeinu (Scalbert & Williamson 2000). Tyto dvě látky se staly předmětem zájmu díky jejich estrogenním vlastnostem a potencionální prevenci proti rakovině prsu a osteoporóze (Adlercreutz & Mazur 1997). Dále zástupce quercetin je hojně zastoupen v ovoci a zelenině, především v cibuli. Flavony byly detekovány například v celeru a červené paprice (Scalbert & Williamson 2000). Pyroanthokyanidy patří do skupiny flavanolů a jejich zdrojem jsou jablka, hrušky, hroznové a červené víno, čaj a čokoláda (Santos-Buelga & Scalbert 2000). Často vyskytující se fenolové kyseliny v potravinách jsou kyselina kávová, chlorgenová, ferulová a gallová (Scalbert & Williamson 2000).

Tyto látky úzce souvisí s nutriční a senzoryckou kvalitou jak čerstvých, tak i zpracovaných potravin. Zájem o tyto sloučeniny roste z důvodů, že se jim stále častěji připisují pozitivní účinky v souvislosti s karcinogenitou či mutagenezí. Dále jsou také označovány jako biologicky aktivní látky vyznačující se významnými antioxidačními účinky (Tuberoso & Orrù 2008). Ve skutečnosti představují fenolické sloučeniny dle článků autorů Erdman et al. (2000) a Ribas-Agustí et al. (2018) největší skupinu antioxidantů v lidské stravě. Dále se uvádí, že jsou schopny přenášet signál a působí tak pozitivně na metabolismus buňky. V souvislosti s tím některé studie uvádí možnost snížení rizika různých onemocnění (Ribas-Agustí et al. 2018). Autoři Alberti et al. (2014) popisují preventivní působení fenolických látek proti rakovině, kardiovaskulárnímu onemocnění, neuropatii a cukrovce. Účinky fenolů na lidské zdraví jsou rozebírány také ve studii autorů Liaudanskas et al. (2014) zabývající se metodami stanovení fenolických látek. V tomto článku je pozitivní účinek při prevenci kardiovaskulárních onemocnění vysvětlován snížením hladiny cholesterolu v krvi. Dále jsou uváděny antivirové účinky proti virům chřipky i kmenům Herpes simplex. Fenolické sloučeniny také plní ochrannou funkci gastrointestinální sliznice.

Mezi hlavní faktory ovlivňující přítomnost a množství fenolických látek v potravinách patří rostlinný původ, zpracování, interakce složek potravin (Ribas-Agustí et al. 2018), odrůda, podmínky růstu, teplota skladování či vlhkost a koncentrace kyslíku (Bílková et al. 2020). Po požití potravin obsahujících fenolické látky jsou pozitivní účinky na zdraví ovlivněny mírou uvolňování z matrice a schopností absorpce v gastrointestinálním traktu (Ribas-Agustí et al. 2018).

Mluvíme-li o biologické dostupnosti, jedná se o podíl sloučenin, který je uvolněn z matrice (potraviny) během procesu trávení a stává se dostupným pro absorpci v tenkém střevě (Ribas-Agustí et al. 2018) ale i oběhovém systému (Shahidi & Peng 2018).

Biologická dostupnost fenolických látek závisí na celé řadě faktorů. Patří mezi ně fyzický stav jedince, především jeho trávicí, absorpční, či metabolické schopnosti. Dále to jsou vnější faktory jako například technologie zpracování potravin (Shahidi & Peng 2018). Vliv na biologickou dostupnost má i struktura molekul fenolických sloučenin. Přesto, že žaludeční kyseliny nemají významný vliv na strukturu většiny fenolických sloučenin, pro absorpci je nutná jejich transformace v tenkém nebo tlustém střevě. Flavonoidní glykosidy vykazují příliš hydrofilní charakter na to, aby mohlo dojít k absorpci pasivní difúzí v tenkém střevě. V případě konjugace flavonoidů se sacharidy (glukózou a arabinózou) mohou být hydrolyzovány a v tenkém střevě velmi rychle absorbovány. Naopak konjugace s rhamnózou a rutinózou neumožňuje hydrolyzu dříve než v tlustém střevě. Zde dochází k zapojení střevní mikrobioty a následné absorpci. Obecně lze tedy říci, že biologická dostupnost fenolických sloučenin, které je nutné hydrolyzovat mikrobiotou tlustého střeva je nižší (Scalbert & Williamson 2000; Ribas-Agustí et al. 2018). Biologickou dostupností se zabývala řada studií, a to především u potravin jako čaj, červené víno, či šťáva z jablek a rybízu (Scalbert & Williamson 2000).

U fenolových kyselin dochází k absorpci jak v tenkém, tak i v tlustém střevě. Příkladem může být konzumace kávy, kdy dojde k vstřebání 30 % kyseliny kofeoylchinové v tenkém střevě a následně zbytek v tlustém střevě. Tyto látky jsou degradovány pomocí enzymů produkovaných střevní mikrobiotou na kyselinu kávovou a další metabolity. Sloučeniny obsahující kyselinu galovou jsou taktéž hydrolyzovány střevní mikrobiotou (Ribas-Agustí et al. 2018).

Aby byly fenolické sloučeniny biologicky dostupné, musí být uvolněny z matrice (potravin) v tenkém střevě během trávení nebo být rozloženy pomocí střevní mikrobioty. Složení potravin má na vstřebatelnost a tím pádem i na biologickou dostupnost výrazný vliv. Na jedné straně mohou interakce matrice znemožnit absorpci fenolických látek ve střevech. Na druhé straně mohou interakce matrice zabránit degradaci fenolových sloučenin a tím naopak vstřebávání podpořit. Aromatické kruhy vyznačující se hydrofobním charakterem a hydrofilní hydroxylové skupiny umožňují fenolickým látkám tvořit jak slabé, tak i silné interakce s nejrůznějšími typy molekul, například s polysacharidy, lipidy a proteiny (Scalbert & Williamson 2000; Ribas-Agustí et al. 2018).

### 3.15.1 Fenolické látky v jablkách

Jablka patří do čeledi rostlin Rosaceae a jsou pěstována po celém světě. Jsou považována za třetí nejvíce konzumované ovoce po banánech a pomerančích. Jablka obsahují polysacharidy, fenoly, fytosteroly, B karoten, vitamíny (A, C, E), minerální látky (hořčík, železo, vápník, mangan, zinek, měď, draslík, síru) a esenciální stopové prvky prospěšné lidskému zdraví. Fenolické látky v jablkách představují jednu z nejdůležitějších složek v souvislosti se zdravotními účinky jejich konzumace. Převážné množství fenolů je obsaženo především ve slupce (Bai et al. 2016). Slupka dále obsahuje sloučeniny jako alkoholy, aldehydy, karboxylové estery, ketony a ethery (Liang et al. 2022). Výsledky studií poukazují na to, že mezi základní složky patří kyselina kávová, katechin, kyselina chlorogenová, floretin-2'-xyloglukosid, hyperosid, floridzin, epikatechin apod. (Bai et al. 2016).

Důležitou polyfenolovou sloučeninou v jabloních je phloridzin a jedná se o látku obsaženou v kořenech, kůře, stoncích a listech. Tato látka slouží je kontrole jakosti jablečných šťáv (Bai et al. 2016).

Množství a zastoupení fenolů v jablkách závisí na odrůdě. Spotřebitelé zemědělských produktů proto kladou důraz na výběr potravin s ohledem na jejich pozitivní účinky a nutriční hodnotu. Lze tedy pozorovat rostoucí zájem o vývoj nových odrůd bohatých na účinné látky jako například antioxidanty v rámci šlechtitelských programů (Martí et al. 2015).

Byly prokázány příznivé účinky jablečných polyfenolů, a to antioxidační aktivitu, protizánětlivý účinek, antibakteriální nebo protinádorový účinek (Bai et al. 2016).

### 3.16 Mikrobiologie jablek

Jendou z výhod jablek je jejich dlouhá doba skladovatelnosti, což umožňuje celoroční nabídku této komodity (Wang et al. 2021). Přibližně 39 % jablek z celkové produkce je konzumováno v čerstvém stavu a zbylých 61 % je zpracovááno. Nejvyšší podíl mezi zpracovanými produkty z jablek zaujímá jablečný mošt (46 %), dále konzervovaná jablka (10 %), zmrazená (2 %), sušená (2 %) a skupina ostatních produktů, kam patří například džem (Chauhan et al. 2011).

Před sklizní (Patriarca 2019) a po sklizni během zrání a skladování jablek nastává kritické období, kdy je vysoké riziko mikrobiologické kontaminace. Ke kažení zemědělských komodit dochází v důsledku patogenů. Posklizňové choroby tak způsobují nejen nežádoucí kvalitativní změny a ohrožení lidského zdraví, ale i ekonomické ztráty výnosů (Xu & Berrie 2005; Wang et al. 2021). Jedním z důvodů, proč jsou jablka náchylná k mikrobiálnímu znehodnocení je vysoký obsah vody a živin (Wang et al. 2021).

Ačkoli jsou u jablek pozorovány rozdíly v zemědělských postupech, geografické a klimatické rozdíly, nejvýznamnější patogeny jablek se vyskytují prakticky po celém světě. Mezi významné patogenní zástupce jablek patří *Penicillium expansum* způsobující modré hniloby a plísně, *Botrytis cinerea* způsobující šedé hniloby, rod *Monilinia* (*M. fructigena*), *Colletotrichum spp.* způsobující hořkou hnilobu, *Mucor spp.*, *Rhizopus spp.*, rod *Alternaria*, *Fusarium* a *Epicoccum*. Tyto zástupci patogenních mikroorganismů mohou způsobovat znehodnocení plodů jak před sklizní, tak i po sklizni (Patriarca 2019).

Jedním z nejvýznamnějších posklizňových patogenů je *Penicillium expansum* způsobující modrou hnilobu představují závažné onemocnění plodů jablek (Wang et al. 2021) a hrušek (Xu & Berrie 2005; Sanzani et al. 2012). *Penicillium expansum* lze charakterizovat jako plísněvých patogenu jež mohou způsobit hnilobu téměř celého jablka (Wang et al. 2021) a jak uvádí Abdelhai et al. (2019) jedná se o jednu z nejdestruktivnějších posklizňových chorob.

Kromě ekonomických ztrát zapříčiňuje *Penicillium e.* vznik patulinu. Patulin je mykotoxin jež představuje pro lidské zdraví nebezpečí. Přítomnost patulinu v jablkách může vést k akutní i chronické toxicitě a cytotoxicitě. Uvádí se že příznaky akutní i chronické toxicity jsou ve většině případech neurologické a způsobují také gastrointestinální a hormonální poruchy či úbytek hmotnosti (Coton et al. 2020). Autoři Sanzani et al. (2012) studie o účincích patulinu taktéž uvádí, že je tento mykotoxin známý pro své genotoxické, cytotoxické a imunosupresivní vlastnosti (Sanzani et al. 2012). Patulin vykazuje karcinogenní, mutagenní i teratogenní účinky a z toho důvodu jsou zavedeny důkladné průzkumy a kontroly (Xu & Berrie 2005). Nebezpečí patulinu spočívá v jeho termostabilitě. Patulin je odolný vůči kyselému prostředí i pasteračním teplotám (Sanzani et al. 2012). Během tepelného ošetření pasterizací jsou zlikvidovány plísně *Penicillium expansum*, nikoliv však patulin. Infekce *Penicillium e.* je způsobena prostřednictvím poškozených míst u posklizňových jablek obzvláště ve vlhkých prostředích. Výskyt modré

hniloby byl detekován i u jablek ošetřených fungicidem karbendazim jelikož je *Penicillium e.* rezistentní (Xu & Berrie 2005).

Studie autorů Coton et al. (2020) se zabývala napadením jablek plísní *Penicillium expansum* a doporučeními pro spotřebitele. Jedním z důvodů provedení této studie je i problematika migrace mykotoxinů v rámci celého plodu. Přesto, že jsou mykotoxiny klasifikovány jako biologické nebezpečí, může být tento fakt v domácích podmínkách podceňován ve snaze o omezení plýtvání potravin. Příkladem je odstranění pouze malé části jablka, která je viditelně napadena plísní. Před výrobou například jablečných šťáv je doporučeno plody i s malými výskyty hniloby vyřadit. Rychlik & Schieberle (2001) uvedli, že již ve vzdálenosti odpovídající 2 cm od oblasti napadené plísní nebyl patulin detekován. Avšak jiní autoři například Bandoh et al. (2009) uvádí, že přesto, že taktéž ve vzdálenosti 2 cm od místa napadení nezaznamenali výskyt patulin, byl následně detekován v jablečné šťávě. Přesto, že existuje řada studií zabývajících se distribucí patulinu v plodech, výsledky jsou mnohdy značně rozdílné.

Článek autorů Xu & Berrie (2005) uvádí, že výskyt této plísně je však rozmanitý. V severní Evropě představuje *Penicillium expansum* velké nebezpečí, zatímco Spojené království se častěji potýká s hnilobami způsobenými např. *Monilinia fructigena* či *Nectaria galligena*.

Kromě plísní rodu *Penicillium* představuje pro jablka nebezpečí i rod *Alternaria*, které Tento rod taktéž produkuje mykotoxiny, která napadají jablka (Patriarca 2019) a dle autorů Venema et al. (2016) jsou schopny produkovat až 70 toxických metabolitů. Stejně jako u *Penicillia* představuje *Alternaria* riziko při zpracování napadených jablek obzvláště při výrobě dětské stravy jejíž základem jsou právě jablka (Patriarca 2019).

S mykotoxiny produkovanými rodem *Alternaria* se lze setkat u potravin jako je ovoce, zelenina (jablka, citrusy, rajčata, olivy), olejná semena a obiloviny. *Alternaria* rostou i při nízkých teplota, tudíž je možné je detekovat i v chladírenských teplotách během přepravy či skladování (Venema et al. 2016).

Jak již bylo zmíněno, plísně *Minilinia fructigena* jsou typickými patogeny jablek ve Spojeném království (Xu et al. 2001; Xu & Berrie 2005). Tento patogen způsobuje hnědou hnilobu plodů, a to jak během skladování, tak i před sklizní. Tato hniloba je typická po poranění plodů, kdy je jablko napadeno v důsledku poručení svrchních vrstev (Xu et al. 2001).

## 4 Metodika

Cílem práce bylo ověřit účinnost manganistanu draselného a jeho kombinace s různými obalovými materiály na skladovatelnost jablek. Jablka odrůdy Luna byla sklizena v sezóně 2022 a DEP FAPPZ ČZU s skladována v chladírenských podmínkách až do začátku experimentu 1.12.2022.

Bylo vybráno 285 jablek o různých velikostech. Jablka byla vybírána tak, aby nevykazovala jakékoliv poškození a viditelné vady. Byl prováděn náhodný výběr, avšak tak, aby všechny varianty obsahovaly přibližně stejné rozmezí velikostí jablek.

Jablka byla vždy po 16 kusech uložena v různých obalech spolu s absorbentem etylenu (0, 5, 10, 15 g) a skladována při pokojové teplotě v prostorách KKBP. Každé jablko v jednotlivé variantě bylo značeno číslem (1-16). Číselné označení umožnilo záznam hmotnostního úbytku stejného vzorku. Intervaly mezi záznamy hmotnosti odpovídaly sedmi dnům. Hmotnostní údaje byly zaznamenávány do tabulku v programu Excel v gramech na dvě desetinná místa.

Manganistan draselný byl aplikován formou 5g sáčků (BLUE TECK SYSTEMS, S.L. [www.keepfresh.eu](http://www.keepfresh.eu) Obrázek 5). Misky v pokojové i chladírenské teplotě sloužily jako kontrolní varianty jež jsou charakteristické pro běžné domácí skladování.

Kromě sledování hmotnosti jednotlivých jablek, byla jablka ve skupině dle varianty každý týden vyfocena. Jablka s počínající hnilobou byla z experimentu postupně vyřazována.



Obrázek 3 Sáček manganistanu draselného a jeho obsah

## 4.1 Obalové materiály

Skladování jablek probíhalo ve následujících obalových materiálech:

1. Zembag – 3 vrstvý pytel (Jutovina a netkaná textilie s vnitřní aluminiovou folií)
2. Zembag „mini“ – bez použití funkční vrstvy (jen juta)
3. Papír
4. LDPE taška
5. LDPE taška vyrobená z recyklovaného materiálu (min 20 % materiálu pro výrobu tašky je z recyklovaného plastu)
6. Miska



Obrázek 4 Miska a Zembag s detailem vnitřní aluminiové vrstvy.

## 4.2 Statistické vyhodnocení

Pro vyhodnocení tohoto experimentu byla nejprve otestována normalita dat v programu Statistica 12.

Dále byla data vyhodnocena v programu SAS analýzou pro obecný lineární model s opakovaným měřením. Na základě statistických výstupů byly potvrzeny a vyvráceny hypotézy.

## 5 Výsledky

Během deseti týdnů skladování došlo k hmotnostním úbytkům, změnám barvy i textury vzorků. Kontrolní vzorky misky a vzorky v papírovém obalu vykazovaly nejvyšší hmotnostní úbytky viz tabulka č. a odpovídaly tomu i změny textury. Povrch jablek byl vrásčitý s množstvím rýh v důsledku vysoušení. Došlo taktéž ke změnám barvy v důsledku degradace chlorofylu viz obrázek č.

Tabulka č. 3 Hmotnostní úbytky u variant obalů vyjádřeny v %.

Varianty – obal	Změna hmotnosti v %
Zembag	16 %
Zembag mini	19 %
Papír	21 %
LDPE	7 %
LDPE recyklovaný	10 %
Miska	22 %



Obrázek 5 Fotografie „a“ je pořízena prvním týdnem skladování a fotografie „b“ po sedmi týdnech, kde můžeme vidět změny barvy a textury povrchu. Jedná se o stejné vzorky z papírového obalu.

Tabulka č.4

Týden měření	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Sm. odch.
H0	285	119,2866	56,04000	204,9400	26,67287
H1	285	116,8934	54,07000	201,9400	26,39943
H2	285	114,8514	52,43000	201,2400	26,23801
H3	285	112,6835	50,93000	199,0960	26,02788
H4	285	110,9057	49,65000	196,8100	25,91229
H5	285	109,0384	48,27000	194,8800	25,81896
H6	285	106,9902	46,95000	192,6500	25,65655
H7	285	105,2274	45,68000	190,3500	25,58292
H8	285	103,2879	44,14000	187,5600	25,49405
H9	285	101,5111	42,73000	185,2100	25,45685

Tabulka č. 4 znázorňuje pokles průměrné hmotnosti jablek všech variant v průběhu skladování. Dále lze vidět nejnižší a nevyšší hmotnost jablek v daném týdnu.



Kromě hmotnostních ztrát či změny struktury byl zaznamenán výskyt hnilob a plísní v důsledku mikrobiálního znehodnocení. Mikrobiologický rozbor nebyl předmětem této práce, avšak lze předpokládat na základě dostupné literatury, že se jedná o modrou či šedou plíseň, typickou pro zástupce *Penicillium expansum*, která je pro tuto komoditu typická.

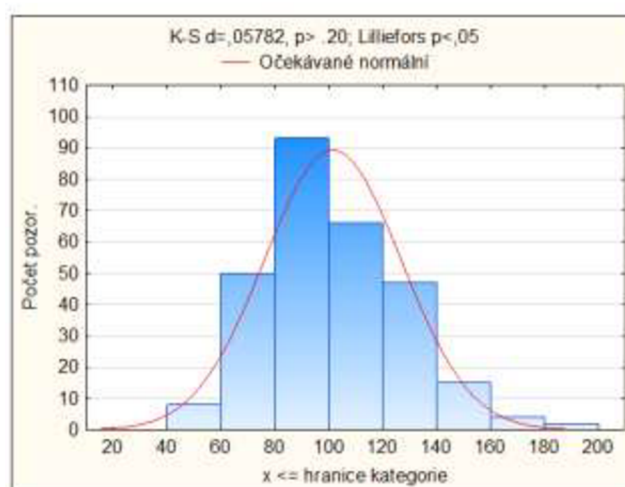
K mikrobiálnímu kažení mohlo dojít i v důsledku mechanického poranění plodů při manipulaci.



Obrázek 6 Fotografie vyřazených vzorků jablek během skladování, u kterých se projevila hniloba.

Průběžná dokumentace jablek během skladování a záznam vyřazených vzorků zde: <https://drive.google.com/file/d/1XtzigaLC3mhDMYEgoltfbusoMHR2Q4su/view?usp=sharing>

Pomocí programu Statistica 12 byla otestována a ověřena normalita dat vis histogram všech, který zahrnuje všech 285 pozorování.



Histogram všech dat ze souboru vzorků.

Ze získaných dat hmotnostních úbytků jablek během sledování byla provedena statistická analýza. Byl použit program SAS. Konkrétně byla použita procedura SAS 9.4 PROC GLM pro obecný lineární model odpovídající dvoufaktorové ANOVA s opakovaným měřením.

- Nezávisle proměnné: obal + sáčky (oba efekty fixní a třídni)
- Závisle proměnné: hmotnost (10 opakovaných měření)

Jak znázorňuje tabulka č. 5, analýza probíhala u 285 pozorování. Tříd u obalu bylo 6 a u sáčků (manganistan draselný) 4 třídy.

Class Level Information		
Class	Levels	Values
Obal	6	LDPE
		LDPE (recyklovaný)
		Papír
		Zembag
		Zembag mini
Sáčky	4	0,1, 2, 3, 4
Number of Observation Read	285	
Number of Observation Used	285	

Tabulka č. 6

The GLM Procedure

Repeated Measures Analysis of Variance

Test of Hypotheses for Between Subjects Effects

Source	DF	Type III	Mean	F Value	Pr > F
Obal	5	148260	29652	4,75	<b>0,0004</b>
Sáčky	3	27332,9	9110,97	1,46	<b>0,2258</b>
Error	276	1722684			

Z tabulky č. 6 je patrné, že obal v tomto pozorování představoval statisticky významný efekt dle hodnoty  $p=0,0004$ . Naopak hodnota  $p=0,2258$  potvrzuje, že sáčky s manganistanem nejsou statisticky významným efektem. Na základě těchto výsledků lze zamítnout hypotézu, která uvádí, že manganistan draselný prodlouží skladovatelnost jablek. Dále lze potvrdit hypotézu, že obalový materiál má vliv na skladovatelnost jablek.

## 6 Diskuze

Cílem diplomové práce bylo ověřit vliv absorbentu etylenu a různých obalových materiálů na kvalitu a skladovatelnost jablek. Jako absorbent etylenu byl použit manganistan draselný ve formě sáčků jako aktivní složka obalových materiálů. Obalové materiály pro skladování jablek byly třívrstvý obal Zembag s aluminiovou folií, Zembag bez funkční vrstvy tedy jen z juty, dále papír, LDPE, LDPE vyrobený z recyklovaných materiálů a plastová miska jako kontrolní varianta představující běžné domácí podmínky skladování.

Byla provedena statistická analýza dat a základě hmotnostních úbytku v průběhu skladování jablek v různých obalových materiálech a s různým obsahem manganistanu draselného. Na základě statistické analýzy je zamítnuta hypotéza o pozitivním vlivu manganistanu draselného na prodloužení skladovatelnosti jablek. Jak ukázala data, větší vliv na prodloužení doby skladovatelnosti jablek měly obalové materiály. Hypotéza týkající se obalových materiálů je tudíž potvrzena.

Jak uvádí celá řada autorů (Topuz & Uyar 2020), (Han 2005), (Sanchis et al. 2017) obalové materiály představují neodmyslitelnou součást v potravinovém průmyslu. Obaly zajišťují mnoho funkcí jako jsou bariery proti kyslíku či vlhkosti, snížení oxidace, ochrana proti mikrobiologické kontaminaci, bezpečná manipulace a skladování potravin.

V experimentální části práce byly použity různé materiály s odlišnými vlastnostmi. Jedna z variant Zembagu je vyrobena z juty, netkané textilie a vnitřní aluminiové vrstvy a poskytuje bariéru proti světlu a částečně snižuje propustnost vzduchu. Druhá varianta toho inovativního pytle zajišťuje naopak vyšší prodyšnost díky tomu, že je vyrobena pouze z juty. Papírové obaly mají v balení potravin řadu omezení kvůli špatným bariérovým vlastnostem a vyššímu potenciálu migrace kontaminantů z obalu do potravin (Deshwal et al. 2019). Již z fotodokumentace lze říci, že papírové obaly mají podstatný vliv na kvalitu jablek. Změny se projeví dříve než u ostatních variant obalových materiálů. Došlo ke změně barvy v důsledku degradace chlorofylu. Došlo taktéž k vysychání plodů jablek, což dosvědčují nejen větší úbytky hmotnosti, ale i změna povrchové a vnitřní textury. Jablka z papírových obalových materiálů již po krátké době skladování vykazovaly nežádoucí změny, které patří mezi jedny z důležitých faktorů pro spotřebitele.

Na základě hmotnostních ztrát a nepříjemných změn organoleptických vlastností lze říci, že papírový materiál neposkytuje zcela příznivé podmínky pro skladování jablek. Při využití papírových obalových materiálů je taktéž nutné dbát na původ tohoto materiálu. Studie autorů (Triantafyllou et al. 2007) o migraci kontaminantů z recyklovaných papírových materiálů do potravin upozorňuje na možnou kontaminaci nežádoucími složkami obalu. Dle studie k nejvyšší míře migrace dochází u potravin obsahujících vysoké množství lipidů. Jablka nespádají do skupiny potravin bohaté na lipidy, avšak jsou tvořeny z více než 84 % vodou (Kumar et al. 2018) a případné uvolnění tekuté složky může způsobit degradaci papíru a podpořit migraci kontaminantů do jablek. Při výběru vhodného obalového materiálu je doporučováno vyhýbat se recyklovaným papírovým materiálům. Jak potvrzují autoři (Biedermann-brem et al. 2016) ve svém článku, recyklované papírové jsou zdrojem kontaminantů jako diisobutyl-ftaláty, které migrují do potravin. Zdrojem této sloučeniny jsou

lepidla využívaná v papírenském průmyslu. Nejen v recyklovaných materiálech byly detekovány kontaminanty, které mohou nepříznivě ovlivnit kvalitu potravin. Ačkoliv recyklace obalových materiálů přispívá u ochraně životního prostředí, je nezbytné omezit jejich přímý kontakt s potravinami.

Na základě výsledků této práce, které poukazují na nepříznivé změny organoleptických vlastností, tak i dle studií je doporučeno využití papírových zvažít a v případě použití nezanedbat původ tohoto materiálů.

Materiály z nízkohustotního polyetyleny zajišťují příznivé bariérové vlastnosti proti vlhkosti, tepelnou stabilitu či dobré těsnění (Zia et al. 2019). V porovnání s papírovým obalem není LDPE zdaleka tak propustný pro vzduch a během zrání jablek docházelo k zapaření. Tento fakt může vysvětlovat největší množství vyřazených jablek v LDPE materiálech. Vzorky z toho materiálu vykazovali častější výskyt napadení plísněmi a hnilobami. Naopak organoleptické vlastnosti jako textura či barva byla zachována podstatně déle než u papírových materiálů. Nezhodnocené plody jablek v LDPE materiálech vykazovaly velmi příznivý vzhled a pevnost. Řešením vzniku hnilob je zajištění vyššího přísunu vzduchu či větrání, aby došlo k eliminaci zapaření a snížení akumulace vlhkosti, což jsou příznivé podmínky pro růst plísní. Studie (Nath et al. 2012) prováděla porovnání několika plastových obalových materiálů na hruškách za účelem prodloužení trvanlivosti hrušek. V závěru studie uvádí, že použití plastových materiálů představuje vhodnou a zároveň ekologickou možnost skladování hrušek v domácích podmínkách. Kromě úbytků hmotnosti a přítomnosti hnilob si plody v LDPE materiálech zachovaly barvu, pevnost během skladování i obsah živin během doby skladování. Toto tvrzení se shoduje s vlastním pozorováním u vzorků jablek. Ze čtyř použitých materiálů ve zmíněné studii vykazoval nejlepší výsledky PP, kdy se vzorky uchovávaly v takovém obalu blížily parametrům čerstvých plodů.

Ačkoli se ve vlastním pokusu jablka v LDPE materiálech vyznačovaly častějšími hnilobami, existuje možnost, jak vylepšit skladování v takovýchto materiálech.

Jak uvádí autoři (Mditshwa et al. 2018) studie, která se zabývala skladováním jablek v chladírenských podmínkách za použití řízené atmosféry, takový způsob při dlouhodobém skladování může způsobovat nežádoucí změny. Chladírenské podmínky mohou zapříčinit fyziologické poruchy, jako je povrchové opaření, které způsobuje tvorbu tmavých skvrn. Dále může docházet k vnitřnímu hnědnutí. V rámci této studie byly plody jablek baleny do nízkohustotního polyetyleny (LDPE), lineárního nízkohustotního polyetyleny (LLDPE), vysokohustotního polyetyleny (HDPE) a polypropylenu (PP). Využití polypropylenu jako materiálu pro skladování jablek a například i v kombinaci s regulací teploty by mohlo být předmětem dalších studií zabývajících se skladováním této komodity. V tom případě by se jednalo o kombinaci nejen materiálu, ale i teploty jako faktoru, který může prodloužit skladovatelnost jablek.

Vzhledem k faktu, že problémem u LDPE materiálů byl vysoký výskyt znehodnocení mikrobiální činností, existuje řešení, a to využití antimikrobiálních fólií či obalů. LDPE materiály disponují dobrými mechanickými a bariérovými vlastnostmi a v neposlední řadě i přijatelnou cenou (Azlin-Hasim et al. 2016). Antimikrobiální obaly, které představují zakomponování

antimikrobiální složky do polymerních materiálů, tedy i do LDPE, by tak mohly vyřešit nedostatky tohoto materiálu z hlediska mikrobiálního znehodnocení potravin (Sung et al. 2013). Jak uvádí (Sung et al. 2013) ve své studii, na trhu jsou dostupné látky, které vykazují antimikrobiální účinky jako oxid chloričitý, oxid siřičitý či ethanol, které jsou samostatně v sáčcích vloženy či připevněny na vnitřní vrstvu obalu. Využitím antimikrobiálního balení se zabývali i (Wang & Rhim 2016) ve své studii. Jako látky, které lze pro takovou aplikaci využít uvádí například organické kyseliny (benzoová, propionová), bakteriociny (nisin, pediocin), lysozym, či rostlinné extrakty jako například thymol a karvakrol. Na základě zmiňovaných informací, lze navrhnout studii, která bude zkoumat kombinaci polymerního obalu s antimikrobiální funkcí a zároveň s regulací teploty. Taková metoda by mohla zajistit požadované podmínky pro skladování nejen jablek, ale i dalších komodit.

Hned několik autorů nejrůznějších studií popisuje pozitivní vliv manganistanu draselného jako absorbentu etylenu u ovoce či zeleniny během zrání, a to u guavy (Murmu & Mishra 2018), avokáda (Sanxter et al. 1994), (Nugraha et al. 2015), hrušek (Choehom et al. 2004) či banánů (Kudachikar et al. 2011), (Choehom et al. 2004). Studie (Chaves et al. 2007) se zabývala aplikací manganistanu u jablek. Výsledkem bylo úspěšné prodloužení trvanlivosti jablek, avšak v kombinaci s jiným materiálem, než byl využit ve vlastním experimentu. V zmiňované studii byla použita PVC fólie v kombinaci s různým množstvím manganistanu draselného. Lze tedy potvrdit, že obalový materiál má zásadní vliv na skladovatelnost. Díky těmto poznatkům lze kombinovat vyhovující materiál a zároveň využít absorbenty etylenu a zajistit delší dobu skladovatelnosti a trvanlivosti.

## 7 Závěr

Obalové materiály v potravinářském průmyslu plní celou řadu funkcí. Mezi ty nejdůležitější funkce obalů patří distribuce, marketing, informace spotřebitelů, zajištění kvality potravin, zamezení plýtvání, zajištění vhodného skladování a také zdravotní nezávadnosti.

Jedním z řešení uspokojení požadavků spotřebitelů jsou aktivní obaly. Systém aktivního balení nabízí takové funkce, které tradiční obaly nezajišťují. Aktivní obaly jsou založeny na zakomponování antioxidantů, antimikrobiálních látek, absorbentů vlhkosti, kyslíku a etylenu či látek pohlcujících pachy a příchutě. Takové obaly pomáhají zamezit oxidaci lipidů, úbytku hmotnosti, mikrobiálnímu kažení či nežádoucím enzymatickým změnám. V této práci byly popsány a shrnuty výhody a nevýhody jednotlivých materiálů a aplikací aktivního balení.

Aktivním obalem, testovaným na jablkách v praktické části práce byl obal s absorbentem etylenu tedy manganistanem draselným. Pro svoji známou toxicitu na lidský organismus je zakomponován do obalů ve formě sáčků. U klimakterického ovoce, kam patří i jablka zvyšuje etylen rychlost respiračních procesů, plody rychleji dozrávají, a to vede ke zkrácení jejich skladovatelnosti.

V rámci praktické části bylo 285 jablek rozděleno do šesti skupin dle typů obalového materiálu a dle množství použitého manganistanu draselného. Byl sledován účinek jak absorbentu, tak i obalového materiálu, a to po dobu deseti týdnů.

Dle statistického vyhodnocení hmotnostních úbytků jednotlivých vzorků byla zamítnuta hypotéza o pozitivním účinku manganistanu draselného na prodloužení skladovatelnosti jablek. Ukázalo se, že v tomto experimentu měl vliv obalový materiál, a tudíž byla hypotéza týkající se obalů potvrzena.

Na základě fotodokumentace a změn senzorických vlastností jako barva či pevnost a textura, ale i hmotnostních úbytků lze říci, že papírové obaly nepředstavovaly ideální variantu skladování jablek. Přesto, že v LDPE materiálech byl vyšší výskyt hnilob, nepoškozená jablka si zachovala barvu i pevnost po delší dobu skladování ve srovnání s papírovým materiálem. Přesto, že se ve vlastním pokusu vliv manganistanu neprokázal, existuje řada studií, které potvrzovaly jeho pozitivní účinky na skladování ovoce a zeleniny.

Byly navrženy další možnosti, jež by mohly vyřešit nedostatky LDPE materiálů z hlediska mikrobiální nezávadnosti, a to konkrétně využití antimikrobiálních polymerních obalů. Jiným řešením je kombinace vhodného obalu a regulace teploty během skladování.

Dle studií je využití manganistanu draselného jakožto absorbentu etylenu taktéž závislé na typu obalového materiálu a vyhovujícím polymerem byl mohl být PP. Lze tedy taktéž navrhnout zkoumání vhodnějších kombinací pro zajištění nejen mikrobiální nezávadnosti ale i prodloužení skladovatelnosti jablek a dalších komodit.

## 8 Literatura

- Abdelhai MH, Awad FN, Yang Q, Mahunu GK, Godana EA, Zhang H. 2019. Enhancement the biocontrol efficacy of *Sporidiobolus pararoseus* Y16 against apple blue mold decay by glycine betaine and its mechanism. *Biological Control* **139**:104079. Elsevier
- Aday MS, Caner C. 2013. The shelf life extension of fresh strawberries using an oxygen absorber in the biobased package. *LWT - Food Science and Technology* **52**:102–109. Elsevier
- Agarwal G, Choudhary D, Singh VP, Arora A. 2012. Role of ethylene receptors during senescence and ripening in horticultural crops. *Plant Signaling and Behavior* **7**:827–846.
- Ahmed I, Lin H, Zou L, Brody AL, Li Z, Qazi IM, Pavase TR, Lv L. 2017. A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*
- Al-Naamani L, Dobretsov S, Dutta J. 2016. Chitosan-zinc oxide nanoparticle composite coating for active food packaging applications. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **38**:231–237. Elsevier
- Alberti A, Zielinski AAF, Couto M, Judacewski P, Mafra LI, Nogueira A. 2017. Distribution of phenolic compounds and antioxidant capacity in apples tissues during ripening. *Journal of Food Science and Technology* **54**:1511–1518.
- Alberti A, Zielinski AAF, Zardo DM, Demiate IM, Nogueira A, Mafra LI. 2014. Optimisation of the extraction of phenolic compounds from apples using response surface methodology. *Food Chemistry* **149**:151–158. Elsevier Ltd.
- André C, Castanheira I, Cruz JM, Paseiro P, Sanches-Silva A. 2010. Analytical strategies to evaluate antioxidants in food: a review. *Trends in Food Science and Technology* **21**:229–246. Elsevier Ltd.
- Azlin-Hasim S, Cruz-Romero MC, Cummins E, Kerry JP, Morris MA. 2016. The potential use of a layer-by-layer strategy to develop LDPE antimicrobial films coated with silver nanoparticles for packaging applications. *Journal of Colloid and Interface Science* **461**:239–248. Elsevier Inc.
- Bai L, Guo S, Liu Q, Cui X, Zhang X, Zhang L, Yang X, Hou M, Ho CT, Bai N. 2016. Characterization of nine polyphenols in fruits of *Malus pumila* Mill by high-performance liquid chromatography. *Journal of Food and Drug Analysis* **24**:293–298. Elsevier Ltd.
- Bailen G, Guillen F, Castillo S, Zapata PJ, Serrano M, Valero D, Martínez-Romero D. 2007. Use of a palladium catalyst to improve the capacity of activated carbon to absorb ethylene, and its effect on tomato ripening. *Spanish Journal of Agricultural Research* **5**:579–586.

- Bandoh S, Takeuchi M, Ohsawa K, Higashihara K, Kawamoto Y, Goto T. 2009. Patulin distribution in decayed apple and its reduction. *International Biodeterioration and Biodegradation* **63**:379–382. Elsevier Ltd.
- Berenzon S, Sam Saguy I. 1998. Oxygen absorbers for extension of crackers shelf-life. *LWT - Food Science and Technology* **31**:1–5.
- Biedermann-brem S, Biedermann M, Grob K. 2016. Food Additives & Contaminants : Part A Required barrier efficiency of internal bags against the migration from recycled paperboard packaging into food : a benchmark. *Food Additives & Contaminants: Part A* **33**:725–740. Taylor & Francis.
- Bílková A, Baďurová K, Svobodová P, Vávra R, Jakubec P, Chocholouš P, Švec F, Sklenářová H. 2020. Content of major phenolic compounds in apples: Benefits of ultra-low oxygen conditions in long-term storage. *Journal of Food Composition and Analysis* **92**:103587. Elsevier.
- Bradley EL, Castle L, Chaudhry Q. 2011. Applications of nanomaterials in food packaging with a consideration of opportunities for developing countries. *Trends in Food Science and Technology* **22**:604–610. Elsevier Ltd.
- Brookfield PL, Nicoll S, Gunson FA, Harker FR, Wohlers M. 2011. Sensory evaluation by small postharvest teams and the relationship with instrumental measurements of apple texture. *Postharvest Biology and Technology* **59**:179–186. Elsevier B.V.
- Busatto N, Tadiello A, Trainotti L, Costa F. 2017. Climacteric ripening of apple fruit is regulated by transcriptional circuits stimulated by cross-talks between ethylene and auxin. *Plant Signaling and Behavior* **12**:1–4. Taylor & Francis.
- Chauhan OP, Singh A, Singh A, Raju PS, Bawa AS. 2011. Effects of osmotic agents on colour, textural, structural, thermal, and sensory properties of apple slices. *International Journal of Food Properties* **14**:1037–1048.
- Chaves MA, Bonomo RCF, Silva AAL, Santos LS, Carvalho BMA, Souza TS, Gomes GMS, Soares RD. 2007. Use of potassium permanganate in the sugarapple post-harvest preservation. *Ciencia y Tecnologia Alimentaria* **5**:346–351.
- Choehom R, Ketsa S, Van Doorn WG. 2004. Senescent spotting of banana peel is inhibited by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology* **31**:167–175.
- Chytiri S, Goulas AE, Riganakos KA, Kontominas MG. 2006. Thermal, mechanical and permeation properties of gamma-irradiated multilayer food packaging films containing a buried layer of recycled low-density polyethylene. *Radiation Physics and Chemistry* **75**:416–423.



- Cichello SA. 2015. Oxygen absorbers in food preservation: a review. *Journal of Food Science and Technology* **52**:1889–1895.
- Conte A, Buonocore GG, Sinigaglia M, Del Nobile MA. 2007. Development of immobilized lysozyme based active film. *Journal of Food Engineering* **78**:741–745.
- Corradini C, Alfieri I, Cavazza A, Lantano C, Lorenzi A, Zucchetto N, Montenero A. 2013. Antimicrobial films containing lysozyme for active packaging obtained by sol-gel technique. *Journal of Food Engineering* **119**:580–587. Elsevier Ltd.
- Coton M, Bregier T, Poirier E, Debaets S, Arnich N, Coton E, Dantigny P. 2020. Production and migration of patulin in *Penicillium expansum* molded apples during cold and ambient storage. *International Journal of Food Microbiology* **313**:108377. Elsevier.
- Dawson PL, Carl GD, Acton JC, Han IY. 2002. Effect of lauric acid and nisin-impregnated soy-based films on the growth of *Listeria monocytogenes* on turkey bologna. *Poultry Science* **81**:721–726. Poultry Science Association Inc.
- de Abreu DAP, Cruz JM, Losada PP. 2012. Active and Intelligent Packaging for the Food Industry. *Food Reviews International* **28**:146–187.
- De Abreu DAP, Losada PP, Maroto J, Cruz JM. 2011. Lipid damage during frozen storage of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) in active packaging film containing antioxidants. *Food Chemistry* **126**:315–320. Elsevier Ltd.
- Deshwal GK, Panjagari NR, Alam T. 2019. An overview of paper and paper based food packaging materials: health safety and environmental concerns. *Journal of Food Science and Technology* **56**:4391–4403. Springer India.
- Devlieghere F, Vermeiren L, Debevere J. 2004. New preservation technologies: Possibilities and limitations. *International Dairy Journal* **14**:273–285.
- Erdman J, Wills J, Finley D. 2000. Chocolate: Modern Science Investigates an Ancient Medicine. Foreword. *Journal of Nutrition* **130**:2073–2085.
- Feliciano RP, Antunes C, Ramos A, Serra AT, Figueira ME, Duarte CMM, Carvalho A de, Bronze MR. 2010. Characterization of traditional and exotic apple varieties from Portugal. Part 1 - Nutritional, phytochemical and sensory evaluation. *Journal of Functional Foods* **2**:35–45. Elsevier Ltd.
- Finger FL, Della-Justina ME, Casali VWD, Puiatti M. 2008. Temperature and modified atmosphere affect the quality of okra. *Scientia Agricola* **65**:360–364.
- Franklin NB, Cooksey KD, Getty KJK. 2004. Inhibition of *Listeria monocytogenes* on the surface of individually packaged hot dogs with a packaging film coating containing nisin. *Journal of Food Protection* **67**:480–485

- Gaikwad KK, Lee YS. 2016. Novel natural phenolic compound-based oxygen scavenging system for active packaging applications. *Journal of Food Measurement and Characterization* **10**:533–538. Springer US.
- Gaikwad KK, Singh S, Ajji A. 2019. Moisture absorbers for food packaging applications. *Environmental Chemistry Letters* **17**:609–628. Springer International Publishing.
- Gaikwad KK, Singh S, Lee YS. 2018. Oxygen scavenging films in food packaging. *Environmental Chemistry Letters* **16**:523–538. Springer International Publishing.
- Gaikwad KK, Singh S, Negi YS. 2020. Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environmental Chemistry Letters* **18**:269–284. Springer International Publishing.
- Gemili S, Yemenicioğlu A, Altinkaya SA. 2009. Development of cellulose acetate based antimicrobial food packaging materials for controlled release of lysozyme. *Journal of Food Engineering* **90**:453–462.
- Gennadios A, Hanna MA, Kurth LB. 1997. Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: A review. *LWT - Food Science and Technology* **30**:337–350.
- Gómez-Estaca J, López-de-Dicastillo C, Hernández-Muñoz P, Catalá R, Gavara R. 2014. Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science and Technology* **35**:42–51.
- Grob K, Biedermann M, Scherbaum E, Roth M, Rieger K. 2006. Food contamination with organic materials in perspective: Packaging materials as the largest and least controlled source? A view focusing on the European situation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **46**:529–535.
- Guan Y, Chu Q, Fu L, Wu T, Ye J. 2006. Determination of phenolic antioxidants by micellar electrokinetic capillary chromatography with electrochemical detection. *Food Chemistry* **94**:157–162.
- Han JH. 2005. New technologies in food packaging. Overview. *Innovations in Food Packaging*:3–11
- Harker FR, Gunson FA, Jaeger SR. 2003. The case for fruit quality: An interpretive review of consumer attitudes, and preferences for apples. *Postharvest Biology and Technology* **28**:333–347.
- Harker FR, Kupferman EM, Marin AB, Gunson FA, Triggs CM. 2008. Eating quality standards for apples based on consumer preferences. *Postharvest Biology and Technology* **50**:70–78.

- Hu B, Sun DW, Pu H, Wei Q. 2019. Recent advances in detecting and regulating ethylene concentrations for shelf-life extension and maturity control of fruit: A review. *Trends in Food Science and Technology* **91**:66–82. Elsevier.
- Imran M, Revol-Junelles AM, Martyn A, Tehrani EA, Jacquot M, Linder M, Desobry S. 2010. Active food packaging evolution: Transformation from micro- to nanotechnology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **50**:799–821.
- Jafarzadeh S, Hadidi M, Forough M, Mohammadi A, Khaneghah AM. 2022. The control of fungi and mycotoxins by food active packaging : a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **0**:1–19. Taylor & Francis.
- King N. 2011. Production and Marketing. *The Passion of the Christ* **21**:1–24.
- Kudachikar VB, Kulkarni SG, Prakash MNK. 2011. Effect of modified atmosphere packaging on quality and shelf life of “Robusta” banana (*Musa sp.*) stored at low temperature. *Journal of Food Science and Technology* **48**:319–324.
- Kumar P, Sethi S, Sharma RR, Singh S, Saha S, Sharma VK, Verma MK, Sharma SK. 2018. Nutritional characterization of apple as a function of genotype. *Journal of Food Science and Technology* **55**:2729–2738. Springer India.
- Lago MA et al. 2014. Preparation and Characterization of Antimicrobial Films Based on Chitosan for Active Food Packaging Applications. *Food and Bioprocess Technology* **7**:2932–2941.
- Lanina SA, Toledo P, Sampels S, Kamal-Eldin A, Jastrebova JA. 2007. Comparison of reversed-phase liquid chromatography-mass spectrometry with electrospray and atmospheric pressure chemical ionization for analysis of dietary tocopherols. *Journal of Chromatography A* **1157**:159–170.
- Lee HB, Noh BS, Min SC. 2012. *Listeria monocytogenes* inhibition by defatted mustard meal-based edible films. *International Journal of Food Microbiology* **153**:99–105. Elsevier B.V.
- Liang Z, Zhang P, Fang Z. 2022. Modern technologies for extraction of aroma compounds from fruit peels: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **62**:1284–1307. Taylor & Francis.
- Liaudanskas M, Viškelis P, Jakštas V, Raudonis R, Kviklys D, Milašius A, Janulis V. 2014. Application of an optimized HPLC method for the detection of various phenolic compounds in apples from Lithuanian cultivars. *Journal of Chemistry* **2014**.
- Lü F, Ye X, Liu D. 2009. Review of antimicrobial food packaging. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery* **40**:138–142.
- M. Rangaraj V, Rambabu K, Banat F, Mittal V. 2021. Natural antioxidants-based edible active food packaging: An overview of current advancements. *Food Bioscience* **43**:101251. Elsevier Ltd.

- Ma X, Ouyang F. 2013. Adsorption properties of biomass-based activated carbon prepared with spent coffee grounds and pomelo skin by phosphoric acid activation. *Applied Surface Science* **268**:566–570. Elsevier B.V.
- Mahajan P V., Oliveira FAR, Macedo I. 2008. Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms. *Journal of Food Engineering* **84**:281–288.
- Majid I, Ahmad Nayik G, Mohammad Dar S, Nanda V. 2018. Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* **17**:454–462. King Saud University & Saudi Society of Agricultural Sciences.
- Martí R, Valcárcel M, Herrero-Martínez JM, Cebolla-Cornejo J, Roselló S. 2015. Fast simultaneous determination of prominent polyphenols in vegetables and fruits by reversed phase liquid chromatography using a fused-core column. *Food Chemistry* **169**:169–179.
- Martínez-Romero D, Bailén G, Serrano M, Guillén F, Valverde JM, Zapata P, Castillo S, Valero D. 2007. Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition of ethylene action: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **47**:543–560.
- Mastromatteo M, Mastromatteo M, Conte A, Del Nobile MA. 2010. Advances in controlled release devices for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology* **21**:591–598. Elsevier Ltd.
- Mditshwa A, Amos O, Linus U. 2018. Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples — A review. *Food Packaging and Shelf Life* **16**:59–68. Elsevier.
- Meng J, Doyle MP. 2002. Introduction. Microbiological food safety. *Microbes and Infection* **4**:395–397.
- Menzel C. 2020. Improvement of starch films for food packaging through a three-principle approach: Antioxidants, cross-linking and reinforcement. *Carbohydrate Polymers* **250**:116828. Elsevier.
- Mexis SF, Chouliara E, Kontominas MG. 2009. Combined effect of an oxygen absorber and oregano essential oil on shelf life extension of rainbow trout fillets stored at 4 °C. *Food Microbiology* **26**:598–605. Elsevier Ltd.
- Min S, Rumsey TR, Krochta JM. 2008. Diffusion of the antimicrobial lysozyme from a whey protein coating on smoked salmon. *Journal of Food Engineering* **84**:39–47.
- Muriel-Galet V, Cerisuelo JP, López-Carballo G, Lara M, Gavara R, Hernández-Muñoz P. 2012. Development of antimicrobial films for microbiological control of packaged salad. *International Journal of Food Microbiology* **157**:195–201. Elsevier B.V.

- Murmu SB, Mishra HN. 2018. Selection of the best active modified atmosphere packaging with ethylene and moisture scavengers to maintain quality of guava during low-temperature storage. *Food Chemistry* **253**:55–62. Elsevier.
- Musacchi S, Serra S. 2018. Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae* **234**:409–430. Elsevier.
- Nath A, Deka BC, Singh A, Patel RK. 2012. Extension of shelf life of pear fruits using different packaging materials **49**:556–563.
- Nielsen P V., Rios R. 2000. Inhibition of fungal growth on bread by volatile components from spices and herbs, and the possible application in active packaging, with special emphasis on mustard essential oil. *International Journal of Food Microbiology* **60**:219–229.
- Nugen SR, Baeumner AJ. 2008. Trends and opportunities in food pathogen detection. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **391**:451–454.
- Nugraha B, Bintoro N, Murayama H. 2015. Influence of CO<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> Adsorbents to the Symptoms of Internal Browning on the Packaged ‘Silver Bell’ Pear (*Pyrus communis* L.). *Agriculture and Agricultural Science Procedia* **3**:127–131. Elsevier Srl.
- Núñez-Gastélum JA, Alvarez-Parrilla E, De La Rosa LA, Martínez-Ruiz NR, González-Aguilar GA, Rodrigo-García J. 2015. Effect of harvest date and storage duration on chemical composition, sugar and phenolic profile of Golden Delicious’ apples from northwest Mexico. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* **43**:214–221. Taylor & Francis.
- O.a. BGOAF. 2009. O.a. BGOAF. 2009. Effects of packaging materials and storage temperature on quality of fresh okra (*abelmoschus esculentus*) fruit babarinde g.o., fabunmi o.a. *Agricultura Tropica et Subtropica* **42**:151–156. Effects of packaging materials and storage temperatu. *Agricultura Tropica et Subtropica* **42**:151–156.
- Ornelas-Paz JDJ, Zamudio-Flores PB, Torres-Cisneros CG, Holguín-Soto R, Ramos-Aguilar OP, Ruiz-Cruz S, Guevara-Arauz JC, González-Aguilar GA, Santana-Rodríguez V. 2012. The barrier properties and potential use of recycled-LDPE films as a packaging material to preserve the quality of Jalapeño peppers by modified atmospheres. *Scientia Horticulturae* **135**:210–218. Elsevier B.V.
- Ozdemir M, Floros JD. 2004. Active food packaging technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **44**:185–193.
- Patriarca A. 2019. Fungi and mycotoxin problems in the apple industry. *Current Opinion in Food Science* **29**:42–47. Elsevier Ltd.

- Picón A, Martínez-Jávega JM, Cuquerella J, Del Río MA, Navarro P. 1993. Effects of precooling, packaging film, modified atmosphere and ethylene absorber on the quality of refrigerated Chandler and Douglas strawberries. *Food Chemistry* **48**:189–193.
- Ribas-Agustí A, Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R, Elez-Martínez P. 2018. Food processing strategies to enhance phenolic compounds bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **58**:2531–2548. Taylor & Francis.
- Ridgway K, Lalljie SPD, Smith RM. 2010. Analysis of food taints and off-flavours: A review. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment* **27**:146–168.
- Rux G, Mahajan P V., Geyer M, Linke M, Pant A, Saengerlaub S, Caleb OJ. 2015. Application of humidity-regulating tray for packaging of mushrooms. *Postharvest Biology and Technology* **108**:102–110. Elsevier B.V.
- Rychlik M, Schieberle P. 2001. Model studies on the diffusion behavior of the mycotoxin patulin in apples, tomatoes, and wheat bread. *European Food Research and Technology* **212**:274–278.
- Saad B, Sing YY, Nawi MA, Hashim NH, Mohamed Ali AS, Saleh MI, Sulaiman SF, Talib KM, Ahmad K. 2007. Determination of synthetic phenolic antioxidants in food items using reversed-phase HPLC. *Food Chemistry* **105**:389–394.
- Sadeghi K, Lee Y, Seo J. 2021. Ethylene Scavenging Systems in Packaging of Fresh Produce: A Review. *Food Reviews International* **37**:155–176. Taylor & Francis.
- Sagoo S, Board R, Roller S. 2002. Chitosan inhibits growth of spoilage micro-organisms in chilled pork products. *Food Microbiology* **19**:175–182.
- Sanches-Silva A, Costa D, Albuquerque TG, Buonocore GG, Ramos F, Castilho MC, Machado AV, Costa HS. 2014. Trends in the use of natural antioxidants in active food packaging: a review. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment* **31**:374–395. Taylor & Francis.
- Sanchis Y, Yusà V, Coscollà C. 2017. Analytical strategies for organic food packaging contaminants. *Journal of Chromatography A* **1490**:22–46. Elsevier B.V.
- Santos-Buelga C, Scalbert A. 2000. Proanthocyanidins and tannin-like compounds - Nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **80**:1094–1117.
- Sanxter SS, Nishijima KA, Chan Jnr HT. 1994. Heat-treating “Sharwil” avocado for cold tolerance in quarantine cold treatments. *HortScience* **29**:1166–1168.

- Sanzani SM, Reverberi M, Punelli M, Ippolito A, Fanelli C. 2012. Study on the role of patulin on pathogenicity and virulence of *Penicillium expansum*. *International Journal of Food Microbiology* **153**:323–331. Elsevier B.V.
- Scalbert A, Williamson G. 2000. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *Journal of Nutrition* **130**.
- Shahidi F, Peng H. 2018. Bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds. *Journal of Food Bioactives* **4**:11–68.
- Shao P, Wu W, Chen H, Sun P, Gao H. 2020. Bilayer edible films with tunable humidity regulating property for inhibiting browning of *Agaricus bisporus*. *Food Research International* **138**:109795. Elsevier Ltd.
- Sobhan A, Muthukumarappan K, Cen Z, Wei L. 2019. Characterization of nanocellulose and activated carbon nanocomposite films' biosensing properties for smart packaging. *Carbohydrate Polymers* **225**:115189. Elsevier.
- Sobhan A, Muthukumarappan K, Wei L, Van Den Top T, Zhou R. 2020. Development of an activated carbon-based nanocomposite film with antibacterial property for smart food packaging. *Materials Today Communications* **23**:101124. Elsevier.
- Stavropoulos GG, Zabaniotou AA. 2005. Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue. *Microporous and Mesoporous Materials* **82**:79–85.
- Sung SY, Sin LT, Tee TT, Bee ST, Rahmat AR, Rahman WAWA, Tan AC, Vikhraman M. 2013. Antimicrobial agents for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology* **33**:110–123. Elsevier Ltd.
- Topuz F, Uyar T. 2020. Antioxidant, antibacterial and antifungal electrospun nanofibers for food packaging applications. *Food Research International* **130**:108927. Elsevier.
- Triantafyllou VI, Akrida-demertzi K, Demertzis PG. 2007. *Food Chemistry* A study on the migration of organic pollutants from recycled paperboard packaging materials to solid food matrices **101**:1759–1768.
- Tuberoso CIG, Orrù CD. 2008. Phenolic compounds in food. *Progress in Food Chemistry*:1–45.
- Venema D, Rijk T De, Patricia L, Mol HGJ, Nijs M De. 2016. Occurrence of *Alternaria* toxins in food products in The Netherlands **60**:196–204.
- Vermeiren L, Devlieghere F, Debevere J. 2002. Effectiveness of some recent antimicrobial packaging concepts. *Food Additives and Contaminants* **19**:163–171.

- Vermeiren L, Devlieghere F, Van Beest M, De Kruijf N, Debevere J. 1999. Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science and Technology* **10**:77–86.
- Wang K, Ngea GLN, Godana EA, Shi Y, Lanhuang B, Zhang X, Zhao L, Yang Q, Wang S, Zhang H. 2021. Recent advances in *Penicillium expansum* infection mechanisms and current methods in controlling *P. expansum* in postharvest apples. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **0**:1–14. Taylor & Francis.
- Wang LF, Rhim JW. 2016. Grapefruit seed extract incorporated antimicrobial LDPE and PLA films: Effect of type of polymer matrix. *LWT - Food Science and Technology* **74**:338–345. Elsevier Ltd.
- Warrington IJ, Fulton TA, Halligan EA, De Silva HN. 1999. Apple fruit growth and maturity are affected by early season temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **124**:468–477.
- Wei H, Seidi F, Zhang T, Jin Y, Xiao H. 2021. Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry* **337**:127750. Elsevier.
- Weng YM, Hotchkiss JH. 1992. Inhibition of surface molds on cheese by polyethylene film containing the antimycotic imazalil. *Journal of Food Protection* **55**:367–369.
- Wu J, Gao H, Zhao L, Liao X, Chen F, Wang Z, Hu X. 2007. Chemical compositional characterization of some apple cultivars. *Food Chemistry* **103**:88–93.
- Wyrwa J, Barska A. 2017. Innovations in the food packaging market: active packaging. *European Food Research and Technology* **243**:1681–1692. Springer Berlin Heidelberg.
- Xu X, Robinson JD, Berrie AM, Harris DC. 2001. Spatio-temporal dynamics of brown rot (*Monilinia fructigena*) on apple and pear. Pages 569–578 *Plant pathology*.
- Xu XM, Berrie AM. 2005. Epidemiology of mycotoxigenic fungi associated with *Fusarium* ear blight and apple blue mould: A review. *Food Additives and Contaminants* **22**:290–301.
- Xu Y, Liu J, Zang N, Yin Z, Wang A. 2022. Effects of Calcium Application on Apple Fruit Softening During Storage Revealed by Proteomics and Phosphoproteomics. *Horticultural Plant Journal*:0–22. Elsevier B.V.
- Yan YE, Schwartz FW. 1999. Oxidative degradation and kinetics of chlorinated ethylenes by potassium permanganate. *Journal of Contaminant Hydrology* **37**:343–365.
- Yang MH, Lin HJ, Choong YM. 2002. A rapid gas chromatographic method for direct determination of BHA, BHT and TBHQ in edible oils and fats. *Food Research International* **35**:627–633.



- Youssef AM, El-Nabarawy T, Samra SE. 2004. Sorption properties of chemically-activated carbons: 1. Sorption of cadmium(II) ions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **235**:153–163.
- Zhang M, Biesold GM, Choi W, Yu J, Deng Y, Silvestre C, Lin Z. 2022. Recent advances in polymers and polymer composites for food packaging. *Materials Today xxx*. Elsevier Ltd.
- Zia J, Paul UC, Heredia-guerrero JA, Athanassiou A, Fragouli D. 2019. Low-density polyethylene / curcumin melt extruded composites with enhanced water vapor barrier and antioxidant properties for active food packaging. *Polymer* **175**:137–145. Elsevier.



