

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BRNO 2016

ALENA BEDNÁŘOVÁ

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky



Balení potravin v modifikované atmosféře
Bakalářská práce

Vedoucí práce:
doc. Ing. Jiří Štencl, DrSc.

Vypracovala:
Alena Bednářová

Brno 2016

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Balení potravin v modifikované atmosféře** vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 28. 4. 2016

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Štenclovi, DrSc. za odborné vedení, konzultace a připomínky k této závěrečné práci. Děkuji také své rodině, která mě v průběhu studia vždy podporovala.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá moderními způsoby balení potravin, zvláště se zaměřuje na balení vakuové a rovnovážné. Popisuje průběh balicího procesu. Analyzuje systémy balení vybraných potravin. Popisuje interakce mezi plynem a balenou potravinou a vyhodnocuje vliv plynu na údržnost výrobku. Přítomnost kyslíku je u většiny balených potravin nežádoucí. Výjimkou jsou potraviny, u nichž kyslík slouží k uchování zbarvení nebo potraviny, které potřebují dýchat. Vakuové balení odsává z okolí potravin vzduch a tedy i kyslík, při tom je však balená potravina vystavena velkým změnám tlaku, které mohou způsobit její deformaci. Vzduch je také možno vytěsnit směsí plynů. Dusík je inertní plyn, nemá antimikrobiální účinky, pouze vytváří anaerobní prostředí. Nejdůležitějším plynem v MAP je oxid uhličitý, který je rozpustný ve vodě, čímž snižuje pH potravin, má antimikrobiální účinky a tlumí intenzitu dýchání plodin.

Klíčová slova: balení potravin, modifikovaná atmosféra, údržnost

ABSTRACT

The thesis deals with modern forms of food packaging; it is especially focused on vacuum packaging and equilibrium packaging. It describes the progress of the packaging process. The thesis analyzes the packaging systems for selected food products. There are described interactions between the gas and packaged food and there is evaluated the effect of gas on the shelf life of packaged food products. The presence of oxygen is generally undesirable in food packaging. There is exception in the case of foods, which need oxygen to breathe or to keep their colour. Vacuum packaging makes anoxic conditions, but the change of pressure can lead to deformation of product. The gas mixture can also displace the air. Nitrogen is an inert gas with no antimicrobial effect, it only creates anoxic conditions. Most important gas in MAP is carbon dioxide, due to its antimicrobial properties. It is water-soluble gas that can lower pH. This gas also gives a slow the respiration of fruits.

Key words: food packaging, modified atmosphere, shelf life

OBSAH

1 ÚVOD.....	7
2 CÍL PRÁCE	11
3 METODIKA	11
4 LITERÁRNÍ PŘEHLED	12
4.1 Plyny používané v MAP	12
4.1.1 Oxid uhličitý	13
4.1.2 Kyslík.....	13
4.1.3 Dusík.....	14
4.1.4 Vzácné plyny	14
4.1.5 Oxid uhelnatý.....	15
4.1.6 Směsi plynů.....	16
4.2 Obalové materiály určené pro MAP	18
4.3 Balicí technika pro MAP	21
4.3.1 Form-Fill-Seal baličky	21
4.3.2 Komorové baličky.....	22
4.3.3 Baličky s trubicovým plněním	22
4.3.4 Praktické příklady baliček	22
4.4 MAP vybraných potravin.....	25
4.4.1 Balení masa.....	25
4.4.2 Balení ryb a mořských plodů	28
4.4.3 Balení pečiva.....	31
4.4.4 Balení sýrů	33
4.4.5 Balení ovoce a zeleniny	34
5 VÝSLEDKY A ZÁVĚR.....	38
6 POUŽITÁ LITERATURA	40
7 SEZNAM ZKRATEK	43

1 ÚVOD

Balení potravin se provádí především za účelem ochrany výrobku před poškozením vlivem vnějších mechanických, biologických nebo klimatických činitelů. Obal zároveň může usnadnit manipulaci s výrobkem a komunikovat se spotřebitelem. Balení potravin s využitím dalších technologií (sterilace, mražení, chlazení, MAP) oddaluje zkázu potravin a umožňuje zvětšení vzdálenosti mezi výrobcem a spotřebitelem. Mezi progresivní způsoby balení potravin patří balení v modifikované atmosféře, aktivní balení a inteligentní balení.

I u balených potravinářských výrobků dochází ke změnám kvality působením mikrobiálních (plísně, kvasinky, bakterie), enzymatických, chemických (oxidace) a fyzikálních (změny vlhkosti) vlivů. Záměrnou úpravou nejbližšího okolí, tedy okolní atmosféry, můžeme omezit nebo dokonce zastavit nežádoucí děje v potravinách a prodloužit tak jejich dobu použitelnosti. Na tomto faktu je založena podstata moderních způsobů balení potravin: balení v modifikované atmosféře (MAP – Modified Atmosphere Packaging), resp. balení v řízené atmosféře (CAP – Controlled Atmosphere Packaging). Pojem MAP se vztahuje k potravinám baleným do jednotlivých spotřebitelských balení, kdežto CAP se týká produktů uskladněných volně [1].

Podle Yahia (2009) bylo skladování v řízené atmosféře s nízkou koncentrací kyslíku a vysokou koncentrací oxidu uhličitého v kombinaci s chlazením zavedeno ve dvacátém století a je jednou z nejúspěšnějších technologií posklizňového uchování ovoce a zeleniny. Snížení hladiny kyslíku a zvýšení koncentrace oxidu uhličitého ve skladovací atmosféře oddaluje dozrávání ovoce a zeleniny, oslabuje intenzitu dýchání, snižuje produkci ethylenu a zpomaluje měknutí a jiné změny textury spojené se zráním. Kyslík je nezbytný pro dýchání, po jeho odstranění může být nahrazen inertním plynem, např. dusíkem, který nemá žádné přímé biologické účinky na skladované plodiny, nebo oxidem uhličitým, který je zároveň inhibítozem účinku ethylenu a částečně omezuje růst některých plísní a bakterií. Intenzita dýchání se snižuje, když klesne parciální tlak kyslíku na méně než 10 kPa. Dobiáš a Čurda (2004) [4] uvádí, že složení skladovací atmosféry však musí splňovat určitou minimální koncentraci kyslíku a maximální koncentraci oxidu uhličitého pro danou plodinu, jinak by to mohlo vést k anaerobní respiraci a následným nepříznivým změnám. Mezní hodnoty se u zemědělských plodin pohybují pro kyslík od 1 do 5 %, pro oxid uhličitý přibližně od 2 do 20 %.

V MAP rozlišujeme balení vakuové (VP – Vacuum Packaging) a balení rovnovážné (EP – Equilibrium Packaging). Podstatou vakuového balení je odsátí všech plynů v okolí potraviny v takovém rozsahu, aby bylo dosaženo snížení obsahu kyslíku na méně než 1 % z původního množství. Rovnovážné balení usiluje o docílení rovnovážného a stabilního stavu (zamezení oxidačním reakcím atd.). Jde o nahrazení vzduchu v obalu ochrannou atmosférou, složenou nejčastěji z těchto tří plynů: kyslíku, dusíku a oxidu uhličitého. Rovnovážné balení se provádí dvěma způsoby. Buď se nejprve odsaje z obalu vzduch a až poté se obal plní atmosférou, nebo se vzduch vytlačí přímo proudem ochranné atmosféry. Při používání MAP je třeba zohlednit fakt, že v případě vakuového balení nebo vakuového odsátí vzduchu před plněním ochrannou atmosférou může dojít k poškození struktury balené potraviny. Samotná změna atmosféry v okolí potraviny s výjimkou pečiva nestačí, k prodloužení údržnosti je zapotřebí použít spolu s MAP i chlazení [1].

Složení modifikované atmosféry plněné v obalu lze v průběhu skladování výrobku ovlivnit použitím prvků aktivního balení. Materiály aktivního balení se snaží udržovat konstantní podmínky uvnitř obalu a tím přispívají k prodloužení trvanlivosti potraviny. Mezi prvky aktivního balení patří různé absorbéry, Zeman (2005) uvádí např. tyto:

Absorbéry kyslíku – mohou snížit obsah zbytkového kyslíku v obalu na méně než 0,01 % (při aplikaci bez předchozí úpravy atmosféry). Použití těchto absorbérů podporuje účinnost vakuového i rovnovážného balení. Odejmutím kyslíku vytváříme v obalu anaerobní prostředí, čímž maximálně zabráníme oxidačním reakcím ve výrobku a omezíme rozvoj nežádoucí aerobní mikroflóry (plísně, některé bakterie). Absorbéry kyslíku nejčastěji fungují na principu oxidace železa nebo oxidu železnatého, reakci urychluje přítomnost vlhkosti. Absorbéry je možno aplikovat ve formě sáčků, které se vkládají volně do obalů, nálepek, které jsou pevně přichyceny k obalu, nebo lze absorbéry přímo v malých vrstvách zapracovat do obalového materiálu.

Absorbéry oxidu uhličitého – se uplatňují především při balení čerstvě pražené kávy, ze které se po upražení uvolňuje velké množství oxidu uhličitého. Káva se balí do obalů nepropustných pro plyny, aby se v průběhu skladování nevytrácelo její aroma. Únik oxidu uhličitého přes obalovou bariéru tedy není možný, a proto je nutné použít absorbér. Pohlcování oxidu uhličitého je založeno na jeho reakci s hydroxidem vápenatým, popř. oxidem hořečnatým, který je aplikován ve formě sáčku volně vloženého v obalu.

Absorbéry ethylenu – pomáhají zpomalovat dozrávání plodin. Přítomnost ethylenu totiž urychluje dozrávání a stárnutí ovoce a zeleniny, čímž se zkracuje jejich skladovatelnost. Absorbéry jsou na bázi zeolitu a používají se ve formě sáčku nebo jsou zabudovány jako součást polymerních fólií.

Absorbéry světla – pohlcují světlo určité vlnové délky. Světlo působí při oxidaci některých látek fotokatalyticky a urychluje tak zkázu potravin. Výrobky můžeme před světlem chránit volbou vhodného materiálu, např. použitím barevných plastů, barevného skla.

Absorbéry vlhkosti – se podle Dobiáše a Čurdy (2004) [4] dělí na absorbéry zadržující vodu uvolňovanou baleným produktem a na absorbéry upravující vlhkost atmosféry. Do první skupiny patří různé podložky, které se používají při balení masa. Ty se většinou skládají ze dvou vrstev pórovitého polymeru (PE, PP) mezi kterými je vrstva absorbentu (polyakrylátová sůl, celulózová vlákna). Do druhé skupiny řadíme fólie, které jsou také založeny na principu vstvení. Fólie se sestávají ze dvou vrstev polymerů propustných pro vlhkost (např. polyvinylalkohol), mezi nimiž je sorpční vrstva (polypropylenglykol, popř. roztok jiné látky s vhodnou vodní aktivitou). Rozšířené je i používání silikagelu, který je výborným absorbérem vlhkosti, jeho aplikace v potravinářství však není možná [1].

Prvky inteligentního balení umožňují sledování kvality zabalených výrobků po celou dobu jejich cesty od výrobce až ke spotřebiteli. Systémy inteligentního balení využívají indikátorů, které zaznamenávají změny v nejbližším okolí potraviny (změny skladovacích teplot, změny složení ochranné atmosféry). Díky těmto indikátorům můžeme např. odhalit porušenost, resp. netěsnost obalu, nebo mikrobiální závadnost potravin. Podle Zemana (2005) se v potravinářské praxi používají tyto indikátory:

Indikátory složení atmosféry – bývají umístěny uvnitř obalu jako štítky s barvivem, které mění barvu podle změny pH nebo vlivem oxidačně redukčních reakcí s plyny atmosféry. Nejčastěji se uplatňují indikátory kyslíku a indikátory oxidu uhličitého. Indikátor kyslíku slouží ke zjištění porušenosti obalu. Při balení v MAP obsahuje ochranná atmosféra často jen velmi malé množství kyslíku. V případě netěsnosti obalu nebo jeho porušení proniká do obalu kyslík, prostředí potraviny přestává být anaerobní a může dojít k rozvoji aerobních mikroorganismů a ke kažení potraviny. Indikátor tuto změnu složení zaznamená a upozorní na ni výrobce, popř. spotřebitele. Indikátory oxidu uhličitého jsou podle Puligundly *et al* (2012) [2] považovány především za indikátory kažení potravin. Oxid uhličitý je metabolitem některých mikroorganismů, zvýšená

koncentrace CO₂ je proto známkou jejich aktivity. Některá čidla reagují naopak na snížení koncentrace oxidu uhličitého v modifikované atmosféře, které opět značí netěsnost obalu.

Indikátory teploty – jsou umístěny zvnějšku obalu, informují o případném výkyvu teploty v průběhu skladování výrobku, nebo mohou indikovat současnou teplotu výrobku. Indikátory zaznamenávající okolní teplotu můžeme rozdělit na indikátory dosažení kritické teploty (CTI – Critical Temperature Indicators) a na indikátory celkového tepelného účinku (TTI – Time-Temperature Indicators). CTI ukazují pouze, jestli byl výrobek vystaven teplotě vyšší, popř. nižší než je kritická teplota, na jakou byl indikátor nastaven, a varují tak před možnou zhoršenou jakostí potravin. TTI podle Hana (2005) zohledňují nejen překročení určité teplotní hranice, ale i dobu, po kterou byl výrobek těmito teplotám vystaven. Zaznamenávají kompletní účinek skladovacích teplot po celou dobu distribuce a můžeme z nich tak vyhodnotit míru znehodnocení výrobku. Han (2005) popisuje indikátory sledující aktuální teplotu potravin, aplikované nejčastěji na nápojových plechovkách. Jako indikátor slouží potisk, jehož barvivo je citlivé na teplotu, při jejímž dosažení dojde ke změně zbarvení potisku. Spotřebitel je tak upozorněn, že je nápoj vychlazen na správnou teplotu a připraven ke konzumaci.

Systémy inteligentního balení jsou většinou nákladné, používají se proto jen pro vybrané zboží. Někdy je výrobci aplikují na své produkty, aby upoutali pozornost spotřebitele [1].

2 CÍL PRÁCE

- Analyzovat používané způsoby balení potravin, se zvláštním zřetelem na MAP.
- Analyzovat průběh balicího procesu u vybraných baliček.
- Vyhodnotit poznatky o vhodnosti balení jednotlivých druhů potravin do modifikované atmosféry a o interakcích mezi potravinou a plynem.

3 METODIKA

- Prostudovat současnou domácí i světovou odbornou literaturu - odborná periodika, vědecké databáze, internetové zdroje, využít studijní literaturu k předmětu Balení a prodej potravin.
- Využít znalostí nabytých dosavadním studiem na Mendelově univerzitě v Brně.
- Ověřit činnost stolních baliček při balení do polymerních fólií.

4 LITERÁRNÍ PŘEHLED

4.1 Plyny používané v MAP

MAP pomáhá zpomalit kažení a rozklad potravin, které nejsou sterilní a jejichž enzymatické systémy mohou být stále funkční. Využívá toho, že mnoho katabolických reakcí zahrnuje aerobní dýchání, při kterém daná potravina nebo mikroorganismus spotřebovává kyslík a produkuje oxid uhličitý a vodu. Snížení koncentrace kyslíku v ochranné atmosféře zpomaluje aerobní dýchání, zvýšení koncentrace oxidu uhličitého brzdí mikrobiální růst. Zabalení potravin také pomáhá snížit ztráty vody vysušováním a zlepšuje hygienickou kvalitu omezením kontaminace při manipulaci s výrobkem.

Vzduch kolem nás se skládá z plynů v tomto objemovém zastoupení: 78,08 % N₂, 20,95 % O₂, 0,93 % Ar, 0,03 % CO₂ a devíti dalších plynů o velmi nízkých koncentracích (Robertson, 2013). Pro účely MAP se používají především tři plyny – kyslík, dusík a oxid uhličitý, a to buď jednotlivě, nebo v kombinaci. Podle Robertsona (2013) jsou vzácné plyny, jako je např. argon, také komerčně využívány pro balení široké škály výrobků, ačkoliv se o nich literatura příliš nezmiňuje. V laboratorních podmínkách bylo zkoumáno také možné použití oxidu uhelnatého. Účinky plynů modifikované atmosféry na balenou potravinu jsou různé, stejně jako jejich rozpustnost ve vodě (Tab. 1) a v tucích.

Tabulka 1: Rozpustnost plynů ve vodě při normálním atmosférickém tlaku (1013,25 hPa) a různých teplotách.

Zdroj: Robertson G. L., 2013: Food packaging: principles and practice

Rozpustnost plynů [mg/kg]					
Teplota [°C]	Kyslík	Dusík	Oxid uhličitý	Argon	Oxid uhelnatý
0	69	29	3350	100	44
5	62	27	2770	89	40
10	58	24	2320	78	36
20	42	18	1690	59	28

4.1.1 Oxid uhličitý

Oxid uhličitý je podle Robertsona (2013) pro své bakteriostatické a fungistatické účinky nejdůležitějším plynem v MAP potravin. Inhibuje růst mnoha bakterií zapříčiňujících kažení, míra inhibice roste se zvyšující se koncentrací CO₂. Zvláště je účinný proti plísním a gram-negativním aerobním bakteriím, např. *Pseudomonas sp.* Méně ovlivňuje činnost kvasinek nebo bakterií mléčného kvašení. Oxid uhličitý je bezbarvý plyn, ve vysokých koncentracích má slabě štiplavý zápach. Snadno se rozpouští ve vodě i v tucích, disociuje podle pH vodního prostředí. Při mírně kyselém pH, které je v mnoha potravinách, se rozpouští za vzniku kyseliny uhličitě, dojde tím ke snížení pH a zvýšení kyselosti potraviny, což působí konzervačně. Stejně jako u všech plynů, rozpustnost oxidu uhličitěho se zvyšuje s klesající teplotou, proto jsou antimikrobiální účinky oxidu uhličitěho výrazně vyšší při nižších teplotách. Při balení masa do atmosféry s vysokým podílem oxidu uhličitěho dochází k poklesu pH masa, které tak ztrácí vaznost a začne uvolňovat šťávu, potom je nutné použít absorpční podložky. Vysoká rozpustnost oxidu uhličitěho má za následek jeho úbytek v ochranné atmosféře a s tím spojené postupné scvrkávání balení v průběhu skladování. Tento problém se řeší použitím směsi oxidu uhličitěho a dusíku, popř. zakomponováním pevného CO₂ do obalu [4]. Ve vysokých koncentracích tlumí oxid uhličitý dýchání.

4.1.2 Kyslík

Kyslík je plyn bez barvy a bez zápachu. Je velmi reaktivní, špatně rozpustný ve vodě a podporuje hoření. Průběh některých reakcí zhoršujících jakost potravin je podmíněn přítomností kyslíku, např. oxidace tuků, enzymatické hnědnutí, oxidace pigmentu. Většina běžných bakterií a plísní kazících potraviny je aerobní a vyžaduje pro svůj růst kyslík. Proto se při balení potravin snažíme kyslík z obalu zcela odstranit nebo alespoň snížit jeho koncentraci na nejnižší možnou hodnotu (Robertson, 2013). Výjimkou jsou případy, kdy je potřeba kyslík v atmosféře zachovat, např. aby mohly ovoce a zelenina dýchat nebo kvůli vybarvení červeného masa. Některé mikroorganismy, jako např. *Clostridium botulinum*, naopak potřebují pro svůj růst anaerobní podmínky. Přítomnost kyslíku tak pomáhá omezit jejich aktivitu (Arvanitoyannis, 2012). Dobiáš a Čurda (2004) [4] varují u balení masa před použitím MA s vysokou koncentrací kyslíku, neboť ten urychluje oxidaci tuků a vytváří ideální podmínky pro rozvoj aerobních mikroorganismů. Pokud aplikujeme směs, ve které je spolu s kyslíkem zároveň i vyšší obsah

oxidu uhličitého, účinně tak zabráníme růstu plísní a bakterií rodu *Pseudomonas*. Nedojde však k inhibici růstu bakterií rodu *Brochotrix*, proto je doba údržnosti červeného masa baleného v MA s vysokým obsahem kyslíku značně omezená.

4.1.3 Dusík

Dusík je inertní plyn bez chuti a bez zápachu. Jeho hustota je nižší než hustota vzduchu. Dusík je málo rozpustný ve vodě a jiných složkách potravin, proto ho lze použít jako plnicí plyn při MAP, kdy nahrazuje rozpuštěný oxid uhličitý a zabraňuje tak zhroucení balení. Přítomnost drobných bublinek při vakuovém balení tučných potravin je vysvětlována údajně dobrou rozpustností dusíku v tucích, není přitom však jinak ovlivněn účinek modifikované atmosféry [4]. Nahrazení kyslíku dusíkem zpomaluje růst aerobních mikroorganismů, nezamezuje však rozvoji anaerobních bakterií. Dusíková, popř. smíšená modifikovaná atmosféra na bázi dusíku, má hustotu nižší, popř. podobnou, ve srovnání s hustotou vzduchu. K vytěsnění vzduchu uvnitř obalů musí být proto použit dostatečný tlak a alespoň osminásobně větší množství objemu atmosféry než je objem vzdušného prostoru v obalu, čímž je celý proces značně neefektivní (Robertson, 2013). Účinnost můžeme zvýšit aplikováním vakuových cyklů předcházejících samotnému plnění obalu atmosférou (Han, 2005). Nicméně i úplné odsátí vzduchu z obalu vyžaduje dlouhé vakuové cykly při vysokém tlaku, což může vést k poškození produktu i obalu. Použitelnost dusíku pro účely MAP je tedy omezena neefektivním využitím velkého množství dusíku a délkou trvání vakuových cyklů.

4.1.4 Vzácné plyny

Použití vzácných plynů pro účely MAP zmiňuje Robertson (2013). Vzácné plyny jsou skupinou chemických prvků, jsou bez barvy, bez zápachu a vyznačují se velmi nízkou chemickou reaktivitou. Mezi vzácné plyny patří helium (He), argon (Ar), xenon (Xe) a neon (Ne). Ačkoli jsou vzácné plyny chemicky inertní, jsou biologicky aktivní a bylo vydáno několik patentů na jejich použití v MAP. Byly zkoumány jejich biochemické a fyziologické účinky na specifické enzymy, většina těchto studií se týkala hnědnutí čerstvého ovoce a zeleniny a respiračního metabolismu. Například argon, i když je považován za zcela inertní, je podle výzkumů kompetitivním inhibitorem dýchacích enzymů, včetně oxidáz. Proto může argon regulovat dýchání mikroorganismů a také skladovaných plodin lépe než třeba dusík. Také bylo prokázáno, že argon zpomaluje

rychlost vzniku těkavých aminokyselin v mořských plodech, inhibuje enzymatickou změnu barvy, oddaluje měknutí potravin, prodlužuje mikrobiální lag fázi, inhibuje mikrobiální oxidázy a oslabením mikrobů zvyšuje účinnost oxidu uhličitého, což umožňuje použití menšího množství CO₂ v MAP. Jedním z důvodů těchto účinků je větší rozpustnost argonu ve vodě i v tucích v porovnání s kyslíkem a dusíkem. Tím může argon účinně vytěsnit kyslík i z kapalných fází potravin a snížit tak koncentraci zbytkového kyslíku. Argon má podobnou velikost atomů jako kyslík, je také účinnější při vytěsňování kyslíku z buněk, enzymatických receptorů a v biologických systémech se chová podobně jako kyslík. Argon má mnohem větší hustotu než dusík, a proto snadněji vytlačuje vzduch z obalu. Na vytěsnění jedné objemové jednotky vzduchu tak stačí pouze jedna objemová jednotka argonu. Vzhledem k tomu, že argon je ve srovnání s dusíkem účinnější při vytlačování vzduchu, je rozdíl v nákladech (Ar stojí přibližně pětkrát víc než N₂) zanedbatelný. Tím, že argon vytlačuje kyslík efektivněji než dusík, poskytuje lepší kontrolu nad oxidací aromatických a barevných složek potravin. Ačkoliv se jen málo vědeckých publikací věnuje použití vzácných plynů v MAP, používají se tyto plyny při balení celé řady potravin včetně bramborových lupínků, zpracovaného masa, ořechů, nápojů, čerstvých těstovin, chlazených hotových jídel a salátů. V současné době lze nalézt v regálech evropských supermarketů téměř 200 různých potravin balených do argonu.

4.1.5 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý je plyn bez barvy, bez chuti a bez zápachu, který je vysoce reaktivní a velmi hořlavý. Je velmi málo rozpustný ve vodě, ale je relativně dobře rozpustný v některých organických rozpouštědlech. Robertson (2013) uvádí, že oxid uhelnatý byl zkoumán v MAP masa, v němž má schopnost potlačit tvorbu metmyoglobinu i v případě, kdy je přítomen kyslík. Oxid uhelnatý tvoří s myoglobinem třešňově červený karboxymyoglobin, který je mnohem stabilnější než oxymyoglobin. K vytvoření jasně červené barvy masa stačí, aby modifikovaná atmosféra obsahovala 0,4 % oxidu uhelnatého. Při koncentraci 5-10 % (v kombinaci s méně než 5 % O₂) účinně omezuje růst plísní, proto by mohl být používán u komodit, které nesnesou vysokou koncentraci oxidu uhličitého. Oxid uhelnatý omezuje oxidaci lipidů a enzymatické hnědnutí, čímž také prodlužuje trvanlivost potravin. Oxid uhelnatý nebyl schválen regulačními úřady ke komerčnímu použití v Evropské unii a není zahrnut do seznamu povolených potravinářských přídatných látek. Používání oxidu uhelnatého bylo legální v Norsku k

balení červeného masa, později bylo však zakázáno v souladu s pravidly EU. Použití oxidu uhelnatého je povoleno v USA, kde se přidává k balenému salátu, aby zabránil jeho hnědnutí, a k masu balenému v masterpack systému. Komerční využití oxidu uhelnatého je omezeno kvůli jeho vysoké toxicitě, hořlavosti a výbušnosti. Tyto vlastnosti představují pro obsluhu balicích strojů značné zdravotní riziko. Další nevýhodou oxidu uhelnatého jsou jeho nedostatečné bakteriostatické účinky (Arvanitoyannis, 2012).

4.1.6 Směsi plynů

Složení směsí plynů používaných pro MAP různých potravin závisí na povaze potraviny a pravděpodobných mechanismech kažení. Tam, kde hrozí hlavně znehodnocení zapříčiněné činností mikroorganismů, by měla být koncentrace oxidu uhličitého v plynné směsi tak vysoká, jak je to jen možné a omezena pouze hrozícími negativními účinky oxidu uhličitého (např. zhroucení balení). Plyn typický pro tento případ se skládá z 30 až 60 % oxidu uhličitého a 40 až 70 % dusíku (Robertson, 2013). U výrobků citlivých na kyslík, u nichž je kažení způsobené hlavně oxidativním žluknutím, se používá 100 % dusík nebo směs dusíku a oxidu uhličitého (v případě, že je možné i mikrobiální kažení). U produktů, které dýchají, je důležité, aby bylo zabráněno anaerobní respiraci, proto nesmí být v jejich ochranné atmosféře příliš vysoká koncentrace oxidu uhličitého nebo příliš nízká koncentrace kyslíku. Tabulka 2 uvádí příklady složení plynů pro balení vybraných potravin.

Tabulka 2: Příklady směsí plynů pro balení vybraných potravin.

Zdroj: kompilace literárních zdrojů Robertson G. L., 2013: *Food packaging: principles and practice*, Han J. H., 2005: *Innovations in food packaging**

Potravina	Teplota skladování [°C]	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	N ₂ [%]
Maso				
Hovězí*	-1-2	60-80	20-40	0
Vepřové	0-2	40-80	20	zbytek
Drůbež	0-2	0	20-100	zbytek
Droby	0-1	40	50	10
Ryby				
Libové*	0-2	30	40	30
Tučné	0-2	0	60	40
Sýry				
Tvrdé*	1-4	0	100	0
Měkké*	1-4	0	20-40	60-80
Plodiny				
Jablka	0-4	1-3	0-3	zbytek
Banány*	12-15	2-5	2-5	zbytek
Jahody*	0-5	10	15-20	zbytek
Brokolice	0-1	3-5	10-15	zbytek
Celer	2-5	4-6	3-5	zbytek
Salát	<5	2-3	5-6	zbytek
Rajčata	7-12	4	4	zbytek
Houby*	0-5	21	10-15	zbytek
Pečivo				
Chléb	pokožová	0	60	40
Pita chléb	pokožová	0	60	40
Ovocný koláč	pokožová	0	60	40

4.2 Obalové materiály určené pro MAP

Pro efektivní využití MAP je klíčová volba vhodného obalu. Hlavními parametry, kterými je potřeba se řídit při výběru obalových materiálů pro MAP, jsou propustnost pro plyny a vodní páru (dle potřeby balené potraviny), mechanické vlastnosti, uzavíratelnost a transparentnost. Nejstaršími obaly, které se používají pro MAP, jsou plechovky a sklenice. Samy o sobě jsou dokonale nepropustné a při použití vhodného uzávěru tak neprobíhá žádná látková výměna mezi vnitřkem obalu a vnějším prostředím. V posledních letech se rozšiřuje použití plastů a plastových fólií.

Plasty podle Dobiáše a Čurdy (2004) [4] vynikají svou plasticitou, která umožňuje za vyšších teplot jejich odlévání, vyfukování, vstřikování a jiné způsoby tvarování; dále elasticitou (smršťování a napínání některých fólií), malou objemovou hmotností a snadnou svařovatelností, neboť teplota tání se u většiny plastů pohybuje v rozmezí od 95 do 200 °C. Většina plastů je dobře chemicky odolná vůči účinkům některých složek potravin, proto jsou některé méně odolné materiály potahovány plasty. Plasty jsou většinou elektricky nevodivé, při jejich tření ale může vzniknout statická elektřina. Zásadní vlastností plastů jako obalů je jejich částečná propustnost pro plyny, aromatické látky a vodní páru. U některých potravin, zejména těch, které jsou určeny k dlouhodobému skladování, je však výměna plynů s okolním prostředím nežádoucí, proto je použití plastů v těchto případech omezené. Podle chování plastů při záhřevu je můžeme dělit na termoplasty (většina používaných polymerů) a termosety, neboli reaktoplasty. Termoplasty jsou teplem tvarovatelné, účinkem tepla měknou až do roztavení, ochlazením pak ztuhnou. Tento proces můžeme vícekrát opakovat, aniž by došlo k zásadním změnám jejich vlastností. K termoplastům patří např. polyolefiny (polyethylen PE, polypropylen PP), vinylové sloučeniny (např. PVC, PS), akrylové pryskyřice, polyamidy a lineární polyestery (např. PET). Termosety se teplem vytvrzují, prvním zahřáním je sice také roztavíme, opakovaný záhřev je už ale neroztaví. Příkladem termosetů jsou trojrozměrné polyestery a epoxidové pryskyřice. Tak jako jiné materiály, i plasty se svými vlastnostmi vzájemně odlišují, je to dáno především jejich strukturou, přítomnou funkční skupinou, stupněm změkčení atd. Dá se říci, že čím je struktura polymeru pravidelnější, tím je polymer tužší, tepelně odolnější a méně propustný. Polymery s polární (-OH) skupinou jsou propustné pro vodu a špatně propustné pro plyny, nepolární polymery jsou naopak bariérou pro vodu a plyny propouští. Každý plast má tedy své specifické vlastnosti, některé mají lepší bariérové

účinky proti pronikání plynů a vodní páry, jiné vynikají svými mechanickými vlastnostmi nebo možností svařování. Optimalizace požadovaných vlastností obalu se proto často dosahuje kombinací nebo vrstvením několika materiálů. Pronikání vlhkosti lze účinně zamezit tenkou vrstvou polyolefinů (často LDPE), polyvinylidenchloridu (PVdC), nebo polyvinylchloridu (PVC). K dosažení potřebné nepropustnosti pro plyny a aromatické látky se používá kombinace plastu s hliníkovou fólií nebo vrstvení plastů s různými bariérovými účinky, případně lze použít plast s vrstvou oxidu křemičitého. Jako bariéra proti pronikání plynů a aromatických látek se při vrstvení plastů využívá vrstva polyamidu, polyvinylidenchloridu, nebo ethylenvinylalkoholu. Vzniklé lamináty mohou mít až devět vrstev, které jsou spojeny adhesními činidly. Polyvinylidenchlorid má špatnou tepelnou odolnost, proto se používá pro balení potravin, které nejsou zahřívány v obalu. Mezi plastové materiály, které nejsou významnou bariérou proti pronikání plynů, patří polyolefiny, měkčené PVC a polystyren, popř. další polymery. Kvůli jejich velké propustnosti pro plyny jsou vhodné na balení čerstvého ovoce a zeleniny.

Robertson (2013) upozorňuje, že propustnost kyslíku plastovými obalovými materiály používanými v MAP chlazených produktů značně kolísá s teplotou, relativní vlhkostí a tloušťkou obalu. Propustnost kyslíku je u obalových fólií při teplotě 10° C o polovinu menší než při teplotě 23° C. Ztenčením obalu se zvyšuje propustnost kyslíku, ale ne vždy úměrně. Tyto změny se netýkají jen kyslíku, ale i ostatních plynů používaných v MAP. Proto je potřeba při volbě obalu zohlednit i reálné podmínky skladování.

V důsledku teplotních změn může na vnitřní straně obalu docházet ke kondenzaci vodních par. Aby se tomu zabránilo, provádí se u fólií antikondenzační úpravy. Jako činidla proti zamlžování se používají ethoxyláty nebo hydrofilní estery mastných kyselin, které snižují povrchové napětí mezi polymerem a kondenzovanou vodní párou, umožňují tak vodním kapičkám splýnout a vytvořit na vnitřní straně fólie tenkou transparentní vrstvu (Robertson, 2013). Takto upravené fólie se dnes často používají pro chlazené potraviny balené v modifikované atmosféře.

Pro MAP výrobků, které nepotřebují dýchat, jsou používány všechny obalové materiály, které jsou nepropustné pro plyny, včetně laminátů a vícevrstvých fólií. Kromě fólií se používají i plastové misky a tácky, které jsou obvykle z PS nebo PVC (Robertson, 2013). PVC se v Evropě používá méně kvůli obsahu chloru a s tím souvisejícím obavám z problémů při jeho likvidaci. Lze také použít misky z lepenky

potážené plastem. Ať už je miska vyrobená z jakéhokoliv materiálu, vždy je nezbytné, aby k ní bylo možné přivařit krycí fólii.

Výběr vhodných obalových materiálů pro MAP dýchajících potravin, jako je ovoce a zelenina, je podle Robertsona (2013) mnohem složitější. V ideálním případě by měl obalový materiál udržovat uvnitř balení nízkou koncentraci kyslíku (3 - 5 %) a zabránit zvýšení koncentrace oxidu uhličitého nad 10 - 20 %. Obvykle se používají polyolefinové fólie, ale aby se dosáhlo požadovaného neměnného složení atmosféry, je nezbytné i tyto propustné fólie navíc perforovat nebo použít speciální náplast.

Tak jako všechny potravinářské musí i obaly pro MAP splňovat určité hygienické parametry, aby nedošlo k negativnímu ovlivnění zdravotní nezávadnosti potravin kontaminanty z obalů. To podle Kačeňáka (2001) hrozí, pokud je daný obalový materiál zdravotně závadný nebo obsahuje zdraví škodlivé složky, které mohou přejít do náplně. Existuje mnoho obalových materiálů a spousta různorodých potravin, kterými mohou být obaly plněny, proto je riziko takového ohrožení individuální pro každý obal a každou potravinu. K narušení obalu potravinou náplní a k následné kontaminaci potravin může dojít především dvěma způsoby. V prvním případě jde o rozpouštění obalu, druhý případ představuje extrakci a vyluhování složek obalu. Příkladem rozpouštění mohou být kovové obaly s agresivní náplní nejčastěji kyselé povahy. Sklo je odolnější, rozpouští ho jen silné alkálie, takové prostředí ale potraviny neposkytují. Při extrakci přechází do náplně jen určité složky obalu, takové, které jsou v náplni rozpustné. Častým případem extrakce je vyluhování změkčovadel, stabilizátorů, monomerů, barviv a dalších látek z plastových obalů. Otázkou je, jak moc jsou tyto látky migrující z obalů do potravin nebezpečné pro lidské zdraví. Nesmíme zapomenout ani na možné ovlivnění sensorických vlastností potravin těmito látkami a jejich roli v redoxních dějích. Z plastů jsou pokládány za zdravotně vyhovující: PE, PP, PVdC, PS, acetát celulózy a hydrochlorid kaučuku. Největším nebezpečím plastových obalů jsou změkčovadla, která mohou tvořit až 40 % materiálu a jsou snadno rozpustná v tukových složkách potravin. Změkčovadla jsou povolena např. v PVC na potravinářské použití v množství do 5 %.

Vhodnost plastových obalů pro použití v potravinářství určuje Vyhláška Ministerstva zdravotnictví 38/2001 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami a pokrmy, a to na základě migračních testů. Na plast se působí potravinovými simulanty (Tab. 3) za nejhorších podmínek (kombinace teploty a času), jakým může být daný plastový obal plněný určitou potravinou vystaven. Aby plastové

obaly úspěšně prošly migračním testem, nesmějí do potravin uvolňovat více než 60 mg svých složek na kilogram potraviny, resp. potravinového simulantu (limit celkové migrace). V určitých případech se může limit celkové migrace vztahovat na povrch potraviny, potom je limit 10 mg/dm² výrobku.

Tabulka 3: Simulanty pro jednotlivé druhy potravin dle Vyhlášky 38/2001 Sb.

Simulant potravin	Druh potraviny
Destilovaná voda nebo voda odpovídající kvality	Vodné potraviny s pH > 4,5
3 % roztok kyseliny octové	Kyselé potraviny s pH ≤ 4,5
10 % ethanol	Alkoholické potraviny
Olivový olej nebo jiný tukový simulant	Tučné potraviny
Žádný	Suché potraviny

4.3 Balicí technika pro MAP

První snahy o aplikaci MAP ve větším měřítku byly podle Arvanitoyannise (2012) zaznamenány již koncem padesátých let minulého století. Během stejného desetiletí byl představen další užitečný způsob balení, tzv. vakuové balení. Experimenty v této oblasti vedly k postupnému vývoji zařízení pro průmyslové využití.

Zařízení pro MAP musí především umět odstranit vzduch z obalu a nahradit ho směsí plynů. To se provádí buď odsátím vzduchu a následným plněním obalu atmosférou nebo je vzduch z obalu vytlačen rovnou proudem plnicího plynu. Dále pak musí být stroje schopny hotové balení dokonale uzavřít. Velmi důležitá je i možnost údržby strojů a dodržování správné hygienické praxe. Strojní zařízení, zejména části, které přicházejí do styku s potravinami, je třeba pravidelně čistit a dezinfikovat.

Robertson (2013) popisuje tři druhy baličích zařízení používaných pro MAP: horizontální nebo vertikální form-fill-seal baličky (FFS), komorové baličky a baličky s trubicovým plněním.

4.3.1 Form-Fill-Seal baličky

FFS stroje nepotřebují k balení předem připravené obaly. Stačí jim obalový materiál, který odebírají z role nebo ze stohu a sami z něj vytváří obal, buď sáčky, nebo teplem tvarovatelné misky se svařitelným víkem. Ten pak dále naplní a uzavrou. U sáčků se

požadovanou směsí plynů vytlačí vzduch z obalu, pak je konec obalu svařen a nakonec jsou od sebe jednotlivá balení odřezána. V případě misek se do nich naplní výrobek, vakuuje se, pak se dovnitř vpustí požadovaná směs plynů a z vrchu se přitaví fólie. FFS baličky mohou pracovat buď horizontálně, nebo vertikálně. Vertikální způsob balení je vhodnější pro sypké potraviny, jako jsou např. káva, ořechy nebo obiloviny. Arvanitoyannis (2012) dodává, že ve srovnání s hotovými obaly jsou náklady na přepravu a skladování obalových materiálů až o polovinu menší, proto je FFS balení úspornější.

4.3.2 Komorové baličky

Výrobkem naplněný obal (předem vytvořený sáček nebo miska uvnitř plastového pytlíku) je umístěn do komory baličky, ze které je následně odsán vzduch, pak se komora napustí požadovanou směsí plynu a nakonec je v ní obal zataven. Tento způsob balení je velmi zdlouhavý.

4.3.3 Baličky s trubicovým plněním

Tyto baličky pracují bez komory. Výrobek je vložen do velkého pružného vaku nebo plastového pytle a umístěn do stroje. Stroj do pytle zasune trubici nebo sondu, která z něj odsaje vzduch a následně ho nahradí směsí plynu. Sonda se pak odstraní a obal se tepelně svaří. Tyto stroje se používají hlavně u velkých balení a takzvaných masterpacků, což jsou velké pytle naplněné modifikovanou atmosférou, ve kterých je vždy vloženo několik jednotlivých maloobchodních balení.

4.3.4 Praktické příklady baliček

Baličky Henko AC 150 (Obr. 1 a 3) a Henkelman Boxer 35 (Obr. 2) jsou příklady stolních komorových baliček s vrchním otevíráním. Balička Henko AC 150 je starším modelem nizozemské firmy Henkovic, zatímco Henkelman Boxer 35 je špičkovým moderním strojem firmy Henkelman, taktéž z Nizozemska. Podle popisu výrobce, firmy Henkelman (2016) [3], má Henkelman Boxer 35 vnější rozměry 525×450×385 mm a rozměry komory 370×350×150 mm. Objem komory je možno v případě balení malých výrobků zmenšit vložení kamenných podložek. Vývěva této baličky má výkon 16 m³/h.

Obě baličky mohou balit vakuově i rovnovážně, ale rovnovážnému balení vždy předchází vakuový cyklus. Obě jsou z nerezové oceli, která umožňuje dodržení potřebné hygieny balení. Vrchní část baliček je tvořena průhledným víkem, přes které je možno sledovat celý proces balení. Uvnitř komory jsou dvě trysky, jimiž v případě rovnovážného balení proudí požadovaný plyn. Tlakové lahve nejsou součástí baliček, stojí vedle nich a jsou s nimi propojeny hadicemi. Tlaková láhev může obsahovat už předem připravenou směs plynů, popř. je k baličce připojeno více lahví a balička si směs namíchá sama. Dále je v komoře svařovací lišta, která na konci baličeho procesu utěsní obal.

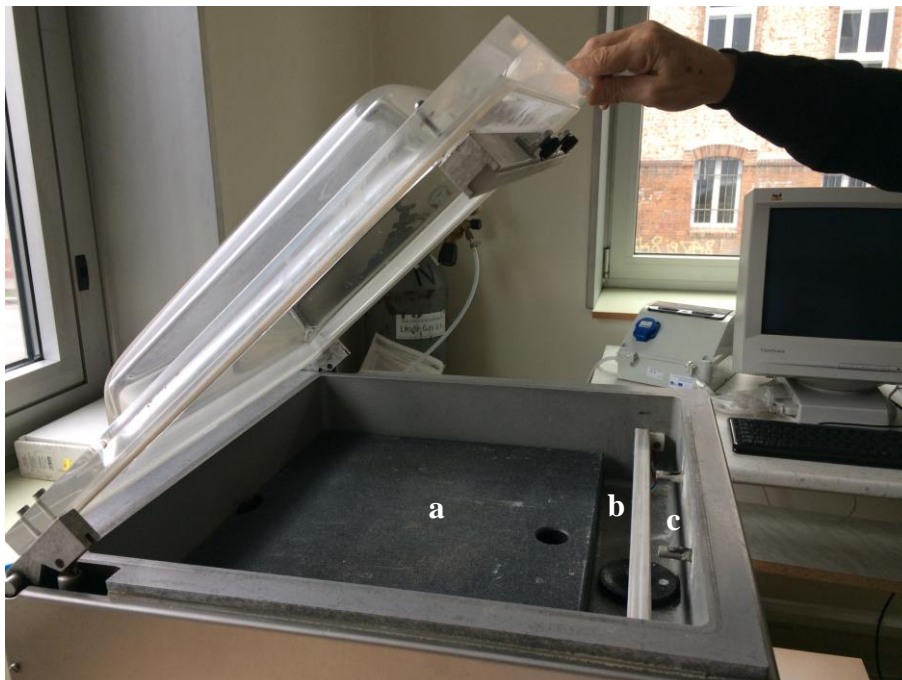
Balení s těmito baličkami není nijak složité. Nadzvednutím víka otevřeme komoru a vložíme do ní obal naplněný výrobkem tak, aby neuzavřený konec obalu ležel na svařovací liště. Pokud chceme balit výrobek do plynu, nasadíme obal na trysky. Zavřeme víko a spustíme baličí program podle charakteru balené potraviny. Nejprve vždy proběhne vakuový cyklus, jeho délku a tedy i množství odsátého vzduchu lze předem navolit. Pokud zvolíme program s balením do plynu, následuje po vakuování plnění obalu plynem. Na konci vakuování, resp. plnění plynem, dojde ke svaření volného konce v místě svařovací lišty, čímž je obal utěsněn. Poté opět otevřeme víko a vyndáme zabalenou potravinu.



Obrázek 1: Balička Henko AC 150 firmy Henkovac (VFU Brno)



Obrázek 2: Balička Boxer 35 firmy Henkelman (MENDELU)



Obrázek 3: Balička Henko AC 150 firmy Henkovac (VFU Brno)

a – vyjmutelná podložka

b – svařovací lišta

c – trysky k plnění plynu

4.4 MAP vybraných potravin

4.4.1 Balení masa

MAP nachází největší uplatnění při balení masa. Při balení čerstvého masa v modifikované musíme zohlednit hned několik faktorů.

Podle McMillina (2008) [8] dochází ke kažení masa hlavně působením mikroorganismů. Projevuje se nezvyklým zbarvením masa, zápachem a osliznutím. Druh a množství mikroorganismů, které jsou přítomny na mase, jsou ovlivněny živočišným druhem, zdravotním stavem zvířat a manipulací s nimi, způsobem porážky, úrovní hygieny zařízení a personálu, chlazením jatečného těla, způsobem balení a teplotou a dobou skladování. Aerobní mikroorganismy, jako jsou *Pseudomonas* a *Achromobacter* spotřebovávají kyslík v okolí masa, snižují jeho koncentraci a tím způsobují nežádoucí hnědé zbarvení masa. Další mikroorganismy, které se vyskytují na mase a mohou způsobit jeho kažení, jsou *Brochothrix thermosphacta*, *Carnobacterium spp.*, *Enterobacteriaceae*, *Lactobacillus spp.*, *Leuconostoc spp.* (Arvanitoyannis, 2012).

Kažení masa způsobují převážně aerobní mikroorganismy [5], které potřebují ke svému životu kyslík. Proto je žádoucí, aby byla v atmosféře minimální koncentrace kyslíku. Avšak u masa, zejména červeného, je jedním z hlavních problémů skladování udržet jeho atraktivní červenou barvu, protože za normálních podmínek má maso tendenci hnědnout [5]. Ingr (2003) [6] uvádí, že barva čerstvého masa je do značné míry dána chromoproteinem myoglobinem, který je přítomen ve svalové tkáni. Myoglobin obsahuje hemové barvivo, v němž je vázán atom Fe^{2+} . Pomocí hemu může myoglobin vázat kyslík. Sám myoglobin je purpurově červený, při prvním kontaktu s kyslíkem (řez masem) vytváří oxymyoglobin, který je jasně červený. Oxymyoglobin není výsledkem oxidace, protože Fe^{2+} zůstává zachován, dojde pouze k vytvoření vazby s kyslíkem, která je poměrně nestabilní. Myoglobin celkem snadno oxiduje, dochází přitom k přeměně Fe^{2+} na Fe^{3+} a vznikne tak hnědý metmyoglobin. Podle Kačeňáka (2001) probíhá oxidace myoglobinu nejrychleji při nízkém parciálním tlaku kyslíku (0,1 - 0,2 kPa). Vysvětluje se to tím, že při dostatku kyslíku vzniká oxymyoglobin, koncentrace volného myoglobinu se snižuje a tím je zabráněno přímé oxidaci na metmyoglobin. McMillin (2008) [8] také dodává, že myoglobin je zachován v atmosféře s koncentrací kyslíku menší než 0,2 % a propustností obalu pro kyslík menší než 38 ml na m², zatímco oxymyoglobin dominuje při koncentraci kyslíku vyšší než 13 % a propustnosti obalu větší než 5038 ml na m². Vysoká koncentrace kyslíku udržuje stabilitu

oxymyoglobinu, ale může vyvolat další oxidační reakce (např. oxidaci tuků). Metmyoglobin tak převládá při koncentraci kyslíku 0,2 - 13 %, při vysoké spotřebě kyslíku (dýchání mikroorganismů), a při propustnosti kyslíku obalem mezi 38 a 5038 ml na 100 m². Oxidace hemu je také ovlivněna působením světla, množstvím a druhem přítomných mikroorganismů, hodnotou pH a působením tepla. Oxidaci pigmentů a lipidů můžeme také omezit pomocí antioxidantů a jiných látek, které se buď podávají zvířatům před porážkou (např. vitamin E), nebo jsou přidány až do masných výrobků (dusitany, koření). Rozhodování o koupi masa je ovlivněno barvou výrobku více než jakýmkoliv jinými kvalitativními ukazateli. Maso s více než 20% metmyoglobinu není pro spotřebitele atraktivní a maso s více než 40% metmyoglobinu je spotřebitelem odmítnuto. Spotřebitelé také hodnotí hůře maso s tmavou purpurově červenou barvou (myoglobin) než s jasně červenou (oxymyoglobin), nejméně přitažlivá je pro ně ale barva hnědá (metmyoglobin).

Pokud chceme zachovat červenou barvu masa, musíme zabránit oxidaci myoglobinu. Buď tím, že zcela zamezíme přístupu kyslíku (vakuové balení), nebo naopak vytvoříme takové podmínky, aby byla koncentrace kyslíku v okolí masa co největší (Kačeňák, 2001).

Vakuové balení odsává z okolí masa kyslík a následně uzavře výrobek do pružných přiléhavých plastových obalů, které zabraňují průniku kyslíku a ztrátám vlhkosti. McMillin (2008) [8] uvádí, že vakuově se běžně balí do misek z polystyrenu nebo polypropylenu, které se přikrývají nebo obalují vícevrstvou fólií složenou z nylonu, bariéry z polyvinylidenchloridu nebo ethylenvinylalkoholu, spojovací vrstvy a ionomeru. Nylon zajišťuje pevnost a nízkou teplotu tání, bariérová vrstva zabraňuje pronikání par a ionomer poskytuje potřebné těsnící vlastnosti.

Maso obsahuje velké množství vody, smrštěním myofibril během nástupu rigoru mortis dojde k vypuzení vody do extracelulárních prostorů a při větší manipulaci nebo působením tlaku pak dochází k uvolňování vody z masa [8]. Proto může při vakuovém balení dojít ke větším ztrátám vody a je vhodné použít absorpční podložky.

Vakuové balení prodlužuje dobu trvanlivosti masa více než balení do ochranné atmosféry s kyslíkem, barva masa však zůstane purpurově tmavá, což může některé neznalé spotřebitele odradit od koupě (Kačeňák 2001). Proto se do vakua balí z masa nejčastěji drůbež, jejíž maso neobsahuje tolik myoglobinu a nevádí tak, že nedojde k vybarvení (Robertson, 2010). Při vakuovém balení červeného masa je možno použít k přikrytí misky 2 fólie, kdy spodní fólie je propustná pro kyslík a svrchní ne [8]. Těsně

před prodejem masa se svrchní fólie odloupne, čímž se obal stane propustným pro kyslík a maso se zbarví jasně červeně.

Heinz a Hautzinger (2010) [7] popisují použití vakuového balení na podporu zrání hovězího masa. Kusy hovězího masa jsou uloženy po několik týdnů (maximálně 3 měsíce) vakuované v sáčku, bez přístupu kyslíku a při skladovací teplotě udržované na $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (těsně nad bodem mrazu masa). Za těchto skladovacích podmínek dojde k rozvoji bakterií mléčného kvašení, které inhibují růst většiny ostatních mikroorganismů, čímž dosáhneme delší mikrobiální stability. Hovězí maso se během takto prodloužené doby zrání stává velmi jemným, aniž by výrazně ztratilo své typické aroma.

V druhém případě, kdy chceme v okolí masa zajistit co největší množství kyslíku, použijeme balení do modifikované atmosféry – typicky s 60 - 80 % kyslíku [5]. Získáme tím jasně červeně zbarvené maso. Platí, že červené maso, jako je hovězí, potřebuje vyšší koncentraci kyslíku než méně barevná masa, jako je např. vepřové maso [5]. Hloubka průniku kyslíku do masa a tloušťka vrstvy oxymyoglobinu závisí na teplotě masa, parciálním tlaku kyslíku, pH a na intenzitě dýchání mikroorganismů [8].

Kyslík v atmosféře však podporuje růst nežádoucích aerobních mikroorganismů. Proto je nutné, aby byl v atmosféře zastoupen i oxid uhličitý, který působí antimikrobiálně. Podle McMillina (2008) [8] se jednotlivé bakterie se liší v citlivosti na oxid uhličitý, gramnegativní bakterie jsou ale obecně citlivější na oxid uhličitý než grampozitivní bakterie, protože většina grampozitivních bakterií je fakultativně nebo striktně anaerobní. Proti aerobním mikroorganismům je dostatečně účinná 20 až 60% koncentrace oxidu uhličitého, dochází k snižování pH a narušení membrán bakterií. Koncentrace oxidu uhličitého nižší než 15 % neinhibuje dostatečně růst mikroorganismů a koncentrace vyšší než 40 % může mít za následek zhroucení balení, protože oxid uhličitý je rozpustný v tkáni masa. Rozpouštění oxidu uhličitého v mase probíhá tak dlouho, dokud není dosaženo nasycení. Objem modifikované atmosféry by měl proto být alespoň dvakrát větší než je objem masa. Optimální poměr objemu atmosféry a objemu masa je dán koncentrací oxidu uhličitého ve směsi a teplotou skladování. Hroucení balení můžeme také omezit zakomponováním pevného oxidu uhličitého do obalu. Pevný CO_2 sublimuje, nahrazuje plynný CO_2 , který se rozpustil, a zachovává tak původní objem atmosféry.

Vaznost vody je dána pH masa a teplotou skladování [8]. Rozpouštěním oxidu uhličitého se pH masa snižuje a dochází tak ke ztrátám vody. Proto je vhodné použít při

tomto způsobu balení absorpční podložky. Ztráty vody jsou také větší se zvyšující se plochou povrchu masa a u příčných řezů svalovými vlákny [8].

McMillin (2008) [8] také upozorňuje, že balení masa do atmosféry s více než 21 % kyslíku může vyvolat oxidaci lipidů. Oxidace lipidů je dále ovlivněna složením mastných kyselin, přítomností enzymů, a působením tepla a světla. Avšak slabší příchut' oxidovaných tuků v mase spotřebitelům nevádí, nejspíš proto, že už jsou na ni zvyklí.

Při balení do modifikované atmosféry s vysokým množstvím kyslíku se používají jako obaly misky z polypropylenu nebo polyethylenu, které mají bariérové vlastnosti, a jsou přikryty fólií, která je taktéž nepropustná pro plyny i vodní páru [8]. Nebo se používá propustná polystyrenová miska, které je celá překrytá nepropustnou fólií. Fólie bývají často upraveny proti zamlžování.

Vhodnou úpravou atmosféry můžeme při dodržení chladírenských teplot prodloužit trvanlivost drůbežního masa ze 4-7 dní na 16-21 dnů [5]. Trvanlivost červeného masa skladovaného v atmosféře s 80 % kyslíku a 20 % oxidu uhličitého při teplotě nižší než 2 °C je prodloužena na 6-10 dnů [8]. Balením do vakua dosáhneme ještě delší trvanlivosti, barva zabaleného masa je však horší (Kačeňák, 2001).

4.4.2 Balení ryb a mořských plodů

Ryby, měkkýši a korýši snadno podléhají zkáze, a to kvůli vysokému obsahu vody, relativně vysoké hodnotě pH a přítomnosti autolytických enzymů, které způsobují vznik nežádoucích pachů a chutí. Tuto problematiku popsal Robertson (2013). Chemické složení ryb a přítomná mikroflóra se liší podle druhu živočicha, loviště a ročního období. Hodnota pH je u většiny ryb větší než 6. Libové ryby, jako je treska, obsahují 1 – 2 % tuku na rozdíl od tučných ryb, např. sledíů a makrel, které mohou obsahovat i více než 30 % tuku. Rybí olej je díky vysokému stupni nenasycenosti nutričně velmi hodnotný, ale o to snadněji podléhá oxidaci, olej pak žlukne, zapáchá a ztrácí svou výživovou hodnotu. Svalovina zdravé, živé ryby je sterilní; mikroorganismy, které se vyskytují na rybách, se většinou nacházejí v žábřácích, střevech a ve slizu na povrchu těla.

Intenzita posmrtných změn a následného kažení závisí hlavně na chemickém složení ryby, přítomné mikroflóře, způsobu manipulace, zpracování a skladování. Kažení mořských a sladkovodních ryb probíhá v podstatě stejným způsobem. Kažení je výsledkem změn, které nastaly v důsledku působení autolytických enzymů, metabolické aktivity mikroorganismů a chemických reakcí, jako je oxidace. Po usmrcení se spustí

celá řada tkáňových enzymatických reakcí, kterými je zahájen proces autolýzy. Autolytické enzymové reakce trvají při teplotě 0 °C 4 - 6 dní. Rychlost autolytických změn je ovlivněna mnoha faktory, nejdůležitějšími jsou teplota, hodnota pH, přítomnost kyslíku a fyziologický stav ryby před smrtí. Jak kažení postupuje, proniká do masa i více bakterií z vnějšího povrchu. Vzhledem k tomu, že bakterie mohou většinou využívat jen základní jednoduché živiny, začíná obvykle bakteriální kažení až v pokročilejším stádiu autolýzy. Vznik nežádoucích pachů, chutí a slizu je způsoben především bakteriální aktivitou. Bakterie z čeledi *Vibrionaceae* způsobují často kažení nekonzervovaných ryb, zatímco jiné bakterie, jako jsou *Pseudomonas spp.* a *Shewanella spp.*, rostou i na chlazených rybách. Ryby z teplých mořských vod mají na sobě obecně větší množství bakterií než ryby z chladných vod. Kažení ryb způsobují hlavně bakterie rodu *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Shewanella*, *Vibrionaceae*, *Clostridium*, *Lactobacillus* a *Corynebacterium*. *Photobacterium phosphoreum* způsobuje za anaerobních podmínek kažení tresky. *Brochothrix thermosphacta* a bakterie mléčného kvašení jsou zase typické kažením sladkovodních ryb a ryb z teplejších vod.

Z chemických reakcí, které znehodnocují rybí produkty, je významná především oxidace mastných kyselin, která vede ke vzniku žluklé chuti. Rychlost žluknutí souvisí nejen s dostupností kyslíku, ale i s teplotou skladování, žluknutí může probíhat ještě i při mrazirenských teplotách - 30 °C. Procesy solení, sušení a uzení podporují oxidaci, proto mají zmrazené uzené ryby kratší trvanlivost než neuzené zmrazené ryby stejného druhu. Žluknutí tuků je také urychleno působením světla, proto je vhodné použít na ochranu před oxidací obal, který je nepropustný pro kyslík i pro světlo. Tomuto požadavku odpovídají kombinované materiály na bázi hliníkové fólie (Kačeňák, 2001).

Čerstvé ryby a mořské plody mohou být kontaminovány anaerobní bakterií *Clostridium botulinum*, která může být buď součástí mikroflóry rybiho ekosystému, nebo je jí výrobek kontaminován v průběhu zpracování. *Clostridium botulinum* produkuje jedovatý toxin – botulotoxin. Vhodné podmínky pro růst *Clostridium botulinum* jsou jen několik mm pod povrchem výrobku, kam může bakterie vniknout přes jakýkoliv defekt povrchu. Anaerobní podmínky mohou vzniknout i na povrchu ryb v důsledku dýchání tkání a aerobních bakterií (Robertson, 2010). Protože některé výrobky neprocházejí před spotřebou tepelnou úpravou, hrozí nebezpečí otravy jinak tepelně labilním botulotoxinem. Proto UK Food Standards Agency doporučila u vakuově balených a MAP rybích výrobků určených pro přímou konzumaci udávat maximálně 10 denní trvanlivost při teplotě skladování 3 - 8 °C (Robertson, 2010). Při

anaerobních podmínkách skladování bez použití oxidu uhličitého nebo při chladírenských teplotách vyšších než 8°C může dojít k rozvoji *Clostridium botulinum* dříve než k rozvoji ostatní mikroflóry a botulotoxin tak může být ve výrobku přítomen ještě dříve, než dojde k jeho viditelnému zkažení. Vakuum a MAP samy o sobě nejsou schopny poskytnout požadovanou ochranu před *C. botulinum*. Jediným účinným způsobem, jak zajistit bezpečnost chlazených vakuově balených nebo MAP rybích výrobků je buď skladovat výrobek po celou dobu při teplotách do 3 ° C, nebo výrobek důkladně tepelně opracovat a pak skladovat při teplotách do 8°C. Některé výrobky se ale konzumují v syrovém stavu, proto u nich tepelné opracování není možné.

Vakuum a ochranná atmosféra potlačují růst běžných bakterií, které způsobují nežádoucí chuť a zápach. Nakonec v balení převládnu anaerobní mikroorganismy, které ale rostou pomaleji než ty aerobní a způsobují méně znatelné změny, proto použitím MAP můžeme při nízkých skladovacích teplotách dosáhnout prodloužení trvanlivosti ryb i mořských plodů. Balení do modifikované atmosféry prodlužuje trvanlivost stejně nebo jen o trochu více ve srovnání s balením do vakua. Nejvíce prodlužuje MAP trvanlivost ryb z teplých vod, jejich mikroflóru tvoří hlavně grampozitivní mikroorganismy.

Složení modifikované atmosféry liší podle druhu ryb. Kvůli vysokému pH ryb je vhodné použít atmosféru s oxidem uhličitým, který se ve výrobku postupně rozpustí, sníží jeho pH a tím omezí růst mikroorganismů. Větší množství oxidu uhličitého však může způsobit zhroucení balení, větší odkap, znehodnocení chuti (kyselá chuť některých druhů ryb) a zákal očí, který spotřebitelé často považují za ukazatel čerstvosti. Zhroucení balení v důsledku rozpuštění atmosféry CO₂ ve výrobku lze předejít vystavením ryby oxidu uhličitému ještě před samotným balením (dojde k částečnému nasycení) a dodržením poměru objemu atmosféry k objemu výrobku, který by měl být nejméně 2:1 (Robertson, 2010). U tučných ryb, které jsou náchylné k oxidačnímu žluknutí, se používají nízké koncentrace kyslíku. Ryby s vysokým podílem červené svalové tkáně naopak vyžadují přítomnost kyslíku, aby zůstala co nejdéle zachována jejich původní červená barva. To je důležité zejména u dražších ryb, jako je tuňák, který je ale také náchylný k tvorbě histaminu. Proto je pro balení tuňáka doporučena atmosféra s 40 % oxidu uhličitého a 60 % kyslíku, která jednak silně inhibuje tvorbu histaminu a také zachová červené zbarvení. Obecně platí, že na balení libových ryb a korýšů je vhodnější atmosféra s 25 – 35 % kyslíku, 35 - 45 % oxidu uhličitého a 25 – 35 % dusíku a na balení uzených a tučných ryb 60 % oxidu uhličitého

a 40 % dusíku. Vakuově se balí vybrané výrobky, jako jsou např. uzené nebo nakládané ryby, používá se při tom obalová fólie s velmi nízkou propustností kyslíku (Robertson, 2010).

Použití oxidu uhelnatého v MAP zlepšuje trvanlivost ryb, ale u mnoha vzorků takto ošetřeného tuňáka byla zjištěna vysoká hladina histaminu. Ve Spojených státech je povolena předúprava ryb kouřem, který obsahuje 30 až 40 % oxidu uhelnatého. Ačkoli se EU domnívá, že neexistuje žádné zdravotní riziko spojené s ošetřením masa oxidem uhelnatým, zakazuje dovoz takto upravených ryb (Robertson, 2010).

Balení do modifikované atmosféry není stejně účinné pro prodloužení doby životnosti u všech výrobků z ryb. MAP mořských ryb prodlužuje jejich trvanlivost z několika dní až na týden nebo i déle v porovnání se skladováním na vzduchu, závisí to však na druhu ryby, její mikroflóře a teplotě skladování. Při chladírenském skladování do 3°C bývá trvanlivost MAP ryb 10 – 14 dnů, pokud je teplota udržována těsně nad bodem mrazu, může být dosaženo trvanlivosti 18 – 20 dnů. Mražením můžeme dosáhnout mnohem delší doby skladovatelnosti MAP výrobků ve srovnání s chlazením. Rozmražený produkt bude ale zcela odlišný od chlazeného a také doba použitelnosti po rozmrazení může být kratší (Robertson, 2010).

4.4.3 Balení pečiva

Pekařské výrobky mají velmi krátkou trvanlivost, neboť rychle stárnou a vysychají, nebo jsou napadeny mikroorganismy [9]. Stárnutí je podle Fika *et al* (2012) [10] způsobeno retrogradací škrobu, kdy se škrob vrací do původní krystalické formy a snižuje se tak jeho schopnost zadržovat vlhkost. U chleba tak dochází k postupné migraci vlhkosti ze střídky do kůrky, kde se z povrchu chleba voda dále odpařuje. Střídka ztrácí svou vláčnost a pružnost, drobí se a celý chleba postupně sesychá.

Cílem balení pečiva je podle Robertsona (2013) zabránit jeho přílišnému vysychání, zároveň však obal nesmí představovat příliš velkou bariéru proti vlhkosti, aby se vlhkost nehromadila na povrchu pečiva, který by pak byl vhodným prostředím pro růst plísní. Nejčastěji se používá obal z LDPE. Ten omezí ztráty vlhkosti, povrch pečiva začne ale vlhnutím měknout a ztratí svou křupavost. Některé speciální chleby jsou baleny do sáčků děrovaných malými otvory, které umožňují únik vlhkosti a kůrka tak zůstane křupavá.

Z mikroorganismů, které způsobují kažení pečiva, převládají plísně, protože jediné ty jsou schopny růst při relativně nízké hodnotě a_w pečiva. Nejčastěji se jedná o plísně

rodu *Eurotium*, *Aspergillus* a *Penicillium*, objevují se ale i zástupci rodu *Cladosporium*, *Mucor* a *Rhizopus* [11]. Plísně jsou aerobní organismy, proto je důležité k zamezení jejich růstu odstranit z balení veškerý kyslík. Vakuové balení však není vhodnou technologií k prodloužení údržnosti pečiva, neboť působením tlaku by došlo k jeho rozdrčení. Proto se vakuum používá při balení pečiva spíše výjimečně, např. u plochých chlebů jako jsou naan a pita (Robertson, 2013). Alternativou vakuového balení je balení v ochranné atmosféře. V pečivu může přesto zůstat malé množství vzduchu, resp. kyslíku, proto je vhodné použít ke zvýšení účinnosti atmosféry absorbéry kyslíku (Obr. 4) [11].

Nejpoužívanějšími plyny v MAP pekařských výrobců jsou oxid uhličitý a dusík [9]. Oxid uhličitý má antibakteriální a fungistatické účinky, dusík nemá žádnou antimikrobiální aktivitu, ale inhibuje růst aerobů tím, že vytváří anaerobní podmínky. Ochranná atmosféra nemá vliv na retrogradaci škrobu a rychlost stárnutí chleba, pouze chrání výrobek proti růstu plísní a bakterií [10]. Ke stejnému závěru došli i Khoshakhlagh *et al* (2014) [9], kteří také zjistili, že se zvyšující se koncentrací oxidu uhličitého se snižoval počet vzrostlých plísnivých kolonií na chlebu Sangak.

Směsi oxidu uhličitého a dusíku se používají v různém poměru, od 100 % oxidu uhličitého až po 50 % oxidu uhličitého a 50 % dusíku (Robertson, 2013). Výběrem vhodné směsi plynů lze při pokojové teplotě prodloužit trvanlivost výrobku na 3 týdny nebo dokonce u některých i na 3 měsíce (Robertson, 2013).



Obrázek 4: Použití absorbérů kyslíku u medovníku baleného v ochranné atmosféře

4.4.4 Balení sýrů

Ačkoliv působení mikroorganismů mlékařských kultur je nedílnou součástí výroby sýrů, je potřeba sýry chránit před nežádoucími mikroorganismy, které by mohly v případě kontaminace sýrů způsobit jejich kažení. Tvrdé sýry, které nemají vysoký obsah vody, jsou náchylné spíše k napadení plísní, zatímco kažení měkkých sýrů s vyšší vlhkostí může být způsobeno bakteriemi. Sýry obsahují také relativně velké množství tuku, který může se vzdušným kyslíkem oxidovat a způsobit žluknutí, proto je snaha odstranit veškerý kyslík z balení.

U tvrdších sýrů, které jsou odolnější vůči působení tlaku, se často používá vakuové balení (Robertson, 2013). Není vhodné balit do vakua sýry s oky, jako je např. Ementál, protože by mohlo dojít k jejich zhroucení tlakem (Robertson, 2013). Vakuově balené kusy parmazánu o hmotnosti 250 - 300 g mají při teplotě skladování 4 – 6 °C trvanlivost 6 měsíců, kousky sýru Gouda zabalené ve vakuu mají trvanlivost 10 týdnů (Robertson, 2010).

Kněz (2012) uvádí, že vakuové balení lze také využít ke zrání polotvrdých a tvrdých sýrů. Na výrobu jejich obalů se používají smršťitelné vícevrstvé koextrudované fólie, které propouštějí směrem ven z obalu oxid uhličitý vznikající při zrání sýra, zároveň jsou nepropustné pro vodu, čímž zamezují vysychání sýru, a směrem dovnitř obalu nepropouští kyslík, čímž omezují růst plísní. Sýry pak není potřeba během zrání ošetřovat, pouze sýry s tvorbou ok je nutno obracet, aby vznikla pravidelná oka.

Balení do ochranné atmosféry se podle Robertsona (2013) používá zejména při balení výkrojků a plátků sýra, protože ty jsou kvůli větší ploše povrchu náchylnější ke kažení. Aplikuje se směs plynů oxidu uhličitého a dusíku, která by měla být optimalizovaná pro každý sýr. Některé sýry mohou být baleny do směsi bohaté na oxid uhličitý, aniž by došlo k ovlivnění jejich senzoričkových vlastností nebo zhroucení balení. Týká se to hlavně tvrdších sýrů, které mají menší obsah vody, plyn se v nich tak méně rozpouští. Měkčí čerstvé sýry s větším obsahem vody se proto balí do atmosféry s menším množstvím oxidu uhličitého a převažujícím podílem dusíku. Jakobsen a Risbo (2009) [12] uvádí, že oxid uhličitý je produkován v poměrně velkém množství v průběhu zrání mnoha sýrů, ty jsou jím pak částečně nasyceny a oxid uhličitý z atmosféry se v nich už tolik nerozpouští. V případě MAP sýrů proto není potřeba používat větší objem atmosféry v porovnání s objemem výrobku. Trvanlivost tvrdých sýrů, jako je např. cheddar, může být balením v modifikované atmosféře s vysokou koncentrací oxidu uhličitého prodloužena z původních 2 – 3 týdnů až na 10 týdnů [13]. Údržnost měkkých

sýrů je při skladování na vzduchu většinou 8 dní, při použití vhodné směsi oxidu uhličitého a dusíku může být prodloužena až na 3 týdny [13]. Měkké sýry, sýry s plísní a sýry zrající pod mazem se balí bez úpravy atmosféry, pouze se obalem zamezí jejich vysychání (Kněz, 2012).

4.4.5 Balení ovoce a zeleniny

Vhodným způsobem balení spolu se správnou teplotou skladování můžeme podle Danish Technological Institute (2008) [14] zpozdít zrání a stárnutí ovoce a zeleniny a prodloužit tak jejich trvanlivost o 300 - 800 %. K prodloužení trvanlivosti je zapotřebí správná teplota skladování, vlhkost a úprava atmosféry (obsah kyslíku, oxidu uhličitého a ethylenu). Optimální skladovací podmínky se liší v závislosti na druhu plodiny, stupni zralosti a dalších faktorech. Ovoce a zelenina jsou živé produkty a některé biologické procesy v nich pokračují i po sklizni a způsobují tak postupné změny kvality. Plodiny stále dýchají, spotřebovávají přitom kyslík a vylučují oxid uhličitý, vodu a teplo. Ovoce po sklizni prochází dozríváním, nakonec stárne a odumírá. Dochází k postupnému rozkladu sacharidů a další látek, které jsou důležité pro čerstvost plodin, jejich chuť a nutriční hodnotu.

Podle Danish Technological Institute (2008) [14] uvolňují ovoce a zelenina ethylen, což je plyn, který urychluje proces zrání, a to i v malých množstvích. Množství produkovaného ethylenu a jeho účinky na dozrívání se u jednotlivých plodin liší. Dýchání i vylučování ethylenu závisí na okolní teplotě. Při nízkých teplotách se dýchání zpomaluje a ethylen je vylučován v menším množství. Intenzita dýchání je také závislá na přítomnosti kyslíku a oxidu uhličitého, kdy nízká koncentrace kyslíku nebo vysoká koncentrace oxidu uhličitého mají tlumící efekt, dýchání a rozkladné procesy se zpomalují a trvanlivost je prodloužena. Podle Robertsona (2010) může vysoká koncentrace oxidu uhličitého (více než 10 %) omezit produkci ethylenu, jak bylo zjištěno např. u kiwi, nebo ji může úplně inhibovat, např. u rajčat. Oxid uhličitý má také bakteriostatické účinky, anaerobní prostředí může ale vést k rozvoji anaerobní mikroflóry. Kromě oxidu uhličitého je považován za konkurenční inhibitor účinku ethylenu i 1-methylcyklopropen (1-MCP) a lze jej proto také použít pro oddálení produkce ethylenu a ztlumení respirace. Můžeme použít i různé absorbéry ethylenu.

Hladina kyslíku a oxidu uhličitého v balení však nesmí překročit limit tolerance, který je u každé komodity individuální, jinak by mohlo dojít k úplnému přerušení aerobního dýchání a tvorbě ethanolu [14][16]. Dobiáš a Čurda (2004) [4] dodávají, že

tolerance plodin ke sníženému obsahu kyslíku a zvýšené koncentraci oxidu uhličitého v atmosféře jsou na sobě závislé, se zvyšováním koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře se zvyšuje i nejnižší tolerovaná koncentrace kyslíku a opačně, snižováním obsahu kyslíku se snižuje i nejvyšší tolerovaná koncentrace oxidu uhličitého. U některých plodin hraje významnou roli i stupeň zralosti, např. zralé ovoce snáší zvýšený obsah oxidu uhličitého lépe než ovoce dozrávající. Při krátkodobém skladování tolerují plodiny nižší koncentrace kyslíku, resp. vyšší koncentrace oxidu uhličitého, než při dlouhodobém skladování. Také s vyšší skladovací teplotou roste citlivost plodin k nízkému obsahu kyslíku. Je-li čerstvý produkt vystaven koncentraci oxidu uhličitého, která je nad mezí jeho tolerance, může dojít k poškození jeho pletiv, které se např. u salátu projevuje hnědými skvrnami (Robertson, 2010). Příklady tolerovaných minimálních a maximálních koncentrací kyslíku a oxidu uhličitého pro vybrané plodiny jsou uvedeny v Tabulce 4 a Tabulce 5.

Kvůli neustále se měnícímu složení směsi atmosféry uvnitř obalu (prodýchání kyslíku a zvyšování podílu oxidu uhličitého) musí být zvoleny vhodné obalové materiály, které umožňují tyto změny vyrovnat. Nejčastěji se na balení čerstvého ovoce a zeleniny používají obaly z orientovaného polypropylenu (OPP), polyethylenu o nízké hustotě (LDPE) nebo polyvinylchloridu (PVC) (Robertson, 2010). Rychlost prostupu plynu plastovým obalem závisí na druhu použitého polymeru, tloušťce obalu, teplotě a rozdílu tlaků plynů na obou stranách obalu [14]. Ve většině případů propustnost samotných polymerů nestačí a pro umožnění dostatečné výměny plynů je potřeba je perforovat mikrootvory [14]. D'Áquino *et al* (2016) [15] prováděli výzkum s cherry rajčaty a dokázali, že při použití perforované fólie zůstane zachováno neměnné složení plynu uvnitř balení. Velikost a četnost otvorů musí být přizpůsobena produktu, propustnosti obalového materiálu v neposlední řadě rozložení skladovacích teplot [14]. Pokud dochází během skladování k výkyvu teplot, musí se obal přizpůsobit nejvyšším teplotám, kterým je v průběhu skladování vystaven [14], neboť se zvyšující se teplotou roste intenzita respirace, uvnitř balení tak dochází k rychlejšímu poklesu obsahu kyslíku a se změnou teploty se mění i citlivost plodin na složení atmosféry.

Tabulka 4: Tolerované maximální koncentrace oxidu uhličitého pro vybrané druhy ovoce a zeleniny při optimální teplotě skladování.

Zdroj: [4] Dobiáš J., Čurda D., 2004: Sylabus textů k přednáškám z předmětu Balení potravin. <http://ukp.vscht.cz/files/uzel/0007696/Balen%C3%AD+potravin.pdf>

Koncentrace CO ₂ [%]	Komodity
2,0	hrušky
3,0	artičoky, rajčata
5,0	většina odrůd jablek, meruňky, květák, okurky, hrozny, olivy, pomeranče, broskve (clingstone), brambory
7,0	banány, zelené fazolky, kiwi
8,0	papaya
10,0	chřest, růžičková kapusta, zelí, celer, grapefruit, citróny, mango, nektarinky, broskve (freestone), mučenka, ananas, sladká kukuřice
15,0	avokádo, brokolice, litchi, švestky, granátové jablko
20,0	sladký meloun, houby
25,0	ostružiny, borůvky, fíky, maliny, jahody.
30,0	cherimoya

Tabulka 5: Tolerované minimální koncentrace kyslíku pro vybrané druhy ovoce a zeleniny při optimální teplotě skladování.

Zdroj: [4] Dobiáš J., Čurda D., 2004: Sylabus textů k přednáškám z předmětu Balení potravin. <http://ukp.vscht.cz/files/uzel/0007696/Balen%C3%AD+potravin.pdf>

Koncentrace O ₂ [%]	Komodity
< 0,5	dělené listy ledového salátu, upravená brokolice, houby, špenát, plátkované hrušky
1,0	růžice brokolice, dělený hlávkový salát, plátky jablek, růžičková kapusta, melouny cantaloupe, okurky, cibule, meruňky, avokádo, banány, třešně, brusinky, hrozny, kiwi, litchi, nektarinky, broskve, švestky, cherimoya, atemoya
1,5	většina odrůd jablek a hrušek

Koncentrace O ₂ [%]	Komodity
2,0	strouhaná a kostkovaná mrkev, artyčoky, zelí, květák, celer, papaya, ananas, granátová jablka, maliny, jahody
2,5	krájené zelí, borůvky
3,0	dělený sladký meloun, jablka a hrušky s tuhou dužninou a slupkou (malou propustností), grapefruit, mučenka
4,0	krájené houby
5,0	zelené fazolky, citrusy
10,0	chřest

5 VÝSLEDKY A ZÁVĚR

Současné systémy balení využívají nejnovějších poznatků o příčinách degradace potravin. Ke znehodnocení potravin může dojít mnoha způsoby, např. vysycháním, působením mikroorganismů, oxidací složek potravin, respirací plodin. Balením v modifikované atmosféře lze upravit podmínky v nejbližším okolí potraviny tak, aby bylo zamezeno působení těchto znehodnocujících faktorů. Intenzita kažení se také zvyšuje se stoupající teplotou. Kromě změny prostředí je tedy většinou nezbytné skladovat potraviny při chladírenských teplotách.

Vysychání potravin lze omezit samotným jejich zabalením. Ostatní děje zhoršující kvalitu potravin jsou většinou podmíněny přítomností kyslíku (dýchání, aktivita aerobních mikroorganismů, oxidace). Proto je žádoucí jeho vyloučení z bezprostředního okolí většiny potravin. Změnit okolí potraviny pomocí MAP lze buď použitím vakuového balení, nebo balení rovnovážného. Vakuové balení odsává z okolí potravin vzduch a tedy i kyslík, může při něm však dojít k deformaci výrobku působením tlaku. Při rovnovážném balení je vzduch z okolí potraviny nahrazen atmosférou plynu, tuto výměnu lze provést dvěma způsoby. Buď je obal naplněn potravinou nejprve vakuován a až poté se napustí plynem, nebo se plní plynem rovnou a vzduch je tak vytlačen pouze proudem plynu. Jako plynná atmosféra se používá nejčastěji dusík, oxid uhličitý a ve zvláštních případech i kyslík. Dusík je inertní plyn, nemá antimikrobiální účinky, pouze vytváří anaerobní prostředí. Nejdůležitějším plynem v MAP je oxid uhličitý, který je rozpustný ve vodě, čímž snižuje pH potravin, má antimikrobiální účinky a tlumí intenzitu dýchání plodin. Kyslík, ačkoliv je při balení většiny potravin nežádoucí, se používá při balení masa, kdy vazbou s myoglobinem vytváří oxymyoglobin, který způsobuje jasně červené zbarvení masa. Dále se kyslík používá v malém množství i na balení plodin, aby bylo udrženo jejich dýchání.

Nejčastěji se při MAP používají směsi plynu, jejichž složení je zvlášť optimalizováno pro každou potravinu. Pro balení masa je typická atmosféra s vysokým obsahem kyslíku, který je důležitý pro vybarvení výrobku, a zbytek je většinou tvořen oxidem uhličitým, aby bylo oddáleno mikrobiální kažení, kterému maso jinak snadno podléhá. Také lze použít vakuové balení, nedocílíme tím však atraktivního zbarvení výrobku. Na balení ryb se kvůli jejich malé kyselosti a rychlému mikrobiálnímu kažení používá atmosféra s převahou oxidu uhličitého, zbytek je tvořen dusíkem, který spoluvytváří anaerobní prostředí a působí preventivně proti zhroucení balení. U ryb

s podílem červené svalové tkáně se do atmosféry přidává kvůli zbarvení kyslík. U pečiva je největší hrozbou jeho vysušení a plesnivění, proto je nutné vytvořit v jeho okolí anaerobní podmínky. Nejčastěji se k tomu používá atmosféra s převahou dusíku, zbytek je zastoupen oxidem uhličitým. Sýry se balí zvlášť podle jejich vlhkosti. Tvrdé sýry jsou nejčastěji znehodnoceny plesnivěním, tomu lze účinně zabránit vakuovým balením. Polotvrdé sýry se balí do směsi dusíku a oxidu uhličitého, měkké sýry, sýry s plísní a sýry zrající pod mazem se balí bez úpravy atmosféry. U čerstvého ovoce a zeleniny je důležité utlumit jejich dýchání, ne mu však zcela zamezit. Toho lze dosáhnout použitím atmosféry s limitním množstvím oxidu uhličitého a kyslíku, které je pro každou plodinu individuální, zbylé většinové množství je tvořeno dusíkem.

Balení potravin do modifikované atmosféry společně s chlazením účinně potlačuje nežádoucí změny v potravinách. Efektivitu MAP lze navíc podpořit použitím prvků aktivního balení, které pomáhají udržovat konstantní podmínky uvnitř obalu. Aplikací těchto moderních systémů balení lze proto dosáhnout významného prodloužení trvanlivosti potravin.

6 POUŽITÁ LITERATURA

Literární zdroje:

- ARVANITTOYANNIS I. S. (ed.), 2012: *Modified atmosphere and active packaging technologies*. Boca Raton: CRC Press, 790 s. ISBN 978-1-4398-0044-7
- HAN J. H. (ed.), 2005: *Innovations in food packaging*. London: Elsevier Academic Press, 325 s. ISBN 0-12-311632-5
- KAČEŇÁK I., 2001: *Základy balenia potravín*. Bratislava: ARM 333, 198 s. ISBN 8096794566
- KNĚŽ V., 2012: *Novinky v balení sýrů*. Svět balení, 11-12/2012: s. 11-13. ISSN 1212-7809
- ROBERTSON G. L., 2010: *Food packaging and shelf life: A practical guide*. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4200-7844-2
- ROBERTSON G. L., 2013: *Food packaging: Principles and practice*. 3.vydání, Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4398-6241-4
- VYHLÁŠKA 38/2001 Sb., *o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami a pokrmy*
- YAHIA E. M. (ed.), 2009: *Modified and controlled atmospheres for the storage, transportation, and packaging of horticultural commodities*. Boca Raton: CRC Press, 608 s. ISBN 9781420069570
- ZEMAN S., 2005: *Balenie a obalová technika*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 177 s. ISBN 8080696349.

Internetové zdroje:

- [1] ŠTENCL J., 2009 (2011): Balení a prodej potravin, In: E-learningová opora předmětu Balení a prodej potravin [online]. MENDELU [8. 2. 2016]. Dostupné z: <http://user.mendelu.cz/stencl/>
- [2] PULIGUNDLA P., JUNG J., KO S., 2012: Carbon dioxide sensors for intelligent food packaging applications. In: Campbell-Platt G. (ed.) Food Control [online]. Elsevier, 25/1, s. 328–333. ISSN: 0956-7135. [6. 3.2016]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713511004610>
- [3] HENKELMAN, 2016: Boxer 35, In: Oficiální stránky fy Henkelman [online]. Henkelman [17. 3. 2016]. Dostupné z: <http://www.henkelman.com/en/equipment/table-top-models/boxer/boxer-35>

- [4] DOBIÁŠ J., ČURDA D., 2004: Syllabus textů k přednáškám z předmětu Balení potravin, In: Učební text předmětu Balení potravin [online]. VŠCHT v Praze [21. 2. 2016]. Dostupné z:
<http://ukp.vscht.cz/files/uzel/0007696/Balen%C3%AD+potravin.pdf>
- [5] DANSENSOR, 2012: Modified atmosphere packaging of fresh meat, In: Modified atmosphere packaging [online]. Dansensor A/S [27. 3. 2016]. Dostupné z:
<http://www.modifiedatmospherepackaging.com/applications/modified-atmosphere-packaging-fresh-meat.aspx>
- [6] INGR I., 2003: Dusitany v masných výrobcích, In: Stránky Českého svazu zpracovatelů masa [online]. Český svaz zpracovatelů masa [27. 3. 2016]. Dostupné z:
<http://www.cszm.cz/clanek.asp?typ=1&id=892>
- [7] HEINZ G., HAUTZINGER P., 2010: Packaging of fresh and processed meat, In: Meat processing technology for small- to medium-scale producers [online]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok [27. 3. 2016]. Dostupné z
<http://www.fao.org/docrep/010/ai407e/ai407e21.htm>
- [8] MCMILLIN K. W., 2008: Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. In: E. Webb, L. Hoffman, P. Strydom and L. Frylinck, Meat Science: 54th International Congress of Meat Science and Technology (54th ICoMST), 10-15 August 2008, Cape Town, South Africa [online] [27. 3. 2016]. Dostupné z <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174008001691>
- [9] KHOSHAKHLAGH K., HAMDAMI N., SHAHEDI M., LE-BAIL A., 2014: Quality and microbial characteristics of part-baked Sangak bread packaged in modified atmosphere during storage. In: Journal of Cereal Science [online]. Elsevier, 60/1, s. 42-47. ISSN: 0733-5210. [3. 4.2016]. Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521014000265>
- [10] FIK M., SURÓWKA K., MACIEJASZEK I., MACURA M, MICHALCZYK M., 2012: Quality and shelf life of calcium-enriched wholemeal bread stored in a modified atmosphere. In: Journal of Cereal Science [online]. Elsevier, 56/2, s. 418-424. ISSN: 0733-5210. [3. 4.2016]. Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521012001233>
- [11] GUYNOT M. E., MARIN S., SANCHIS V., RAMOS A. J., 2003: Modified atmosphere packaging for prevention of mold spoilage of bakery products with different pH and water activity levels. In: Journal of Food Protection [online]. International

Association of Food Protection, 66/10, s. 1864-1872. ISSN: 1944-9097. [3. 4.2016].

Dostupné z:

<https://www.msu.edu/course/fsc/807/Modi%20ed%20Atmosphere%20Packaging%20for%20Prevention%20of%20Mold.pdf>

[12] JAKOBSEN M., RISBO J., 2009: Carbon dioxide equilibrium between product and gas phase of modified atmosphere packaging systems: Exemplified by semihard cheese. In: Journal of Food Engineering [online]. Elsevier, 92/3, s. 285-290. ISSN: 0260-8774 . [3. 4.2016]. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408005633>

[13] DANSENSOR, 2012: Modified atmosphere packaging of cheese, In: Modified atmosphere packaging [online]. Dansensor A/S [3. 4. 2016]. Dostupné z:

<http://modifiedatmospherepackaging.com/applications/modified-atmosphere-packaging-cheese>

[14] DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE, 2008: Guide: Packaging fresh fruit and vegetables, In: Modified atmosphere packaging [online]. Danish Technological Institute [4. 4. 2016]. Dostupné z:

<http://modifiedatmospherepackaging.com/~media/Modifiedatmospherepackaging/Pictures/Guide%20%20%20Packaging%20of%20Fresh%20Fruit%20and%20Vegetables%20%20%20PDF%20file.ashx>

[15] D'AQUINO S., MISTRITIS A., BRIASSOULIS D., DI LORENZO M. L., MALINCONICO M., PALMA A., 2016: Influence of modified atmosphere packaging on postharvest quality of cherry tomatoes held at 20 °C. In: Postharvest Biology and Technology [online]. Elsevier, 115, s. 103-112. ISSN: 0925-5214. [4. 4.2016]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521415301964>

[16] LARSEN H., WOLD A. B., 2016: Effect of modified atmosphere packaging on sensory quality, chemical parameters and shelf life of carrot roots (*Daucus carota* L.) stored at chilled and abusive temperatures. In: Postharvest Biology and Technology [online]. Elsevier, 114, s. 76-85. ISSN: 0925-5214. [4. 4.2016]. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925521415301769>

7 SEZNAM ZKRATEK

CAP – Controlled Atmosphere Packaging

CTI – Critical Temperature Indicator

EP – Equilibrium Packaging

FFS – Form-Fill-Seal

LDPE – Polyethylen s nízkou hustotou (Low Density)

MAP – Modified Atmosphere Packaging

OPP – Orientovaný polypropylen

PE – Polyethylen

PET – Polyethylentereftalát

PP – Polypropylen

PS - Polystyren

PVdC – Polyvinylidenchlorid

PVC – Polyvinylchlorid

TTI – Time-Temperature Indicator

VP – Vacuum Packaging