

Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních
zdrojů**

Katedra chemie



**Obalové materiály jako možný zdroj kontaminace
potravin**

Bakalářská práce

Autor práce: Anna Cecoi

Obor studia: Kvalita produkce

Vedoucí práce: Ing. Zora Kotíková, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Obalové materiály jako možný zdroj kontaminace potravin" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala paní Ing. Zoře Kotíkové PhD. za rady, ochotu a věnovaný čas při psaní této bakalářské práce. Dále také děkuji příteli a rodině za podporu.

Obalové materiály jako možný zdroj kontaminace potravin

Souhrn

S obalovými materiály se setkáváme v každodenním životě. Plní mnoho funkcí a mezi ty nejdůležitější patří uchovávání potravin, zachování jejich kvality, organoleptických vlastností a zdravotní nezávadnosti. Na trhu existuje široká škála obalových materiálů. Některé z nich slouží pro uchovávání potravin již s dlouholetou historií, jiné jsou vyvíjené jako moderní alternativy již známým materiálům.

Aby si potraviny zachovaly čerstvost a kvalitu, je nezbytné vhodně zvolit obalový materiál. Je nutné znát chemické a fyzikální vlastnosti potravin a obalových materiálů současně. Důležitými faktory při výběru vhodného obalu jsou vodní aktivita, obsah lipidů, chemické složení potravin aj. Dále je také důležité znát chemické složení obalového materiálu, jeho stabilitu a migrační limity pro kontaminanty. Pro zajištění zdravotní nezávadnosti a zachování kvality potravin je nutné dodržovat legislativou stanovené normy a pokyny. Legislativa upravuje množství jednotlivých přítomných látek jak v potravinách, tak i v obalových materiálech.

V literární rešerši byly popsány jednotlivé materiály, které slouží pro balení a uchovávání potravin. Mezi hlavní obalové materiály patří polymery, papír a lepenka, sklo a kovy. Jsou zde také uvedeny výhody a nevýhody jejich využití. Přesto, že mohou některé obaly představovat širokou škálu aplikací v obalovém průmyslu, existuje riziko přestupu cizorodých látek z obalového materiálu do potravin.

V této práci byly taktéž popsány nejčastější a nejvýznamnější kontaminanty migrující ze složek obalového materiálu do potravin. Vzhledem k vysoké toxicitě některých kontaminantů byly prováděny studie, zabývající se jejich migrací a zdravotními riziky. Zjištěné hodnoty jsou porovnávány s legislativními normami a odhalují, zda dané kontaminanty přítomné v potravinách překračují limity a představují tak nebezpečí pro zdraví lidí.

Vzhledem k tomu, že roste povědomí o kontaminantech v obalech, roste i zájem o výrobu co nejbezpečnějších obalových materiálů, které neohrožují zdraví. V důsledku toho dochází k vývoji inovací v obalovém průmyslu. Příkladem jsou biopolymery, které zajišťují snížení negativního dopadu na životní prostředí a zároveň eliminují množství kontaminantů v potravinách. Biopolymery jsou vytvořeny z obnovitelných zdrojů a nepředstavují zdravotní riziko ve srovnání se synteticky vyrobenými polymery, které se vyznačují vysokým množstvím přítomných kontaminantů. Další možností je využití nanocelulózových vláken či aktivního a inteligentního systému balení. Aktivní obaly zajišťují udržování požadovaného stavu potravin, jejich čerstvosti a kvality. Inteligentní obaly naopak monitorují stav potravin či prostředí, ve kterém se potraviny nachází a poskytují informace o jejich čerstvosti.

Klíčová slova: ftalát, hygienický limit, chrom, norma, ocel, skladovatelnost, toxicita, zdraví

Packaging materials as a possible source of food contamination

Summary

We are getting in touch with food packaging material in our every day life. It performs many functions along with the most important as food preserving, keeping its quality, its organoleptic features and being harmless in terms of health. There is a broad spectrum of food packaging materials on the market. Some of them serves for preserving food with long-term history, others are developed as modern alternatives for already known materials.

It is necessary to choose a right packaging material so food can maintain quality and freshness. It is also necessary to know physical and chemical facilities of foods and packaging materials at the same time. Important factors for choosing the right packaging material are water activity, content of lipids, chemical constitution etc. Then it is important to know chemical constitution of packaging material, its stability and migration limits for contaminants. For certainty of medical safety and preserving the quality of food, it is important to adhere to norms and instructions made by legislative. Legislative edits number of individual substances present in food and packaging materials as well.

In literary recherche are presented individual materials, which serves for packaging and storing of foods. As the primary packaging materials are considered polymers, paper and board, glass and metals. I also present pros and cons of their usage. Regardless that some of the package materials may represent broad scale of applications in package industry, there is a risk of contaminants crossing from package materials to food.

In this thesis I described the most common and significant contaminants which migrates from components of packaging material to food. Considering high toxicity of some contaminants, there were several studies made, dealing with its migration and health risks. Values which were discovered are compared to legislative norms and reveal, if contaminants present in foods exceed the limits and represent danger for healthy people.

Inasmuch as an awareness of contaminants in packaging arise, interest in production of safe package materials which does not represent danger for health arises as well. As a result of that there is a development of innovations in packaging industry. As an example, biopolymers, which provides reduction of negative influence on environment and eliminate number of contaminants in food as well. Biopolymers are created from renewable sources and does not represent health risks in compare to synthetic-made polymers, which are known for high amount of present contaminants. Another possibility is use of nanocelulose or active and intelligent from of packaging. Active packages provide maintenance of food's condition, its freshness and quality. Intelligent packages on the other hand monitor condition of food or surroundings in which the food is placed and provide information about its freshness.

Keywords: phthalate, hygienic limit, chrome, norm, steel, storability, toxicity, health

Obsah

1	ÚVOD	8
2	CÍL PRÁCE	9
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	10
3.1	Legislativa.....	10
3.1.1	Nařízení parlamentu pro potravinové obaly	11
3.2	Potravinářství a význam obalových materiálů.....	12
3.3	Vztah mezi vlastnostmi potravin a obalů	12
3.4	Kontaminanty.....	13
3.4.1	Tiskařské barvy	14
3.5	Aditiva.....	14
3.6	Materiály používané k balení potravin a jejich kontaminanty.....	14
3.6.1	Polymery	14
3.6.1.1	Polyethylen	15
3.6.1.2	Polypropylen	16
3.6.1.3	Polyethylentereftalát.....	16
3.6.1.4	Polystyren	17
3.6.1.5	Polyvinylchlorid.....	17
3.6.1.6	Biopolymery	18
3.6.1.6.1	Polymer kyseliny mléčné (PLA).....	19
3.6.1.7	Nanocelulóza.....	20
3.6.2	Kontaminanty z polymerních obalů	21
3.6.2.1	Estery kyseliny ftalové	22
3.6.2.2	Lepidlo.....	23
3.6.2.3	Polychlorované bifenyly.....	24
3.6.2.4	Epoxidovaný sójový olej	26
3.6.2.5	Monomer styrenu	26
3.6.2.6	Recyklovaný PET a potraviny	28
3.6.2.7	Bisfenol A.....	29
3.6.3	Papír a lepenka	29
3.6.4	Kontaminanty z papírových obalů	30
3.6.4.1	Recyklovaný papír a lepenka.....	31
3.6.5	Sklo.....	31
3.6.6	Kontaminanty ze skleněných obalů.....	33
3.6.7	Kovy	33

3.6.8	Kontaminanty z kovových obalů	35
3.6.9	Jedlé obaly	37
3.7	Aktivní a inteligentní obaly.....	38
3.7.1	Aktivní obaly	38
3.7.2	Inteligentní obaly	39
3.7.3	Antioxidanty v obalových materiálech.....	39
3.7.4	Antimikrobiální peptidy (AMP)	41
4	ZÁVĚR.....	43
5	SEZNAM LITERATURY	45

1 Úvod

V dnešní době se setkáváme s obaly v každodenním životě a u potravin tomu není jinak. Obaly slouží výrobcům i spotřebitelům kromě reklamy a informací o potravinách, také pro jejich bezpečné skladování, manipulaci a zachování kvality. Potraviny jsou nezbytnou součástí našeho každodenního života, proto bychom měli znát a dodržovat jistá pravidla jejich uchovávání, která následně mohou ovlivnit jak kvalitu potravin, tak i naše zdraví. Vzhledem k novým požadavkům a prioritám konečných spotřebitelů dochází k vývoji inovací a alternativních řešení obalového systému. Jedním z důvodů je stále větší povědomí o obalových kontaminantech migrujících do potravin právě z obalů. Aby bylo možné správně detekovat a popisovat míru kontaminace, je nutné znát vlastnosti nejen obalů, ale i dané potraviny (Rodríguez-Rojas et al. 2019).

Existuje řada materiálů, které jsou již s dlouhou historií používány pro balení potravin. Mezi základní typy využívaných obalových materiálů patří polymery, papír a lepenka, sklo a kovy. Každý z těchto materiálů má své výhody i nevýhody včetně nákladů, způsobu zpracování, odolnosti či účinků na zdraví lidského organismu.

Polymery patří mezi hojně využívané materiály díky dostupnosti surovin pro výrobu, také mají všestranné využití a způsoby aplikací a dobré fyzikální a chemické vlastnosti. Polymerních materiálů využívaných v potravinářství existuje celá řada a hlavními z nich jsou polyethylen, polyethylentereftalát, polypropylen, polyvinylchlorid, polystyren a další. Z hlediska balení potravin však vykazují v porovnání s ostatními materiály vysokou úroveň migrace cizorodých látek do potravin a v určitých případech mohou působit toxicky (Smith 1993). Z tohoto důvodu, včetně dalších jako je snaha o snížení negativního dopadu polymerů na životní prostředí a omezení plýtvání potravin jsou vyvinuty alternativy obalových materiálů. Příkladem jsou biopolymery, získávané z obnovitelných zdrojů či obaly z nanocelulózy (Siracusa et al. 2008).

Papír a lepenka jsou taktéž hojně využívanými materiály pro potravinářské účely. Na rozdíl od polymerů však nevykazují takovou stabilitu a všestranné použití. Aby nedocházelo ke zvýšené migraci kontaminantů a byly zachovány organoleptické vlastnosti, nelze tento typ materiálů využít pro potraviny s vysokou vodní aktivitou či vysokým obsahem lipidů (Smith 1993).

Sklo patří mezi materiály vyznačující se dobrou tepelnou odolností, avšak vysokou křehkostí, což může bránit některým typům aplikace v potravinářství. Nicméně vykazuje nízké hodnoty migrujících látek a může tak v řadě případů nahrazovat některé polymerní obaly (Franco & Falqué 2016).

Kovy se využívají nejčastěji pro konzervované potraviny. Přesto, že řada kovů je pro náš organismus nezbytná, existují kovy, které negativně působí jak na naše zdraví, tak i na kvalitu potravin (Barone 2015). Pro eliminaci nadměrné migrace například cínu se využívá potahování kovového materiálu lakem. Takovéto aditivní látky mohou výrazně ovlivnit míru migrace nežádoucích kovů do (Reilly 2002).

Ve snaze o dosažení co nejlepší kvality potravin jsou také vyvinuty speciální obalové techniky jako aktivní a inteligentní obaly. V prvním případě jsou obaly schopny zajišťovat a regulovat kvalitu potravin působením např. antioxidantů, uvolňovaných přímo z obalových vrstev. Zatímco inteligentní obaly monitorují stav dané potraviny a prostředí v obalu a zajišťují detekci jejich čerstvosti (Ghaani et al. 2016).

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zpracovat literární rešerši zaměřenou na obalové materiály využívané v potravinářství. Popsat druhy obalů, jejich použití a fyzikální a chemické vlastnosti. Dále také charakterizovat možné kontaminanty pocházející z jednotlivých obalů, popsat jejich vlastnosti, migraci a negativní dopad na kvalitu potravin a zdraví člověka.

3 Literární rešerše

Prvním kontaktem zákazníka či spotřebitele s potravinami je obal. Ten zodpovídá kromě estetiky a reklamy i za manipulaci a bezpečnost potravin. V průběhu vývoje potravinářského průmyslu roste zájem o vývoj materiálů a jejich zdravotní nezávadnost. Určení přiměřené bezpečnosti potravin při vývoji výživy v průběhu času závisí na globální dynamice. Důraz je kladen také na očekávání a priority spotřebitelů. Provádí se proto analýzy potravinových obalových materiálů, inovací a jejich dopadu jak na trh a životní prostředí, tak i na úlohy bezpečnosti a balení potravin (Rodríguez-Rojas et al. 2019).

3.1 Legislativa

Vztah mezi bezpečností potravin a materiály určenými pro balení potravin je velmi úzký. V zájmu dosažení odpovídající kvality potravin a zajištění jejich nezávadnosti jsou legislativou stanoveny limity, požadavky a omezení, která je nutné dodržovat (Barone 2015).

Přesto, že se stravovací návyky v jednotlivých zemích liší, pro státy Evropské unie jsou zavedeny stejné zásady kontroly a hygieny potravin v evropském trhu. Úřední kontrola potravin, daná Evropskou unií, zahrnuje jak kontrolu potravin, aditiv, tak i materiálů, které přichází s potravinami do styku. Cílem je předejít zdravotním rizikům a chránit jak spotřebitele, tak i výrobce. Kontroly zahrnují výrobky domácího trhu i ty, které jsou určeny pro vývoz do jiného členského státu. Kontroly mohou probíhat v kterékoli fázi procesu, od výroby po prodej konečnému spotřebiteli. Potravin a obaly jsou kontrolovány průběžně a dále v případě podezření. Členské státy jsou povinny zavést a dodržovat roční program inspekcí. Kontroly bezpečnosti potravin zahrnují:

- 1) odběr a analýzu vzorků, prováděné úředně zvolenou laboratoří,
- 2) sledování dodržování požadavků osobní hygieny při manipulaci s potravinami,
- 3) administrativní kontrolu dokumentů (Mossel 1995).

Právní předpisy Evropské unie pro materiály přicházející do styku s potravinami lze rozdělit do dvou skupin:

- 1) obecná pravidla, platná pro všechny typy materiálů a definující základní požadavky materiálů nebo předmětů přicházejících do styku s potravinami,
- 2) zvláštní pravidla, která definují individuální požadavky k jednotlivým typům materiálů.

Legislativa nám popisuje obal jako „výrobek zhotovený z materiálu jakékoliv povahy a určený k použití, ochraně, manipulaci, dodávce, popřípadě prezentaci výrobku nebo výrobků určených spotřebiteli nebo jinému konečnému uživateli, jestliže má současně:

- v místě nákupu tvořit prodejní jednotku pro spotřebitele nebo jiného konečného uživatele (dále jen "prodejní obal"),

- v místě nákupu tvořit skupinu určitého počtu prodejních jednotek, at' již je tato skupina prodávána spotřebiteli nebo jinému konečnému uživateli, anebo slouží pouze jako pomůcka pro umístění do regálů v místě prodeje a může být z výrobku odstraněn, aniž se tím ovlivní jeho vlastnosti (dále jen "skupinový obal"),

- usnadnit manipulaci s určitým množstvím prodejních jednotek nebo skupinových obalů a usnadnit jejich přepravu tak, aby se při manipulaci a přepravě zabránilo jejich fyzickému poškození (dále jen "přepravní obal").“ (Zákon č. 477/2001).

3.1.1 Nařízení parlamentu pro potravinové obaly

Problematikou obalů v potravinářství se zabývá 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.

Zásada, z níž toto nařízení vychází spočívá v tom, že libovolný materiál nebo předmět, který je určen at' už k přímému či nepřímému kontaktu s potravinami, musí vykazovat dostatečnou stabilitu. To zabrání přestupu látek nebo jejich složek do potravin v takovém množství, které by mohlo ohrozit lidské zdraví, způsobit nežádoucí změny složení potravin nebo mít negativní dopad na organoleptické vlastnosti.

Obalové materiály a předměty, včetně aktivních a inteligentních obalů, určené pro potravinářské účely musí být vyrobeny v souladu se správnou a odpovídající výrobní praxí. Souhrn základních požadavků na aktivní obalové materiály je též součástí již zmiňovaného 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. Za aktivní obaly jsou považovány takové materiály, které byly navrženy tak, aby aktivně udržovaly či zlepšovaly aktuální stav potravin. Jsou to materiály nestabilní povahy, avšak v souladu s potravinovou legislativou mohou uvolňovat aktivní látky do potravin, popřípadě do prostředí obklopujícího potravinu. Měnit organoleptické vlastnosti nebo vlastnosti potravin mohou tyto látky pouze tehdy, jsou-li dané změny v souladu s předpisy Společenství vztahujícími se na potraviny viz směrnice 89/107/EHS o potravinářských přídatných látkách.

Aktivní obaly se dělí na obaly, které mohou aktivní látky uvolňovat do potravin či prostředí, a dále na obaly, které mají naopak schopnost absorbovat látky pocházející z potravin. I z legislativního hlediska by měly být tyto dvě skupiny aktivních obalů rozlišovány.

Dalším typem inovativních obalů v potravinářském průmyslu jsou „inteligentní materiály a předměty určené pro styk s potravinou“. Na rozdíl od aktivních materiálů, u nichž je cílem potravinu udržovat nebo zlepšovat, mají inteligentní materiály za úkol stav potravin sledovat.

Pro aktivní i inteligentní obaly platí, že by neměly způsobovat změny ve složení nebo organoleptických vlastnostech potravin, které by mohly být pro spotřebitele zavádějící. Aktivní i inteligentní materiály a předměty ve styku s potravinou musí být dle nařízení vhodně a odpovídajícím způsobem označeny tak, aby spotřebitel mohl identifikovat, které části jsou konzumovatelné a které nikoliv. Odpovídající označení je nezbytné i pro určení, který materiál je aktivní a který inteligentní (Evropská komise 2004).

3.2 Potravinářství a význam obalových materiálů

Balení potravin je tzv. multidisciplinární oblastí, do které je zahrnuta potravinářská věda, strojírenství, mikrobiologie, chemie, a ty spolu zajišťují zachování čerstvosti, trvanlivosti a kvality potravin.

Dále zahrnuje značnou část obalového průmyslu, kdy inovace v této oblasti jsou ve velké míře motivovány především preferencemi a požadavky spotřebitelů, a zároveň změnami globálních trendů. Trvanlivost potravin je úzce spojena s individuálními vlastnostmi daného produktu, podmínkami prostředí během přepravování a skladování, a především s kvalitou zvoleného balicího systému. Cílem potravinového obalu je kromě potlačení růstu mikroorganismů i snaha o udržení stability, odolávání oxidaci a zachování požadovaných organoleptických vlastností. V důsledku toho bylo vyvinuto mnoho různých systémů pro výrobu účinných materiálů pro balení potravin.

Mezi primární a zásadní funkci obalu jako takového patří ochrana balené potraviny před poškozením, a to ať mechanickým, tak i v důsledku kontaminace z chemických, fyzikálních a biologických zdrojů (např. působením nežádoucích mikroorganismů).

Obalové materiály pro potraviny mohou plnit kromě této primární bariérové funkce proti plynům, vodě a vlhkosti i další funkce, jako jsou detekce mikroorganismů, antimikrobiální funkce, zajišťování čerstvosti aj. Pro tyto účely byly vyvinuty speciální aktivní a inteligentní obaly, schopné hubit nebo inhibovat růst patogenních organismů vyskytujících se v potravinách.

V dnešní době dochází k častému znehodnocení potravin v důsledku nedodržení pokynů při jejich výrobě, přepravě, zpracování nebo skladování. K poškození může dojít nevhodným výběrem obalového materiálu nebo reakcí potraviny s obalem v důsledku nesprávného skladování za nevyhovujících podmínek jako vlhkost vzduchu, teplota apod. Vzhledem ke značnému ekonomickému dopadu tohoto jevu je potravinářský průmysl svým způsobem nucen hledat nové inovace a metody snižující riziko znehodnocení potravin (Topuz & Uyar 2020).

Vhodně zvolený materiál má kromě zdravotního hlediska také význam při ekonomických hodnoceních systémů balení potravin. Evropská komise se zabývá kromě jiného i recyklovatelností a opětovným použitím obalů. S tím souvisí i špatné vyprazdňování obalových nádob s dopadem na životní prostředí. Příkladem mohou být dva odlišné obalové materiály kečupu. V polymerních obalech, konkrétně v polypropylenových nádobách, lze pozorovat, že ztráty a plýtvání potravin se pohybují v rozmezí 13,12 až do 28,80 %, zatímco skleněné nádoby pro uchovávání kečupu zajišťují značně nižší ztráty, a to pouze 3,85 %. Špatné vyprázdnění obalů má dopad na životní prostředí a zároveň zvyšuje náklady spotřebitele. Výrobu a výběr obalového materiálu je nutné tedy zacílit jak na kvalitu potravin, tak i na vytvoření nejudržitelnějšího systému balení potravin (Wohner et al. 2020).

3.3 Vztah mezi vlastnostmi potravin a obalů

Výběr vhodně zvoleného obalového materiálu nemá vliv jen na proces od výroby až po dodání konečného produktu zákazníkovi, ekonomiku, techniku balení apod., ale i na udržitelnost, dobu skladování, či zdraví člověka. Jednotlivé materiály je nutno zkoumat na

fyzikálně–chemické úrovni a zjištěné poznatky brát v potaz při jejich výběru. Následně je ovšem nutné nastudovat si fyzikálně–chemické vlastnosti samotné potraviny, a teprve na základě všech potřebných informací vybrat nejvhodnější typ obalového materiálu. Mezi tyto vlastnosti patří obsah jednotlivých složek obsah lipidů, vodní aktivita, obsah minerálních látek, bod tání, bod tuhnutí, bod varu apod.

V důsledku nevhodného výběru obalového materiálu může dojít ke kontaminaci potravin. Tento fakt však mohou ovlivnit jak negativní vlastnosti obalu, tak i nedostatek informací o vlastnostech potraviny, případně její nevhodné skladování. Všechny tyto faktory mohou vést k následné kontaminaci. Tato problematika bude následně podrobně rozebrána v jednotlivých kapitolách (Sanches-Silva et al. 2014).

3.4 Kontaminanty

Potravinářské výrobky jsou vyráběny a distribuovány po celém světě, a to vede k přísným předpisům zaručujícím kvalitu potravin a jejich bezpečnost. Při výrobním procesu, ale i při balení potravin se mohou do kontaktu s potravinami dostat nežádoucí látky. Mohou to být rezidua pesticidů, endokrinní disruptory, veterinární léčiva, přídatné látky (aditiva), těžké kovy a řada dalších. Přesto, že jsou obvykle přítomny v malém množství, mohou často představovat nebezpečí pro lidské zdraví (Nu & Lucci 2013).

Kontaminanty potravin lze rozdělit do tří skupin, a to endogenní kontaminanty, exogenní kontaminanty a biotoxiny. Endogenní kontaminanty jsou nežádoucí látky, jejichž zdrojem jsou balené potraviny. Do této skupiny patří například akrylamid, heterocyklické aromatické aminy, polycyklické aromatické uhlovodíky, glycidyl estery a další. Tyto sloučeniny lze najít v uzených, pečených, nakládaných a smažených potravinách. Exogenní kontaminanty pocházejí z prostředí vnějšího a patří sem například pesticidy, těžké kovy a látky používané například během sklizně, šlechtění ovoce a zeleniny, výroby potravin a jejich skladování. Mezi nejdůležitější biotoxiny související s potravinářstvím patří mykotoxiny a bakteriální toxiny. Mezi mykotoxiny, které jsou častým zdrojem kontaminace potravin patří ochratoxin A, aflatoxiny, toxiny rodu *Fusarium* a *Alternaria* a patulin. Mykotoxiny lze detekovat v mnoha zemědělských produktech, obzvláště v obilovinách, olejnatých semenech, koření, ovoci a zelenině. Skupina bakteriálních toxinů zahrnuje především cyanobakteriální toxiny a histaminy. Nadměrné množství přidávaných látek a případně nezákonné používání nepoživatelných látek má významný dopad na bezpečnost a kvalitu potravin (Xin et al. 2020).

Množství migrantů přecházejících z obalů do potravin může tvořit až sto krát vyšší riziko než kontaminace prostřednictvím pesticidů nebo látek znečišťujících životní prostředí. Navíc je také obtížné porovnat toxicitu dobře kontrolovatelných pesticidů s často potenciální toxicitou látek přecházejících z obalů do potravin. Za účelem ochrany zdraví spotřebitelů jsou legislativně povinné analýzy kontaminujících látek v obalových materiálech. K analýzám cizorodých látek v potravinách se v praxi nejvíce používají dvě základní chromatografické metody, a to plynová chromatografie a kapalinová chromatografie. Je nutné posoudit jak koncentraci látek přecházejících z obalů, tak i typ a vlastnosti potraviny. K těmto účelům slouží speciální simulátory uvedeny v právních předpisech EU (Nu & Lucci 2013).

3.4.1 Tiskařské barvy

Inkousty jsou běžně používány v obalovém průmyslu a poskytují informace o balené potravine. Právě tyto tiskařské barvy mohou migrovat z obalového materiálu do potravin. Vyskytují-li se v obalech vícevrstvé materiály, může taktéž dojít k migraci barvy z povrchu obalu na jeho vnitřní stranu, tedy tu, která je v kontaktu s potravinou. K zabránění migrace složek inkoustů do potravin se běžně využívají hliníkové vrstvy, nicméně k migraci může dojít neúmyslně například při skladování. Používání tiskařských barev určených pro balení potravin upravuje Evropská asociace tiskařských inkoustů (Sanchis et al. 2017).

3.5 Aditiva

Mezi aditiva lze zařadit antioxidanty, stabilizátory, změkčovadla, barviva aj. Tyto látky jsou záměrně do obalových materiálů přidávány a zodpovídají za řadu vlastností materiálu. Přispívají ke stabilitě látek, prodlužují čerstvost, trvanlivost a kvalitu potravin. Aditiva se do potravin běžně přidávají v malých množstvích v rozmezí obvykle od 0,1 do 1 % (Sanchis et al. 2017).

3.6 Materiály používané k balení potravin a jejich kontaminanty

3.6.1 Polymery

Pojem plast je definován jako zpracovatelný materiál na bázi polymerů. Jsou to materiály určené k dalšímu zpracování a přeměně na hotové výrobky jako láhve, kontejnery, filmy, fólie, laky, nátěry apod. (Smith 1993). V potravinářství dochází ve velké míře k nahrazování materiálů jako kovy a sklo právě polymery (Zuccarello et al. 2019). Polymery mají v důsledku zpracovávání různými způsoby odlišné chemické složení i strukturu, a tím umožňují výrobu obalového materiálu na míru, dle individuálních požadavků a nároků. Na základě jejich struktury lze polymery rozdělit na homopolymery a heteropolymery. Jak vyplývá z názvu, molekula homopolymerů se skládá ze stejných jednotek monomerů. Příkladem homopolymeru je polyethylen nebo polystyren. Oproti tomu heteropolymery, označované jako kopolymery obsahují ve své molekule monomery odlišné a v různém uspořádání (Smith 1993).

Potravinářský průmysl využívá celou škálu rozmanitých obalových materiálů na bázi polymerů. Tabulka č.1 uvádí příklady polymerů, které jsou nejčastěji uplatňovány, a to především vinylové polymery, dusíkaté polymery, polyolefiny, polyestery a termosety (Velíšek 1999). V následujících kapitolách budou podrobněji popsány některé významné materiály, se kterými se setkáváme v potravinářství, každodenním životě a tvoří většinu výroby polymerů. Jedná se o polyethylentereftalát, polyethylen, polypropylen, polyvinylchlorid, polystyren a jako alternativy bioplasty a nanocelulóza.

Až 80 % plastů na světě tvoří termoplasty (Smith 1993). Termoplasty představují skupinu plastů, schopných tání při zahřívání a tuhnutí po následném ochlazení. Do této skupiny patří

například polyestery, polyolefiny, vinylové plasty aj. Během roztavené fáze za působení tepla a tlaku na termoplastický materiál, se stává polymerní matrice měkkou a poddajnou. Jsou to tedy materiály, které lze snadno formovat do nejrůznějších tvarů a setkáváme se s nimi v každodenním životě. Po ochlazení a ztuhnutí si daný tvar udržují. Jedná se však o děj reversibilní, který nabízí další možnosti přetváření a manipulace. Tímto se také liší od termosetů, které mají podobný charakter a využití, avšak po roztavení je následné tuhnutí dějem nereverzibilním. Termoplasty jsou určeny jak pro uchovávání potravin a léků, tak i k dalším aplikacím jako ohnivzdorné oděvy aj. (Larson 2015).

Mezi často využívané kuchyňské náčiní patří také kromě vinylového nádobí a plastových laminátů či folií i výrobky z polykarbonátů. Polykarbonáty jsou látky zahrnující řadu technických termoplastů s širokou škálou aplikací díky dobrým mechanickým vlastnostem. Takové materiály jsou vhodné například pro výrobu mikrovlnného nádobí (Sanchis et al. 2017).

Plasty mohou obsahovat aditiva za účelem zlepšení chemických vlastností daného obalu. Přidavné materiály ovšem mohou obsahovat i látky, které působí na lidský organismus či životní prostředí negativně. Z toho důvodu se provádí nejrůznější výzkumy včetně stanovování těžkých kovů (Cherif Lahimer et al. 2017).

Tabulka č. 1. Typy obalových polymerních materiálů (Velíšek 1999).

Dusíkaté polymery	Polyamidy, polyuretany
Polyolefiny	Polyethylen, polypropylen
Polyestery	Polyethylentereftalát, polykarbonát
Termosety	Fenolformaldehydové pryskyřice, aminoformaldehydové pryskyřice, epoxidové pryskyřice
Vinylové polymery	Polyvinylchlorid, polystyren, polyvinylacetát, polyvinylalkohol

3.6.1.1 Polyethylen

Polyethylen (PE) patří spolu s polypropylenem do skupiny polyolefinů. Polyolefiny dávají název skupině syntetických plastů na bázi alkenů. Polyolefin polyethylen je tvořen jednotkami – olefiny ethylenu.

Z výše zmiňovaných polymerů má nejjednodušší lineární strukturu a v potravinářství se s ním díky jeho vlastnostem nejčastěji setkáváme ve formě běžně používané čiré potravinové fólie a v podobě vakuových obalů. V průmyslu se PE rozděluje na základě hustoty, která závisí na hmotnosti jednotlivých molekul. Dalším sledovaným faktorem při balení potravin pomocí obalů z polymerů je kromě hustoty a molekulové hmotnosti i bod varu. V tabulce č. 2 jsou uvedeny tyto informace u alkenů, využívaných v obalových materiálech.

Na základě hustoty lze PE rozdělit do dvou skupin, a to nízkohustotní a vysokohustotní polyethylen. Nízkohustotní PE neboli LDPE s hustotou v rozmezí obvykle 0,910–0,940 g/cm³ se vyznačuje dobrými mechanickými vlastnostmi jako pevnost v tahu, a to až do -60 °C. Bod měknutí se pohybuje těsně pod 100 °C tudíž není možná sterilizace parou. Slouží jako bariéra

proti vodě, ale nikoli pro plyny. LDPE má vysokou chemickou odolnost vůči kyselinám a zásadám. Na uhlovodíky, oleje a tuky je však citlivý.

Vysokohustotní polyethylen (HDPE) nabízí lepší bariérové vlastnosti než LDPE. HDPE se využívá podobně jako LDPE ve formě fólií – filmů. Takovýto film s hustotou od 0,940-0,975 g/cm³ je však ve srovnání s nízkohustotním PE tužší a tvrdší. Chemická odolnost je u tohoto typu PE taktéž vyšší a odolává i olejům a tukům. HDPE fólie poskytuje výbornou ochranu proti vlhkosti a v určité míře i proti plynům. Barva HDPE není čirá jako u LDPE, ale bílá (Smith 1993).

Tabulka č. 2 Vlastnosti alkenů využívaných v polymerních obalech potravin (Smith 1993).

Název	Vzorec	Molekulová hmotnost	Hustota při 15 °C (g/cm ³)	Bod varu (°C)
Ethylen	C ₂ H ₄	28,05	1,180	-103,7
Propylen	C ₃ H ₆	42,08	1,181	-47,6
Buten	C ₄ H ₈	56,11	2,370	-6,3
Hexen	C ₆ H ₁₂	84,16	0,678	63
Okten	C ₈ H ₁₆	112,24	0,715	121

3.6.1.2 Polypropylen

Polypropylen neboli PP má nižší hustotu (0,9 g/cm³) než PE. Vyznačuje se dobrou odolností vůči chemikáliím, tukům, olejům a střední propustností plynů. Vykazuje vysokou teplotní stabilitu a odolnost vůči oděrům. PP lze formovat vyfukováním a vstřikováním za účelem výroby uzávěrů pro PET (polyethylentereftalátové) a skleněné láhve a nádoby, které jsou vhodné pro ohřev v mikrovlnné troubě. Procesem lití za studena lze vytvořit PP fólii, která je velmi všestranným materiálem jako potravinové fólie a sáčky různé tloušťky pro řadu aplikací. Tato litá forma PP je však do určité míry v potravinářství omezena z důvodu křehkosti a není vhodná pro ostré či těžké předměty (Smith 1993).

3.6.1.3 Polyethylentereftalát

Polyethylentereftalát (PET) byl poprvé polymerizován v roce 1941, původně za účelem získání vlákna pro textilní průmysl. Následně na základě studií a výzkumů chemických a fyzikálních vlastností stoupal zájem o tento materiál v dalších průmyslech.

Polyethylentereftalát je považován za jeden z nejběžnějších polymerů. Jeho využití je velmi různorodé díky mnoha pozitivním vlastnostem. Na základě níže uvedených vlastností je poptávka v potravinářském průmyslu po tomto materiálu vysoká.

Co se vzhledu týče, PET je látkou čirou a pevnou. Významná je odolnost vůči vodě, která umožňuje uplatnění v mnoha oblastech, obzvláště pro výrobu PET lahví a dalších obalů potravin. Neméně důležitá je jeho pevnost a tepelná odolnost.

PET může být vyroben jako látka amorfni, ale i tvořící krystalickou mřížku. Nízká rychlost krystalizace má za následek zvýšení tepelné odolnosti a lepší mechanické vlastnosti při výrobních procesech. PET je lehký a odolný vůči rozbití.

Zároveň vlastnosti jako vysoká odolnost vytváří riziko se zpracováním a znečišťováním životního prostředí. Trvanlivost PET materiálů způsobuje problém, kdy je v přírodě jedna PET lahev rozkládána dle výzkumů až stovky let (Barthélémy et al. 2014).

3.6.1.4 Polystyren

Polystyren (PS), známý také jako polyvinylbenzen, je významnou surovinou pro výrobu materiálů určených pro styk s potravinami.

PS se obvykle skládá z cca 1000 jednotek styrenu. Polystyren byl jeden z prvních formovatelných tuhých plastů, který dosáhl vysokého zastoupení na komerčním trhu. Díky jeho rychle tuhající povaze ho lze jednoduše formovat do požadovaných tvarů. Má výborné optické vlastnosti. Vyznačuje se vysokou číroostí a leskem. Přesto, že je materiálem křehkým a tepelně nestabilním, v potravinářství je hojně využíván. Značně žádaný je v podobě PS pěny. PS pěna nabízí vysokou pevnost v tahu, odolnost proti vodě, nepropustnost vlhkosti, snadnou výrobu, manipulaci a nízké náklady. PS pěna slouží k výrobě jednorázového nádobí, pěnových fólií pro obaly masa a dalších potravin (Smith 1993).

3.6.1.5 Polyvinylchlorid

Polyvinylchlorid (PVC), někdy také nazývaný „vinyl“, je považován po PE za druhý nejpoužívanější polymer. Vytváří široké spektrum fyzikálních vlastností, a to umožňuje širokou škálu využití od vodovodních trubek, přes obaly potravin po tenké a pružné chirurgické rukavice.

Propustnost pro vodní páru je u PVC vyšší než u polyolefinů. Propustnost pro plyny je však nízká. Má vynikající odolnost vůči tukům a olejům, stejně jako vůči kyselinám a zásadám. Relativně vysoká rychlost přenosu vodních par zabraňuje kondenzaci na vnitřní straně fólie. PVC fólie je tak široce využívána k natahování obalů čerstvého červeného masa a dalších obalů potravin jako mléčné výrobky či oleje.

Ze základního polymeru lze získat PVC fólie se značně proměnlivými vlastnostmi. Tato proměnlivost je dána především typem a množstvím použitého změkčovadla (přibližně 80 % všech změkčovadel je využíváno právě s PVC), kdy mohou tvořit až 50 % celkové hmotnosti. Výsledkem mohou být jak pevné a tuhé, tak i lepidivé a roztažné filmy. Vhodný výběr změkčovadla může taktéž zajistit fólii s vynikajícím leskem a průhledností. Použitá změkčovadla jsou obvykle organické kapaliny s nízkou těkavostí, umožňující vnitřní pohyb molekulárních řetězců. Pro jejich výrobu lze použít různých sloučenin, přičemž nejběžnější z nich jsou estery kyseliny ftalové. Změkčovadla nejsou na PVC chemicky vázaná, a proto mají tendenci migrovat na povrch, kde mohou být odstraněny nebo postupně odpařovány. Právě změkčovadla obsažená v PVC a zejména ftaláty tak představují kontaminanty pocházející z PVC potravinových obalů (Smith 1993).

3.6.1.6 Biopolymery

Společnost Lebreton & Andrady odhadují množství vyprodukovaného plastového odpadu v roce 2015 na 60–99 milionů tun za rok. Pevný odpad obsažen v komunálním odpadu podléhá spalování a dochází tak ke značnému znečišťování ovzduší (Crowley 2020).

Plasty jsou hojně využívané materiály nejen v potravinářském odvětví při balení potravin, ale i v řadě dalších aplikacích. Vzhledem k odolnosti toho materiálu a jeho zvýšenou produkcí a spotřebou roste zájem o alternativy polymerních obalů jako jsou obaly z obnovitelných zdrojů (Siracusa et al. 2008).

Opakovaně je každý rok několik set tisíc tun plastů vyhazováno do životního prostředí, které je tím je značně znečišťováno, včetně masivního znečišťování oceánů. Jednou z možností snížení množství nahromaděných plastových odpadů je jejich spalování, které je však nákladné, nebezpečné a dochází k úniku oxidu uhličitého a škodlivých chemikálií do atmosféry (Vilarinho et al. 2018).

Plasty jsou látky na bázi polymerů a dalších sloučenin a přísad jako stabilizátory, barviva, změkčovača atd. Přesto, že není vždy možné vyrobit 100% obnovitelný materiál, existují alternativy obsahující alespoň 50% podíl obnovitelných složek a příkladem jsou biopolymery neboli bioplasty. Očekávané vlastnosti bioplastů používaných v potravinářství jako obaly potravin mohou značně přispět k ochraně životního prostředí a k udržování kvality potravin (Siracusa et al. 2008).

Významný pokrok je dosažen v environmentálních vlastnostech plastů ve fázi jejich výroby a na konci jejich životnosti, a právě to přispívá k jejich udržitelnosti. Roste tak tendence k používání materiálů obnovitelných či obsahujících biologický základ (Vilarinho et al. 2018).

Bioplasty zahrnují obvykle biologicky rozložitelné polymery a polymery získané z obnovitelných zdrojů. První z nich se vyznačuje schopností degradace či rozkladu pomocí působení přirozeně se vyskytujících organismů zanechávajících vedlejší organické produkty. Polymery získané z biologicky obnovitelných zdrojů jsou odvozeny nebo extrahovány z rostlin, mořských živočichů a mikroorganismů, tedy z biologicky obnovitelných zdrojů (Vilarinho et al. 2018).

Podle Evropské organizace pro bioplasty lze bioplast definovat jako takový plast, který je vyroben z obnovitelných zdrojů nebo jako plast, který je rozložitelný a/nebo kompostovatelný (Peelman et al. 2013). Bioplasty pocházející z rostlinných zdrojů jsou stále populárnější avšak vyžadují zlepšení mechanických a vodních absorpčních vlastností (Gómez-Heincke et al. 2017).

Plasty na bázi biomasy se vyrábí z obnovitelných zdrojů za působení živých organismů. Mohou to být polysacharidy (škrob, celulóza, pektin aj.), proteiny (pšeničný lepek, kasein, želatina), dále lipidy (rostlinné oleje a živočišné tuky) a látky produkované řadou mikroorganismů (polyhydroxyalkanoáty neboli PHA) (Bátori et al. 2018). Pro balení potravin je nejběžnějším typem biopolymerů celulóza, škrob, agar, alginát, syrovátkový protein nebo kolagen, přičemž hlavní roli hraje škrob. Nachází se zde chemické vazby, které jsou za pomoci enzymů snadno štěpitelné a nepředstavují tak zátěž pro životní prostředí (Vilarinho et al. 2018). Často se škrob chemicky nebo fyzikálně modifikuje nebo mísí s jinými polymerními

sloučeninami či změkčovadly. Je možné k němu přidat další látky jako například glycerol nebo sorbitol, které označujeme jako přírodní plastifikátory, taktéž pro přírodu bezpečné. Nejčastěji se škrob využívá pro výrobu polymeru kyseliny mléčné (PLA) (Davis & Song 2006). Dalším příkladem zkoumaného biomateriálu z hlediska jeho termoplastických vlastností je pšeničný protein lepek. Tento protein je však značně hygroskopický a tudíž nevhodný pro typ bioplastu určeného pro balení potravin (Gómez-Martínez et al. 2009). Význam mají také materiály vyrobené z lignocelulózových vláken. Jsou atraktivní díky své obnovitelnosti, dostupnosti, nízkému dopadu na životní prostředí a nízkým nákladům. Lignocelulózová vlákna mohou být vyráběna z rostlinných zdrojů rozvláknováním nebo jinými mechanickými úpravami (Lei & Feng 2020). Bioplasty představují široké spektrum aplikací jako fólie, pytle na kompost, obaly potravin, zahradnické vybavení i textil (Siracusa et al. 2008).

Cílem bioplastu je simulovat cyklus biomasy. Jeho složky jsou označovány jako látky biodegradabilní, tedy v přírodě odbouratelné. K biodegradaci dochází za určitých podmínek. Rychlost závisí na teplotě, která odpovídá rozmezí 50-70 °C, vlhkosti a typu mikroorganismů. K rychlé degradaci dochází při splnění všech podmínek, a to zejména v kompostu. Při průmyslovém kompostování se bioplasty přemění na biomasu, vodu a oxid uhličitý v průběhu 6-12 týdnů. Syntetické polymery obsahují obvykle antioxidanty a stabilizátory, které jsou přidávány za účelem ochrany polymerního materiálu před oxidací během výroby či skladování. Z tohoto hlediska jsou tyto látky vnímány pozitivně. Na druhé straně právě tyto sloučeniny bránící oxidaci brání i procesu degradace. Při použití syntetických polymerů není možné počítat s biologickým rozkladem. Příkladem jsou polyolefiny, uhlovodíkové hydrofobní polymery odolné oxidaci, biodegradaci i hydrolýze. Při balení potravin jsou tyto faktory příznivé, ovšem mluvíme-li o biodegradabilních plastech, nelze je sem zařadit. Oproti tomu přírodní polymery jako škrob, celulóza aj. jsou látky hydrofilní. Technologicky je však nelze využít pro balení potravin, kde je vyžadována odolnost vůči vodě, ale degradaci podléhají velmi snadno (Siracusa et al. 2008).

3.6.1.6.1 Polymer kyseliny mléčné (PLA)

Polymer kyseliny mléčné neboli polylaktid (PLA) je považován za jeden z nejstabilnějších biopolymerů pro komerční účely jako náhrada za LDPE, HDPE, PET a PS (Rasal et al. 2010). Na obrázku č. 1 je znázorněna kyselina mléčná a synteticky vytvořený biopolymer kyseliny mléčné. Tento biologicky rozložitelný polyester lze získat z obnovitelných zdrojů, například z kukuřice nebo cukrové řepy. Mezi výhody synteticky vyráběných bioplastů můžeme zahrnout značný potenciál pro vytvoření udržitelného průmyslu a zlepšení potřebných vlastností jako například trvanlivost, flexibilita, pevnost v tahu apod. (Vilarinho et al. 2018).

Polymery kyseliny mléčné lze vyrábět na míru pro určité účely, a to způsobem vstřikování do forem, lisováním, vyfukováním, formováním filmů či vytvářením vláken. Tyto způsoby výroby tak umožňují využití pro nejrůznější obalové materiály v potravinářství. Technologické a fyzikální vlastnosti PLA lze přizpůsobit pro individuální použití v různých odvětvích.

K degradaci PLA dochází v několika stupňovém procesu, kdy jsou hydrolyzovány vysokomolekulární polyesterové řetězce na menší molekuly a následně dochází k rozpadu plastu (Cherif Lahimer et al. 2017).



Obrázek č. 1 Kyselina mléčná a polymer kyseliny mléčné

3.6.1.7 Nanocelulóza

Ve snaze o zlepšování jak životního prostředí, tak i lidského zdraví, dochází k rozvoji, inovacím a alternativám již známých typů obalů. Příkladem jsou již zmiňované bioplasty. I přesto, že mají bioplasty spoustu kladných vlastností, je nutné zmínit omezení při použití kvůli jejich horším mechanickým, tepelným a bariérovým vlastnostem oproti jiným obalovým materiálům. Jedním ze způsobů, jak překonávat taková omezení bioplastů je začlenění nanokompozitů a nanočástic do této skupiny látek, u nichž byly prokázány lepší jak mechanické, tak i bariérové vlastnosti.

Za nanokompozity považujeme takové materiály, jejichž složení tvoří dvě či více různých složek, kdy alespoň jedna ze složek vyskytující se v tomto materiálu odpovídá velikosti od jednotek nanometrů až do 100 nm.

Použití celulózových nanovláken do biopolymerů může kromě zmiňovaných mechanických a bariérových vlastností plnit další zajímavé funkce jako antimikrobiální složka nebo biosenzor. Očekává se, že celulózové materiály budou levnější ve srovnání s jinými nanomateriály a budou vykazovat působivý poměr síly k hmotnosti a příznivý vliv a přínos pro životní prostředí. Díky jejich recyklovatelnosti, biologické rozložitelnosti, dostupnosti zdrojů jako řasy, rostliny a další organismy mají tendenci tato očekávání splnit (Vilarinho et al. 2018).

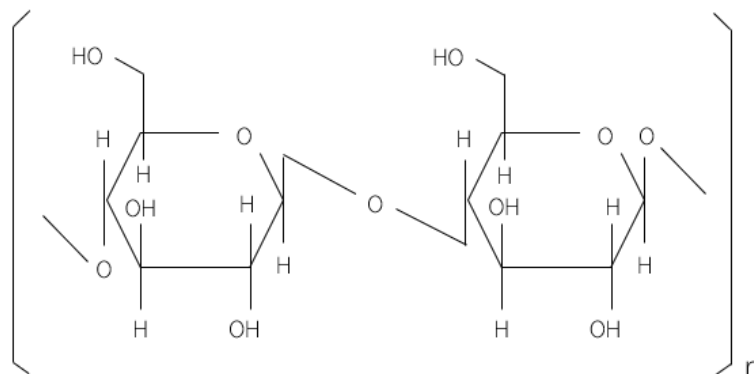
Celulóza patří mezi nejrozšířenější biopolymer v přírodě a jedná se o biologicky rozložitelný sacharid (Peelman et al. 2013). Skládá se z jednotek β -D-glukopyranózy spojených glykosidickou vazbou a volných hydroxylových skupin (-OH) viz obrázek č. 2. V posledních letech byla přitahována pozornost k celulóze jakož to jedné z nejvýznamnějších obnovitelných a ekologických surovin. Biomasa, která je produkována fotosyntetickými organismy, jako jsou řasy, rostliny, některé kmeny bakterií, je tvořena právě celulózou, a proto ji považujeme za nejhojnější biopolymer na Zemi. Na základě již zmíněných faktorů dochází ke zvýšení používání materiálů na bázi celulózy (Vilarinho et al. 2018).

Lze tvrdit, že fosilní zdroje považujeme za biologicky vytvořené a obnovitelné, ovšem doba, během které dochází k přeměně biomasy na ropu, jež je surovinou pro výrobu plastů, odpovídá více než milionu let. Míra spotřeby je mnohem vyšší než míra doplňování surovin, a proto nastává v uhlíkovém cyklu nerovnováha. Oproti tomu polymery na bázi biomasy vytvořené z materiálů jako celulóza mohou být po výrobě následně rozloženy zpět na biomasu v podobných časových intervalech (Smith 1993).

Hlavní a nejdůležitější surovinou pro zpracování celulózy je dřevná buničina. Rostlinné materiály jsou tvořeny třemi hlavními typy biopolymerů: celulózou, ligninem a hemicelulózou. Struktura dřeva je mimořádně složitá v důsledku přítomnosti ligninu. Vzniká trojrozměrná

polymerní síť, která váže celulózu a hemicelulózu. Ze vzniklé struktury lze izolovat celulózu chemickým rozvlákněním. Celulóza tvoří 40–50 % hmotnosti dřeva, polovinu ve formě nanokrystalů a polovinu ve formě amorfní.

Celulózu je možné chemicky modifikovat za vzniku různých derivátů. Množství hydroxylových skupin ve struktuře celulózy dává vzniku vodíkových můstků. Vodíkové vazby představují v celulóze hlavní faktor, dle kterého jsou určovány fyzikální a chemické vlastnosti. Deriváty celulózy byly speciálně navrženy a vytvořeny tak, aby splňovaly požadované vlastnosti a bylo možné je aplikovat například v odvětví potravinářství (Vilarinho et al. 2018).



Obrázek č. 2 Celulóza

3.6.2 Kontaminanty z polymerních obalů

V důsledku migrace dochází k přechodu látek z obalu do potravin, a to buď přirozeně bez zásahu nebo v důsledku nedodržení norem.

Světová produkce polymerů ve světě v roce 2015 přesáhla 380 milionů metrických tun a jak již bylo zmíněno, zhruba 80 % plastů je využito pro potravinářské účely.

Stejně tak jako roste spotřeba plastových obalových materiálů, roste i hrozba jejich dopadů na lidské zdraví. Vznikají opatření, která pomohou předejít jak migraci látek v rámci obalu a potravin, tak i zabránění nadměrnému hromadění cizorodých látek v lidském těle i životním prostředí.

Byly navrženy studie zaměřené na sledování množství aditivních látek v polymerech jako jsou například ftaláty, sloužící jako změkčovadla. Aby bylo dosaženo komplexního přehledu škodlivých látek, je nutné brát v potaz i takové látky, které se v polymerních obalech vyskytují přirozeně, nebo se bez nich výrobní proces neobejde (Barthélémy et al. 2014)

Autoři Akhbarizadeh et al. (2020) publikovali článek v *Journals of Hazardous Materials*, který uvádí aktuální studii kontaminantů v balené pitné vodě ve dvou typech materiálů, a to ve skle a plastu. Balená voda se vyznačuje úpravou vody, minerálním složením, zdroji a požadavky na jakost. Látky vyskytující se v balené vodě z různých zemí byly mikroplasty, přípravky pro osobní péči, bisfenol A, ftaláty, akrylfenoly, perfluorakryly, polyfluorakryly, farmaceutika a další. Přítomná farmaceutika jsou biologicky aktivní látky obsahující složité chemické struktury a mající tendenci hromadit se v organismu. Jejich přítomnost v balené vodě tak může být zdraví ohrožující (Wilkinson et al. 2017). Nezbytné je také znát povahu

přítomných látek jako bisfenolů a ftalátů. Tyto látky nejsou k obalům chemicky vázány, a proto mohou snadno migrovat nebo se vypařovat přímo do potravin (Salazar-Beltrán et al. 2018). Nutné je také zdůraznit, že typ láhve hraje roli v úrovni a míře kontaminace. Voda obsažená v plastových lahvích s plastovými uzávěry se vyznačovala značně vyšším znečištěním než voda ve skle (Akhbarizadeh et al. 2020).

Neméně významné jsou mikroplasty. Jejich přítomnost v přírodním prostředí je známá od počátku sedmdesátých let. Přítomnost mikroplastů v potravinách byla však ohlášena na začátku roku 2010 (Barboza et al. 2018). Mikroplasty byly pozorovány kromě balené vody i v mušlích pěstovaných pro lidskou spotřebu, v mořských plodech a baleném masu. V posledním případě, balené maso obsahovalo množství částic polystyrenu, ze kterého byly misky pro jeho skladování vyrobeny. Byla prokázána přítomnost mikroplastů jak uvnitř obalu, tak i na jeho povrchu a přímo na svrchní vrstvě masa. Takové mikročástice je obtížné odstranit pouze oplachováním (Kedzierski et al. 2020).

Kontaminanty z obalů mohou být detekovány buď v obalu nebo přímo v dané potravine. Následující tabulka č. 3 znázorňuje některé kontaminanty polymerních obalů vyskytující se v konkrétní potravine a/nebo obalu (Sanchis et al. 2017).

Tabulka č. 3 Přítomnost kontaminantů v potravinách a obalových materiálech (Sanchis et al. 2017).

Kontaminanty	Potravinové výrobky	Obalové materiály
Dimethylftalát	Olivový olej, tučná jídla, víno, sójové mléko, zelenina	Plasty
Kyselina perfluorpentanová	Popcorn	Plastové sáčky
Anilin		Plastové kuchyňské náčiní z nylonu
Benzidín		Plastové kuchyňské náčiní z nylonu
Diethylftalát	Kravné mléko, olivový olej, pečené maso	Plasty
Nonylfenol		PET

3.6.2.1 Estery kyseliny ftalové

Estery kyseliny ftalové souhrnně nazývané ftaláty jsou důrazně zkoumanými látkami, jelikož se využívají v mnoha průmyslových aplikacích a ve spotřebitelských produktech (De Toni et al. 2017). Kromě toho se vyskytují také na zemském povrchu a byly detekovány i v ovzduší a následně označeny jako globálně znečišťující látky (Bornehag et al. 2004).

Polyvinylchloridy (PVC), materiály využívané mimo jiné pro balení potravin, se vyrábí v různých variantách pružnosti. Na trhu existují jak tuhé PVC (70% podíl trhu), tak i pružné a

měkké varianty (30% podíl na trhu). Do těchto materiálů jsou za účelem vytvoření požadovaných vlastností přidávána změkčovadla. Nejčastějšími z nich jsou právě ftaláty, zejména di(2-ethylhexyl) ftalát, zkráceně DEHP, přičemž tyto látky mohou tvořit 40–50 % hmotnosti plastového výrobku. Ftaláty představují až 80 % celosvětové výroby změkčovadel, přičemž DEHP tvoří více než 50 % veškeré produkce ftalátů. DEHP je považován za nejvhodnější a nejvyužívanější aditivum, používané pro plastifikaci a lepší zpracovatelnost PVC. Nevýhodou této sloučeniny je její uvolňování při kontaktu s tělními tekutinami a tkáněmi. DHEP je spojen se vznikem závažných onemocnění včetně bronchopulmonální dysplazie, cholestázy a hluboké žilní trombózy (Chiellini et al. 2013).

Ftaláty, jako skupina multifunkčních chemikálií, jsou využívány nejen jako změkčovadla PVC plastů, ale i ve formě přídatných látek v některých farmaceutických výrobcích a produktech pro osobní péči a spotřebitelských materiálech, včetně potravinových (Johns et al. 2015). Jsou přítomny také ve zdravotnických prostředcích, kdy dlouhodobé vystavení těmto látkám vyvolává zdravotní rizika (Chiellini et al. 2013). Expozici ftalátu lze popisovat v životním prostředí i v lidském organismu, přičemž hlavním zdrojem styku lidí s ftaláty je požití (De Toni et al. 2017). Ftaláty jsou všudypřítomné látky a lidé jim jsou tak vystaveni kromě požití také inhalací a kontaktem s kůží.

Předmětem zájmu se ftaláty staly kvůli jejich účinkům na zdraví jako reprodukční toxicita, vývojová toxicita aj. (Husøy et al. 2019). Ftaláty spolu s bisfenolem A prokazují roli ve vzniku obezity a poruch metabolismu glukózy (De Toni et al. 2017). Tyto sloučeniny jsou považovány za endokrinní disruptory a vykazují estrogenní aktivitu (Provencher et al. 2020).

3.6.2.2 Lepidlo

Plastové obaly sloužící k uchovávání biologických materiálů a některých druhů potravin jsou vyráběny z vícevrstvých materiálů. Účelem vícevrstvých materiálů je vytvoření vysokých bariér plynů, čímž je sníženo riziko nástupu oxidačních procesů a kontaminace. Takovéto materiály mohou obsahovat kombinaci několika druhů plastů, slepených pomocí lepidel.

Přesto, že jednotlivé materiály použité pro potravinářské účely a další oblasti jsou dostatečně regulovány a zkoumány, u lepidel tomu tak není. Dle Nařízení Komise (EU) č. 10/2011 ze dne 14. ledna 2011 o plastových materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami sice existují obecné zásady bezpečnosti ohledně látek přítomných v obalech jako lepidla, která mohou ohrozit zdraví spotřebitelů, ovšem kontroly nejsou dostatečně přísné.

Byly získány informace o značném znehodnocení biologického materiálu, jenž byl uchováván právě v plastových vícevrstevných sáčcích. Analýza plastových sáčků byla provedena pomocí kapalinové extrakce a plynové chromatografie. Pomocí těchto metod bylo umožněno identifikovat těkavé a částečně těkavé sloučeniny s vysokou citlivostí. Hmotnostní a strukturní vzorce odpovídaly strukturám ftalátu a laktonu.

Lakton byl následně zkoumán se slepými vzorky u dalších obalů určených pro styk s potravinami a ve všech případech byl potvrzen jeho výskyt u vícevrstevných obalů s lepidlem, které je jeho původcem. Nejsou k dispozici přesné studie o toxicitě přítomné sloučeniny, ale na základě její struktury je klasifikována do III. třídy toxicity. V souladu s evropským nařízením

10/2011/EU musí výrobce obalových materiálů splňovat limit přítomnosti látek toho typu, a to přesně 9 mg/kg potravin.

Migrační procesy jsou závislé na mnoha faktorech, jako je teplota, doba kontaktu nebo prvotní množství a složení sloučenin v plastovém materiálu a použitém lepidle. Studie migrací zdůrazňují důležitost sledování obalových materiálů, které mohou v různé míře ohrozit spotřebitele. Při posuzování bezpečnosti a složení vícevrstvých plastů je nutné brát v úvahu i látky, které nebyly záměrně přidány do materiálu, ale jsou obsaženy v lepidle (Nerin et al. 2014).

3.6.2.3 Polychlorované bifenyly

Polychlorované bifenyly, zkráceně PCB patří mezi syntetické chemické sloučeniny, které tvoří skupinu 209 chemicky příbuzných látek tzv. kongenerů (Bandow et al. 2020). Zatímco v komerčních výrobcích bylo nalezeno a identifikováno zhruba 130 kongenerů, nejčastěji využívané směsi PCB obsahují pouze 50–90 různých kongenerů. Jednotlivé kongenery se liší polohou a počtem přítomných atomů chlóru, které se váží na molekulu bifenyly. Z historického hlediska byly PCB poprvé syntetizovány v roce 1867.

Na trhu se směsi PCB prodávají pod komerčními názvy či kódy. Společnost Monsanto Chemical Company prodává směsi označené číslovkami, například 1221, 1232, 1254 aj. Příkladem je Aroclor 1254 apod. V tomto případě první dvojčíslí „12“ značí, že se jedná o bifenyl. Poslední dvě číslice procentuálně vyjadřují obsah chlóru.

Z hlediska fyzikálně–chemických vlastností jsou polychlorované bifenyly tepelně stabilní, odolné vůči oxidaci, zásadám i kyselinám. Při pokojové teplotě je těkavost nízká, ovšem už při malém zvýšení teploty má tendenci dramaticky stoupat. Díky svému dostatečně vysokému bodu vzplanutí, který se pohybuje v rozmezí 170–380 °C jsou prakticky ohnivzdorné a jejich výpary nejsou výbušné. Neméně důležitou výhodou je odolnost vůči tepelné degradaci. Jednotlivé složky PCB jsou bezbarvé krystaly, avšak komerční směsi nabízejí barevnou škálu od čiré barvy, přes světle žlutou až tmavě hnědou. Vyskytují se jako oleje, viskózní kapaliny i lepivé pryskyřice. Ve vodě jsou nerozpustné, naopak velmi dobře rozpustné jsou v olejích, nepolárních organických rozpouštědlech a biologických lipidech. Fyzikální a chemické vlastnosti PCB umožňují řadu uplatnění, např.:

- 1) Činidla pro přenos tepla
- 2) Plastifikátory v barvách
- 3) Retardéry hoření
- 4) Přípravky, sloužící jako doplňky pesticidů
- 5) Lepidla
- 6) Povlaky
- 7) Oleje a hydraulická maziva
- 8) Inkousty
- 9) Tmely
- 10) Bezuhlíkový kopírovací papír

Výše zmiňované vlastnosti učinily PCB velmi využívanou a užitečnou komoditou v průmyslu. V důsledku toho však začalo docházet ke kontaminacím nejrůznějších složek ekosystému, jako například ovzduší a voda. Vodní proudy a vítr způsobují rozptylování PCB i do částí světa, kde tato látka ani nebyla použita. Polychlorované bifenyly migrují mezi složkami životního prostředí a jejich role a výskyt závisí na sorpci a retenci, které jsou zásadním způsobem ovlivněny počtem atomů chlóru (D'Mello 2003). Toxicita se tedy významně liší v závislosti na druhu a na různých kongenerech stejného druhu. Právě počet, ale i poloha atomů chlóru toxicitu určují (Hulin et al. 2020). V roce 1996 bylo zaznamenáno, že bifenyly, které obsahují jeden atom chlóru nebo neobsahují žádný, zůstávají v atmosféře. Bifenyly s přítomnými až čtyřmi atomy chlóru mají tendenci migrovat. Osm až devět atomů chlóru na bifenyly způsobuje stav, kdy PCB zůstávají v blízkosti zdroje kontaminace. S postupem času byly stabilnější kongenery, a to takové, u kterých pozorujeme vyšší stupeň chlorace, nalezeny i v potravním řetězci (D'Mello 2003).

Existuje zjednodušený systém tří obecných skupin, které rozdělují obyvatelstvo v závislosti na jeho vystavení PCB. První skupina zahrnuje osoby, které byly PCB vystaveny v průmyslovém prostředí. Hlavními kontaktními cestami v tomto případě byla dermální absorpce a inhalace. Druhé seskupení zahrnuje občany Japonska a Tchaj-wanu, kteří se dostali do styku s PCB prostřednictvím stravy. V Japonsku byl obyvateli neúmyslně požit kontaminovaný rýžový olej. PCB, které byly identifikovány v rýžovém oleji, sloužily jako kapaliny pro přenos tepla. Japonská nehoda v roce 1968 byla známá jako incident Yusho neboli „olejová nemoc“ a postihla zhruba 1 800 obyvatel. Incident Yu-Cheng neboli „čínská nemoc“ na Tchaj-wanu v roce 1979 postihl až 2 000 lidí. Zmiňovaná tekutina nazývaná Kanechlor 400 pro přenos tepla obsahovala 48 % chlóru. Zahřívání této látky za sníženého tlaku má však za následek přeměnu některých kongenerů na polychlorované dibenzofurany (PCDF) a polychlorované quarterní fenoly (PCQ). Tyto dvě látky jsou obecně považovány za toxicitější než PCB. Třetí skupina zahrnuje zbytek světové populace, která byla různými způsoby vystavena kontaktu s PCB, a to skrze stravu, pitnou vodu či inhalaci. Tato skupina je velmi obsáhlá a zahrnuje například rekreační rybáře, kteří konzumují množství ryb kontaminovaných PCB, domorodé populace, nebo osoby žijící v blízkosti úložišť odpadů (D'Mello 2003).

PCB lze charakterizovat jako skupinu vysoce lipofilních chemicky a tepelně stabilních kontaminantů. Migrují tedy především do potravin s vysokým obsahem lipidů. Jedním z hlavních zdrojů PCB u lidí jsou potraviny, především maso, ryby a mléčné výrobky. K uvolňování těchto sloučenin do potravin dochází prostřednictvím jejich obalů. Cestou migrace PCB je kontakt potravin s materiálem vyznačujícím se dlouhou životností, který tyto látky obsahuje a uvolňuje. Kontaminanty PCB v materiálech určených pro potravinářské obaly jsou rozmanité. Vyskytují se jako změkčovadla, lepidla, přísady do barev, tiskařských pigmentů či tmelů a jako další složky obalových materiálů. PCB v obalových materiálech potravin, ať už v přímém či nepřímém kontaktu s potravinou mohou mít tendenci k migraci a tím ohrožují zdraví lidí (Li et al. 2012).

Rozlišení zdravotních účinků PCB na zdraví člověka od účinků jiných environmentálně antropogenních chemických látek není vždy snadné (D'Mello 2003). Nicméně organochlorové sloučeniny jsou obecně považovány za endokrinní disruptory negativně ovlivňující endokrinní systém organismu (Ferrante et al. 2017). Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny označila PCB pro člověka karcinogenními (Bandow et al. 2020). PCB vykazují toxické a mutagenní

účinky tak, že interferují s hormony v těle. Mají negativní vliv na estrogenovou aktivitu, což může vést k rozvoji rakoviny prsu a případně i dělohy či děložního čípku. Inhibice estradiolu má za následek vážné vývojové potíže u mužů i žen, včetně sexuálního, duševního i kosterního vývoje (Li et al. 2012).

Některé typy PCB nemusí vykazovat vysokou toxicitu, ale přesto dochází k jejich hromadění se, a to především v tukových tkáních a může tak docházet k přestupu PCB do organismu dítěte například při kojení (Bandow et al. 2020). Faktory, které mají vliv na akumulaci PCB jsou například věk, počet těhotenství a jeho průběh, místo pobytu aj. (D'Mello 2003).

Přítomnost PCB v organismu ovlivňuje jeho stav různými způsoby v závislosti na daném kongeneru. Pro srovnání účinků PCB jsou uvedeny následující dva kongenery, a to PCB 138 a PCB 153. Při analýze jejich expozic v těle byla zjištěna podobnost způsobených nemocí a poruch. Patří mezi ně kromě výše zmiňovaných i genetické poruchy, respirační a kardiovaskulární onemocnění, neurologické choroby a onemocnění reprodukčního systému. Rozdíly v působení těchto sloučenin byly pozorovány u renálních a urologických onemocnění a oftalmického onemocnění, které jsou způsobeny pouze vystavením organismu PCB 138, nikoli PCB 153. Vliv na zdraví lidí mají tedy jednotlivé kongenery PCB různých materiálů odlišné (Ghosh et al. 2011).

3.6.2.4 Epoxidovaný sójový olej

Epoxidovaný sójový olej neboli ESBO je přísada využívaná v potravinářském průmyslu jako součást obalů. Pro plastové polymery, jako je například PVC, plní funkci jak změkčovadla, tak i stabilizátoru. Je využíván zejména v částech těsnění a uzávěrů pro kovová víčka skleněných nádob a lahví určených pro potraviny. Vytváří vzduchotěsný uzávěr, který je nezbytnou ochranou proti kontaminaci mikroorganismy. Právě kovová víčka potažená PVC a plastifikované lepicí PVC fólie představují hlavní potravinářské obaly, které jsou zdrojem ESBO. Příkladem je rajčatová omáčka ve skleněné nádobě s kovovým víčkem a maso balené v PVC fólii.

Evropský úřad pro bezpečnost potravin udává, že se ESBO vyskytuje ve skleněných nádobách určených pro potraviny kojenců a tvoří až 40 % hmotnosti těsnění. Na základě vysokých hladin v těsnění vyskytujících se ve styku s potravinami existuje možnost migrace do potravin, a to především do potravin s vysokým obsahem lipidů. Přesto, že ESBO migruje z obalových materiálů do potravin a je řazen mezi kontaminanty, není karcinogenní ani genotoxický (Duffy & Gibney 2007).

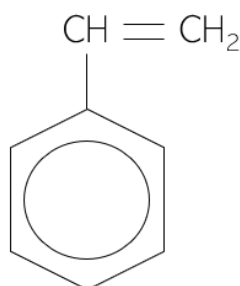
3.6.2.5 Monomer styrenu

Styren je monomer (zobrazený na obrázku č. 3) používaný pro výrobu polystyrenových plastů. K procesu tvorby polystyrenu dochází za určitých podmínek, konkrétně při teplotě 200 °C a zvýšeného tlaku. Polystyren je poté využíván při balení masa, mléčných výrobků, vajec a potravin či jídel „s sebou“. V tabulce č. 4 jsou uvedeny příklady materiálů a

polystyrenových obalů, u kterých byla přítomnost styrenového monomeru prokázána (Duffy & Gibney 2007).

Polystyren je významnou surovinou pro výrobu materiálů určených pro styk s potravinami. V roce 2012 bylo až 50 % spotřeby polystyrenu v domácnostech spojeno s obalovými materiály potravin. Vzhledem k tomu, že byl monomer styrenu označen jako pravděpodobný lidský karcinogen, byly provedeny studie koncentrací monomerů a oligomerů v materiálech přicházejících do styku s potravinami. Koncentrace monomerů styrenu se při studiích pohybovala v rozmezí od 9,3-3100 mg/kg. Tyto koncentrace se nacházely pod hranicí povolené dávky. Úřad pro kontrolu potravin a léčiv reguluje množství polystyrenu v obalech či předmětech určených pro styk s potravinami. Pro PS obaly určené pro potraviny s nízkým obsahem lipidů je povolen obsah styrenu do 1 % hmotnosti (10 000 mg/kg) a do 0,5 % hmotnosti (5 000 mg/kg) u obalů pro tučné potraviny (Genualdi et al. 2014).

Během procesu výroby PS může být monomer styrenu uzavřený v polystyrenovém materiálu a následně může migrovat z obalu do potraviny. Monomer styrenu se do lidského organismu dostává taktéž prostřednictvím potravy nebo inhalací. Přesto, že se přirozeně v malých dávkách vyskytuje v potravinách jako kávová zrna, skořice nebo hovězí maso je považován za toxický. Ačkoli je po inhalaci nebo požití akutní toxicita nízká, považuje se vdechování styrenu za nebezpečné s důsledky podráždění pokožky a očí. Při vysoké expozici styrenu dochází k závratím, bolestem hlavy, ospalosti a oslabení. Nezbytné je zmínit že již v roce 1987 byl označen za potencionálně karcinogenní látku. Taktéž jsou známy negativní účinky na centrální nervový systém, které byly pozorovány u pracovníků dlouhodobě vystavených vdechování styrenu (Duffy & Gibney 2007).



Obrázek č. 3 Styren

Tabulka č. 4 Koncentrace monomeru styrenu v materiálech určených pro styk s potravinami (Genualdi et al. 2014).

Materiál	Koncentrace styrenu (mg/kg)
Polystyrenový pohár	33,73
Jogurtový pohár	485,5
Obal sušenek	269,3
Obal čokoládových bonbónů	425,5
Bílé jednorázové nádoby	427,7
Kleště na salát	735,9
Červený jednorázový pohár	361,8

3.6.2.6 Recyklovaný PET a potraviny

Přesto, že je snaha o zvýšení míry recyklace plastových materiálů, je nutné dbát na rozlišování recyklovaných PET materiálů, které je možné použít pro styk s potravinami, a které nikoliv. Dle nařízení č. 282/2008 ze dne 27. března 2008 o recyklovaných plastech určených pro styk s potravinami by měly být recyklované plasty získány pouze metodami schválenými Evropskou komisí na základě bezpečnostního posouzení, které provádí EFSA (Evropský úřad pro bezpečnost potravin) (Evropská komise 2008).

Při mechanické recyklaci po konzumaci dochází ke třídění, omývání, rozemletí a dekontaminaci před samotným procesem recyklace. Výchozí výrobek může obsahovat buď 100 % recyklovaného obsahu, nebo může být tvořen směsí 50 % recyklovaného obsahu a 50 % čistého plastu, kdy se obě možnosti zpracovávají například na PET lahve a přichází do kontaktu s potravinami. Z globálního hlediska se PET považuje za nejčastěji recyklovaný polymer určený pro kontakt s potravinami.

Rizika, vyplývající z použití recyklovaného PET materiálu závisí na možné migraci kontaminantů do potravin právě po recyklaci. Mikrobiologická kontaminace může být v tomto případě snížena v důsledku působení vysokých teplot. Kontaminanty, které je možné v této hmotě nalézt, jsou následující:

- 1) kontaminanty pocházející z nevhodného použití spotřebitelem, kdy byly PET obaly využívány pro uskladňování chemikálií,
- 2) nepotravinářská aditiva,
- 3) kontaminanty z obalů, které byly použity pro jiné než potravinářské účely (kosmetika, hygienické prostředky),
- 4) chemikálie z materiálů jiných než PET, jako například polyvinylchlorid, polyamid, polyolefiny apod., jejichž přítomnost může být způsobena nevhodným tříděním,
- 5) degradační produkty z PET materiálů, kdy během různých kroků recyklace za působení vysokých teplot může dojít k roztržení polymerního řetězce za vzniku menších molekul (oligomerů), které následně mohou reagovat s dalšími přísadami a přeměnit se na nové sloučeniny,

6) složky potravin jako oleje, tuky a aromatické látky, které byly uskladňovány v PET obalech.

Vstupním materiálem jsou čisté a suché PET vložky z potravinářských obalů, které mohou obsahovat maximálně 5 % PET z nepotravinářských spotřebitelských aplikací. Pro dodržení Nařízení ES 282/2008 (ES 2008), aby byly plasty používány a vyráběny v souladu s právními předpisy Společenství o plastových materiálech a předmětech pro styk s potravinami, byly provedeny studie pro určení prahové hodnoty toxikologického znepokojení.

Jedná se o množství látek, které může migrovat z obalu do potravin, aniž by ohrozilo zdraví spotřebitele. Mezní hodnota pro člověka odpovídá 0,15 µg/den pro látky, vyvolávající obavy z potencionální genotoxicity. Pod touto hodnotou je pravděpodobnost nepříznivých účinků na lidský organismus zanedbatelná. Vědecký výbor EFSA následně stanovil konkrétnější vyjádření hodnoty v závislosti na tělesné hmotnosti, tj. 0,0025 µg/kg tělesné hmotnosti/den.

Na základě dalších výzkumů pro EFSA byly zjištěny hodnoty u určitých skupin přítomných látek s vysokou mírou pravděpodobnosti výskytu karcinogenního rizika i pod uvedenou hranicí. Jedná se vysoce účinné genotoxické karcinogeny zahrnující látky jako aflatoxiny, nitroso–sloučeniny a azoxy–sloučeniny (Barthélémy et al. 2014).

3.6.2.7 Bisfenol A

Bisfenol A, zkráceně BPA je příkladem kontaminantů, které mají prokázané účinky na zdraví organismu. Tato látka se používá jako monomer pro výrobu polykarbonátových plastů, a dalších materiálů jako fenolové epoxidované pryskyřice (Nu & Lucci 2013). Lze jej považovat za endokrinní disruptor neboli hormonálně aktivní látku narušující funkci endokrinního systému. Dále způsobuje proliferaci buněk lidské rakoviny prostaty a může blokovat syntézu testosteronu. Použití BPA v materiálech přicházejících do styku s potravinami je Evropskou unií povoleno v množství 0,6 mg/kg materiálu. Pro výrobu polykarbonátových kojeneckých lahví je však použití BPA Evropskou komisí zakázáno (Sanchis et al. 2017).

3.6.3 Papír a lepenka

Papír je materiálem, hojně využívaným pro účely balení a přepravy v nejrůznějších odvětvích. Výhodou tohoto materiálu je dobrá dostupnost surovin (Gellerstedt 2009). Mezi výhody používání papíru a kartonů pro obalové účely patří kromě dobré dostupnosti surovin pro výrobu také obnovitelnost a přirozená degradace (Xue et al. 2019).

Lepenka se vyznačuje větší tloušťkou, a právě díky tomu je běžně využívaná pro přepravní obaly. Jsou z ní vyrobeny krabice, kartony, ale také slouží jako obal pro rychlá občerstvení, například jako krabice na pizzu (Sanchis et al. 2017). Obyčejný papír nemá dobré tepelné a těsnicí vlastnosti. V důsledku toho dochází ke vzniku inovací za účelem vytvoření co možná nejvhodnějšího obalu pro potravinářské účely. Lze kombinovat papírové obaly s plastovými či použít impregnace. Díky tomu je na trhu bohatá škála typů papírových materiálů odlišujících se od sebe svými vlastnostmi, udržitelností a řadou dalších faktorů. Pro obalovou

techniku je nutné znát významné vlastnosti jako pevnost, nepromastitelnost, odolnost vůči vodě a vlhkosti. Zmíněné faktory jsou dány surovinou, ale zároveň je možné tyto vlastnosti korigovat dle potřeby při výrobním procesu. Mezi často využívané procesy patří bělení, potisk, impregnace a aplikace polymerních voděodolných fólií. V kapitole 3.6.4 budou zmíněna i rizika, která tyto úpravy přináší.

Surovinou pro výrobu papíru, lepenky a podobných výrobků je buničina. Získává se z rostlinných zdrojů, a proto patří mezi obnovitelné zdroje. Zhruba 97 % světové produkce papíru je vytvořeno z buničiny a cca 85 % použité buničiny pochází ze smrků a borovic, tedy jehličnatých stromů dominujících v lesích mírného pásu (Smith 1993).

Dřevitá část stromů je tvořena asi z 50 % celulóзовými vlákny, z 30 % ligninem, 16 % zastupují další sacharidy a zbylá 4 % tvoří další skupiny látek jako proteiny, pryskyřice aj.

Vlastnosti získaných vláken, jako pevnost, tuhost, míra bobtnání a další jsou závislé na morfologii a struktuře buněčné stěny. Tyto vlastnosti nám udávají informaci potřebnou pro výrobu konkrétního papírového obalu pro potravinářské účely. Složkami ovlivňujícími výchozí materiál jsou celulóza, hemicelulóza a lignin (Gellerstedt 2009). Papírenské výrobky lze na základě plošné hustoty rozdělit do 3 následující skupin (Podsedník 2011):

- 1) Papír – do 150 g.m^{-2}
- 2) Karton – $150\text{--}250 \text{ g.m}^{-2}$
- 3) Lepenka – nad 250 g.m^{-2}

3.6.4 Kontaminanty z papírových obalů

Vzhledem k jistým vlastnostem papíru jako nízké odolnosti vůči vodě, vlhkosti, tepelným změnám jsou nezbytné zásahy do výroby obalů za použití inkoustů, impregnačních a dalších aditiv. Přesto, že jsou tyto úpravy prováděny za účelem dosažení odolného vyhovujícího materiálu, dochází k následné migraci kontaminantů do potravin. Riziko kontaminace je výrazně vyšší dojde-li ke kontaktu recyklovaného papíru a potravin (Barone 2015). Mezi důležité faktory ovlivňující migraci cizorodých látek z papírových obalů patří teplota prostředí a doba trvání kontaktu obalu s potravinou (Xue et al. 2019).

Na základě stanovených norem EU jsou nejsledovanější a nejdůležitější zkoumané kontaminanty z papírových a lepenkových materiálů, určených pro styk s potravinami následující:

- 1) PCP (2,3,4,5,6-pentachlorfenol)
- 2) Ftaláty
 - a. DPB (dibutylftalát)
 - b. DEHP (di(2-ethylhexyl) ftalát)
- 3) Těkavé organické kyseliny a polotěkavé organické sloučeniny
- 4) Polycyklické aromatické uhlovodíky
- 5) Formaldehyd
- 6) Glyoxal
- 7) Polychlorované bifenyly
- 8) Fluorescenční bělidla

- 9) Antimikrobiální látky
- 10) Fotoiniciátory, například benzofenon
- 11) Bisfenol A
- 12) Dioxiny
- 13) Nasycené uhlovodíky pocházející z minerálních olejů
- 14) Aromatické uhlovodíky pocházející z minerálních olejů
- 15) Těžké kovy jako olovo, kadmium a rtuť
- 16) Mikrobiologické látky, například plísně a kvasinky (Barone 2015).

Jak bylo řečeno v kapitole „Kontaminanty z plastových obalů“, BPA je látkou negativně ovlivňující endokrinní systém. Kromě polykarbonátových materiálů byl detekován i v recyklovaném papíru a lepence používaných pro balení potravin (papírové sáčky, karton na pizzu). Dále byl nalezen v kuchyňských utěrkách vyrobených z recyklovaného papíru. Je nezbytné zajistit bezpečnost papíru obsahujícího recyklovanou buničinu, aby mohl být využíván v potravinářství (Sanchis et al. 2017).

3.6.4.1 Recyklovaný papír a lepenka

Ve snaze o minimalizaci množství celosvětového odpadu se uplatňuje recyklace materiálů. Recyklovaná vlákna jsou využívána v řadě aplikací papírových obalových materiálů. Ať už se jedná o částečně či zcela recyklovaná vlákna, používají se pro balení potravin v mnoha evropských zemích. Stejně jako ostatní obalové materiály musí i recyklovaný papír a lepenka splňovat kritéria pro bezpečnost a zdravotní nezávadnost.

Recyklovaný papír je využíván především pro uchovávání suchých potravin jako obiloviny, cukr, sůl, těstoviny apod.

Při recyklaci papíru je využíváno velkého množství chemických látek například bělidlo, inkousty, čínidla aj. Nejčastějšími kontaminanty pocházející z recyklovaného papíru jsou bisfenol A (BPA), di (2-ethylhexyl) ftalát (DEHP) a nonylfenol ethoxyláty. Stejně jako výše popsaný BPA a DEHP mají i nonylfenoly dopad na zdraví organismu a negativně ovlivňují endokrinní systém. Příkladem recyklovaného papírového obalu, ve kterém byly zjištěny vysoké hodnoty kontaminantů, konkrétně BPA je box na zmraženou pizzu. Koncentrace BPA v tomto boxu odpovídala $26 \pm 4,50$ mg/kg, zatímco koncentrace BPA v krabici na pizzu, která je řízena zvláštními právními předpisy a není vyrobena z recyklovaných vláken, představuje výrazně nižší hodnoty, a to $0,4 \pm 0,03$ mg/kg. V důsledku toho roste poptávka veřejnosti, aby bylo zabráněno používání recyklovaného papíru pro potravinářské účely (Suciu et al. 2013).

3.6.5 Sklo

Sklo je definováno jako amorfni anorganický materiál. I přesto, že je často označováno jako syntetický materiál, vzniká přirozeným procesem v zemské kůře (Smith 1993).

Sklo patří mezi oblíbené obalové materiály díky jeho chemické odolnosti. Faktory, které ovlivňují jeho vlastnosti, jsou chemické složení, teplota, pH čínidla, speciální ošetření, žíhání a podmínky skladování. Tyto vlivy však působí na různé typy skla v různých mírách. Sklo je

velmi variabilní, avšak rozsah aplikací vhodný pro komerční použití je značně užší (Katan 1996).

Velkou výhodou jsou jeho vlastnosti jako průhlednost, pevnost, vysoká chemická odolnost a možnost sterilace. Mezi pozitivní vlastnosti řadíme také jeho inertní povahu vůči chemickým látkám, která tak umožňuje jeho použití v potravinářství.

Riziko reakce potravin s látkami obsaženými ve skle je tedy ve srovnání s jinými obalovými materiály nižší. Tím i riziko průchodu možných nežádoucích cizorodých látek do potravin, ve které by mohly snížit její kvalitu nebo dokonce ohrozit zdraví člověka (Paine & Paine 1992).

Sklo je specifický materiál, který umožňuje jako obalový materiál širokou škálu použití díky tomu, že může být roztaven a znovu přetvořen. Již mnoho let se uspokojivě využívá pro balení potravin a nápojů. Skleněná matrice je považována za jeden z nejlepších a nejkvalitnějších typů obalů pro potravinářské účely. Primární zdroje pro výrobu skla jako soda, vápenec a oxid křemičitý jsou shodné s těmi dnešními. V průběhu historie se však povaha skleněných materiálů a procesů při výrobě podstatně změnila. Důvodem jsou faktory jako specifické potřeby a obavy lidí, tendence k zachování organoleptických vlastností a živin, výroba atraktivních obalů různých velikostí a tvarů, nové konstrukce uzávěru a další (Franco & Falqué 2016).

Základní složky skla pocházejí z lomů či dolů a musí být buď roztaveny nebo chemicky redukovány působením vysokých teplot dosahujících až 1500 °C za vzniků oxidů. Hlavní složkou skla je oxid křemičitý. Získáván je z písku nebo křemene a taven při teplotách odpovídajících 1723 °C. Dalšími složkami jsou oxidy vápníku, sodíku a jiné příměsi.

Jednotlivé složky udávají charakteristické fyzikální a chemické vlastnosti skla. Vlastnost, která není žádoucí u tohoto materiálu, je křehkost nebo nízká tepelná vodivost. Avšak tyto negativní vlastnosti je možné do určité míry ovlivnit. Správný poměr výše zmiňovaných sloučenin pomůže vytvořit hmotu vyhovující pro potravinářské účely. Například vyšší obsah oxidu křemičitého významně ovlivňuje roztažnost skla tak, že ji zmírňuje, a tím následně přispívá k lepší odolnosti skla vůči změnám teplot. Tento fakt má ovšem i negativní dopad, kterým je horší zpracování skla v tomto stavu (Rao 2002).

Aby sklo dosáhlo chemické odolnosti, která je významná právě pro specifické uchování potravin, musí směs obsahovat dostatečné množství vápníku.

Funkcí sodíku při výrobě skla je snížení teploty tání. Tato vlastnost umožňuje používání skla pro teplé nápoje a pokrmy. Vysoký obsah sodíku však může zvýšit roztažnost skla, což má za následek snížení odolnosti vůči teplotním změnám.

Přesto, že je sklo odolné vůči vysokým teplotám, je nutné znát bod tání skla, který je nestálý a dochází k němu v širokém rozmezí teplot od 500 do 1650 °C. Tato vlastnost může být ovlivněna právě jeho složením.

Dalším ukazatelem jakosti skla je viskozita udávaná v Pascal sekundách (Pa.s) a i tato vlastnost se je do určité míry regulovatelná (Paine & Paine 1992).

Většina skleněných nádob určených pro uchovávání potravin je bezbarvá. Specifické barvení však může obsah nádoby chránit, a to na příklad před ultrafialovými paprsky, dále odlišit či vytvořit rozmanitost v rámci značky. Barevné změny lze dosáhnout přidáním malého množství různých oxidů. Pro zelenou barvu se používá chrom, pro modrou kobalt, fialové a

hnědé barvy lze dosáhnout přidáním niklu a pro červené zbarvení se používá selen (Franco & Falqué 2016).

Výroba skla je náročný proces z hlediska energetické náročnosti a zvolení správného poměru použitých prvků pro dosažení materiálu uspokojující kvality. Suroviny na výrobu tak nákladné nejsou, je však zapotřebí velkého množství tepelné energie.

Negativní vlastností je také vysoká hmotnost skla. Z hlediska ekologického je pro zpracování, dovoz, přepravu a recyklaci nutné mnohem větší množství energie a síly než pro lehký plast (Paine & Paine 1992).

3.6.6 Kontaminanty ze skleněných obalů

Přesto, že je sklo v mnoha případech náhradou za polymery s cílem eliminace migrantů do potravin a nápojů, určité složky přechází i ze skleněných obalů do potravin. Prvky, které budou ze skla migrovat jsou dány různými podmínkami. V případě že je sklo v přímém kontaktu s vodou za působení vyšší teploty a tlaku budou nejdříve migrovat alkalické kovy. Draslík, sodík a lithium jsou prvními migrujícími složkami. Tento fakt je dán jejich nízkou vazností ve struktuře skla. Poté přechází do potravin složky jako hořčík, vápník, stroncium či baryum. Prvky, u nichž dochází k minimální migraci do potravin, jsou hliník, železo, arsen, mangan a chrom.

Migrace složek skla do potravin je také závislá na typu skla, přesněji na jeho zbarvení. Pro studii migrace prováděné ve Velké Británii byla použita skleněná nádoba naplněná vodou po dobu 60 minut, při teplotě 121 °C, a to dle normy ISO 3696. Tyto parametry zrychleně simulují skladování při pokojové teplotě po dobu několika měsíců. Nejvyšší hodnoty migrace odpovídaly hodnotám 2,5-4,4 mg/dm² u zeleného skla. Bílé sklo vykazovalo nižší hodnoty než sklo zelené, ale nejnižší hodnota byla naměřena v hnědém sklu, a to 0,5 mg/dm². U všech barevných variací lze pozorovat, že nejvíce migruje oxid křemičitý. V menší míře, a to v hodnotách do 1 ppm migrují antimon, molybden, baryum, selen, cín, titan a vanad, zejména z barevných skel. Ještě nižší hodnoty migrace lze pozorovat u kobaltu, kadmia, olova, železa, niklu a zinku. Hodnoty těchto prvků odpovídají méně než 0,1 ppm. Hnědé sklo se vyznačuje vysokým obsahem fluoridů, které mohou tvořit až 5 % hmotnosti skla. Migrace fluoridových iontů v případě bílého i zeleného skla odpovídá hodnotám kolem 13 ppb, zatímco u hnědého skla hodnoty sahají až ke 300 ppb. Pro srovnání s pitnou vodou je však tento obsah fluoridů bezpečný. Norma obsahu fluoridů v pitné vodě se pohybuje v rozmezí 10-1300 ppb. Lze tedy říci, že migrace složek ze skleněných obalů nepředstavuje zdravotní riziko spotřebitelů (Katan 1996).

3.6.7 Kovy

Kovy jsou považovány za nejhojněji vyskytující se skupinu chemických prvků na Zemi. Některé z těchto prvků jsou součástí našeho organismu a jsou pro něj nezbytné, například železo, vápník, zinek, draslík aj. (Barone 2015). Nedostatek jednoho či více z esenciálních prvků může mít za následek rozvoj specifických klinických symptomů (Reilly 2002). Na druhé straně existují kovové prvky, jako těžké kovy, představující pro člověka riziko (Barone 2015).

Lze říci, že v nadměrném množství může být pro člověka každý kov toxický. Hranice mezi toxicitou a dostatečností daného prvku je často velmi malá, příkladem je selen. Není možné zvažovat toxicitu jednoho kovu izolovaného od ostatních. Důvodem je interakce mezi jednotlivými kovy v těle. Například fyziologické účinky kadmia včetně účinků toxických jsou úzce spjaty s množstvím přítomného zinku. Podobně funkci železa ovlivňuje kobalt, měď a do určité míry i zinek nebo molybden. Nicméně lze určit prvky nezbytné a ty, které neovládají žádnou pro organismus prospěšnou funkci a jsou toxické i v malých koncentracích. Příkladem je rtuť, kadmium a olovo.

Při výrobě, zpracování a balení potravin je nutné hledět jak na toxicitu a zdravotní nezávadnost, tak i na zabránění zhoršení kvality potravin v důsledku působení kovů. Stopy některých kovů mohou v průběhu přípravy pokrmů či skladování potravin způsobit nežádoucí změny. I při nízkých hladinách může docházet ke vzniku komplexů mezi kovovými ionty a organickými sloučeninami. V důsledku těchto reakcí dochází k barevným změnám, které mohou negativním způsobem ovlivnit organoleptické vlastnosti. Kromě vizuální změny dochází i k nepříznivým chuťovým změnám. Příkladem potravin, u kterých lze takové změny pozorovat jsou ovocné šťávy, pivo, mléko aj.

Balení potravin do kovových materiálů je jedním z faktorů, jak se kovy do lidského organismu uvolňují. Pro skladování potravin se používá kovový obal například ve formě plechovek. Pod tímto termínem si lze představit hermeticky uzavřený kontejner, jehož obsah je podroben konzervárenskému procesu za účelem prodloužení trvanlivosti. Plechovka může být tvořena více vrstvami, přičemž každá vrstva a každý přítomný kov má svoji funkci. Ocelový základ zajišťuje její pevnost a odolnost při výrobě, manipulaci i skladování. Tato složka nesmí obsahovat více než 0,05 % manganu, molybdenu a chromu a 0,04 % niklu. Pocínované plechovky obsahují vysoce kvalitní a dle norem stanovený cín o 99,75% čistotě. Cínová vrstva povlaku zajišťuje inertní vnitřní povrch a oxidová vrstva zabraňuje oxidaci a korozi cínu. Plechovky jsou v některých případech potaženy lakem, obvykle termosetovou pryskyřicí na povrchu cínu. Vrstva laku poskytuje ochranu v případě nebezpečí, že obsah způsobí korozi kovu. Účinky této tzv. bariéry ukazuje studie příjmu cínu v potravě ve Francii, kdy byly zjištěny zásadní rozdíly v množství přijatého cínu. Obsah cínu v potravinách uchovávaných v plechovkách bez lakové vrstvy odpovídal $76,6 \pm 36,5$ mg/kg, zatímco lakovaná plechovka zajišťovala značně nižší hodnoty, a to $3,2 \pm 2,3$ mg/kg. Přesto po dobu více měsíců či let nemusí být tato bariéra dostatečná. Může docházet k pomalé korozi, zejména je-li potravina kyselého charakteru a vrstva laku obsahuje nedostatky. Koroze však závisí na řadě dalších faktorů, jako je teplota skladování, délka doby skladování, přítomnost dusičnanů a různých oxidačních či redukčních činidel v potravinách.

Pravděpodobně nejrozšířenějším kovem pro balení potravin je hliník. Využívá se pro výrobu hliníkových plechovek určených například pro nápoje a řadu dalších aplikací včetně hliníkové fólie. Jedná se o relativně nedávný vývoj, přesto že je hliník komerčně už řadu let dostupný. Technologické potíže zabránily jeho rozsáhlému použití a existovalo také určité riziko v souvislosti se zdravotní nezávadností. Dnes se však hojně využívá (Reilly 2002).

3.6.8 Kontaminanty z kovových obalů

EU stanovila omezení pro řadu prvků v důsledku specifické migrace z obalových materiálů do potravin. Mezi tyto prvky patří například železo, baryum, měď, lithium, kobalt, zinek, mangan a dále arsen, kadmium, olovo, rtuť, chrom, kovové slitiny aj.

Kovy lze nalézt prakticky ve všech potravinách. Řada z nich se do lidského organismu dostává právě prostřednictvím potravin a jsou pro člověka nezbytné. Jiné jsou v potravě přítomny jako kontaminanty představující riziko pro lidské zdraví. V tabulce č. 5 jsou stručně znázorněny některé účinky na lidský organismus v důsledku nedostatku či nadbytku určitého kovu v těle.

Kovy mohou přijít do kontaktu s potravinami v různých fázích výrobního procesu, jelikož jsou součástí průmyslových závodů, nádrží, nástrojů a obalů. Některé potravinové obaly jsou zcela kovové (konzervy), v jiném případě jsou kovy jednou ze složek obalu se specifickou funkcí, například uzávěr skleněné nádoby. Nezbytná je znalost výskytu kovů v potravinách, aby nebyla následná detekce kovů mylně označena jako kontaminace cizorodými látkami z obalu. Obecně je možné detekci kovových prvků rozdělit do tří základních složek dle původu detekovaného kovu v konzervovaných potravinách:

- 1) Kovový prvek, jenž byl přirozenou součástí suroviny a nedošlo tedy k migraci z vnějšího prostředí.
- 2) Před konečným balením je možný kontakt s kovem, který je součástí zpracovatelského závodu (trubky, ventily, elektrody a další součástky).
- 3) Kontaminace konzervovaných potravin mohla proběhnout v průběhu balení, ale zejména při skladování v důsledku migrace prvků z obalového materiálu do potravin.

V závislosti na míře kontaminace, jsou následně zaváděna nápravná opatření:

- a) analýza vstupních surovin
- b) vyhodnocení jednotlivých výrobních kroků
- c) kontrola balení
- d) distribuční procesy

Řada pravidel dle nařízení stanovených Evropskou unií upravuje použití kovů, které tvoří základ kontejnerů či obalů (například plechové obaly – plechovky), nebo jsou přísadou v obalových materiálech například plniva, pigmenty. Materiály a předměty přicházející do přímého kontaktu s potravinami nejsou povoleny, pokud víme nebo předvídáme, že:

- a) mohou způsobit poškození lidského zdraví
- b) nepřijatelným způsobem změni složení balených potravin
- c) způsobí negativní změny sensorických vlastností potravin

Z důvodu výše uvedených rizik jsou stanoveny jak vhodné typy materiálů, tak i jejich limity, tedy možné povolené množství. Zdravotní rizika jsou definována v souvislosti s detekcí kovových iontů po jejich uvolnění do potravin z kovů a slitin při výrobě, skladování či distribuci. Nezbytné je podotknout, že usnesení, které udává výše uváděné požadavky na kvalitu a limity pro kovové materiály, nezavádí však zvláštní limity pro materiály využívané v potravinářství v podobě hliníkové fólie, kuchyňského náčiní, nádobí a přístrojů obsahujících

kovové části, které jsou s potravinami ve styku. Například uvolňování niklu do potravin by nemělo překročit hranici 0,14 mg/kg, zatímco limit pro maximální možné množství uvolněného olova je 0,0043 mg/kg. Setkáme-li se tedy s limity pro určité prvky, je nutné brát v potaz, že se jedná o migraci prvku pouze z obalu či okolí výrobního prostředí (Barone 2015).

Tabulka č. 5 Účinky kovů na lidský organismus (Barone 2015).

Kov	Nedostatek	Nadbytek
Vápník (Ca)	Kosterní deformace; osteoporóza	Šedý zákal; arterioskleróza
Chrom (Cr)	Metabolické poruchy glukózy	Rakovina plic
Kobalt (Co)	Anémie	Srdeční poruchy
Železo (Fe)	Anémie	Cirhóza; neuropatie; Wilsonova nemoc; hemochromatóza
Měď (Cu)	Anémie	Hemochromatóza; cirhóza; hemosideróza
Litium (Li)	Deprese	Podráždění dýchacích cest
Hořčík (Mg)	Nervové poruchy; slabost; zakrnělý růst	Anestetikum
Mangan (Mn)	Kosterní deformace; disfunkce pohlavních žláz	Vylučovací potíže
Selen (Se)	Nekróza jater	Vysoký krevní tlak
Sodík (Na)	Addisonova choroba; nechutenství; apatie; svalové křeče	Hypertenze
Draslík (K)	Svalové křeče; svalová slabost; ochrnutí	Addisonova choroba

Další možností, jak mohou být kovy uvolňovány do potravin je prostřednictvím keramického nádobí určeného ke skladování a uchovávání potravin. Keramické nádobí je používáno pro horké nápoje, pokrmy, využívá se při mikrovlnném ohřevu i pečení v troubě a je nutné znát, jaké faktory zvyšují riziko migrace kovů. Výzkum ukazuje, že uvolňování kovů do potravin se zvyšuje při rostoucím čase kontaktu s potravinou a rostoucí teplotě, naopak při narůstajícím pH klesá. Například uvolňování olova za podmínek vaření při 100 °C po dobu 2 hodin vzrostlo desetkrát v porovnání s migrací za normálních podmínek, tedy při 25 °C po dobu 2 hodin.

Uvolňování kovů, a to zejména olova, vede k riziku dopadu na zdraví organismu. Použití olovnatého keramického nádobí vede ke zvýšení hladiny olova v krvi. Tento toxin má více

účinků na lidský organismus, včetně kardiovaskulárních, neurologických, renálních, hematologických a gastrointestinálních. Mimořádně citlivé na neurotoxicitu olova jsou děti, kdy i relativně nízká úroveň expozice může vést k narušení neurologického vývoje (Li 2020).

3.6.9 Jedlé obaly

Jedlé obaly jsou specifické materiály využívané pro řadu aplikací v potravinářském průmyslu (Embuscado 2009).

Jedlé obaly jsou takové, které obsahují jedlé filmy, listy, sáčky či povlaky. Tloušťka jedlých filmů odpovídá $<254 \mu\text{m}$ a listů $>254 \mu\text{m}$. V obou případech se jedná o samostatné struktury, které jsou vytvářeny a následně aplikovány na složku potravin nebo mezi jednotlivými potravinami. Na rozdíl od filmů a listů jsou jedlé povlaky tenké vrstvy jedlého materiálu vytvářené a umístěné přímo na povrchu potraviny. Hlavní funkcí jedlých obalových materiálů je zajistit selektivní bariéru pro zpomalení migrace plynů, vlhkosti, lipidů, zlepšení manipulace s potravinami, plnění funkce nositele potravinářských přídatných látek, např. antioxidantů a antimikrobiálních látek. K produkci jedlých filmů a obalů jsou využívány různé zdroje jako například polysacharidy, proteiny a lipidy odvozené od rostlin a zvířat, a to buď samostatně, nebo ve směsích.

Mnoho z výše zmiňovaných funkcí se shoduje s funkcemi syntetických obalových materiálů. Jedlé obaly ze své podstaty řadíme mezi biologicky odbouratelné, což je považováno za jejich největší výhodu. Myšlenka podstaty těchto obalů, které je možné konzumovat, je odvozena od přírodní ochranné vrstvy mnoha potravin např. slupka, kůra ovoce a zeleniny. Pokrývání potravin vrstvami lipidových látek, jako jsou tuky a vosky, je způsob zabránění vysychání potravin sahající do historie. Horké parafínové tavné vosky sloužící pro potahování citrusových plodů se komerčně dostaly na trh už ve 30. letech 20. století. Na počátku 50. let 20. století byly navrženy a vyvinuty emulze karnaubského oleje ve vodě, určené pro potahování čerstvého ovoce a zeleniny. Jedlá kolagenová pouzdra jsou v masné výrobě dodnes využívána.

Jedlé filmy a povlaky potravin neplní funkci nahrazování nepoživatelných obalů. Jejich úkol spočívá v jejich schopnosti plnit funkci doplňků zlepšujících kvalitu potravin, prodloužení trvanlivosti a zlepšení ekonomické účinnosti materiálů využívaných v potravinářství. Mezi výhody jedlých materiálů patří:

- 1) Mohou být spotřebovány spolu s balenou potravinou a nepředstavují tak žádné zbytkové obaly, které je nutné následně likvidovat.
- 2) V případě, že jedlá obalová vrstva nebude zkonsumována, stále přispívá ke snížení míry znečištění životního prostředí, jelikož jejich základ tvoří výhradně rozložitelné a obnovitelné zdroje. Degradční proces není tak složitý a náročný pro životní prostředí jako degradace umělých polymerů.
- 3) Mohou zlepšovat organoleptické vlastnosti potravin za předpokladu, že do nich byly zakomponovány různé složky a látky sloužící jako aromatické látky, barviva a sladidla.
- 4) Mohou příznivě ovlivnit nutriční hodnotu potravin, příkladem jsou zejména jedlé filmy vyrobené z bílkovin.

- 5) Fungují jako nosiči antioxidantů, antimikrobiálních látek a dále se používají na povrchu potravin, kde mohou korigovat difúzi konzervačních látek z povrchu do vnitřní části potravin.
- 6) Uplatnění najdou ve vícevrstevných obalových materiálech, kde takovéto jedlé filmy tvoří vnitřní vrstvu, tedy tu, která je v přímém kontaktu s potravinami (Smith 1993).

3.7 Aktivní a inteligentní obaly

Nárůst poptávky po potravinách představuje rozšiřování globálního trhu s obalovými materiály. Koncept aktivního a inteligentního balení spočívá v technologii udržování, sledování a zlepšování kvality potravin. Tyto obalové systémy mohou přispět ke snížení plýtvání, ke konzervaci, prodloužení trvanlivosti potravin a zajistit monitoring prostředí, mikrobiální kontrolu a kontrolu kvality (Vilela et al. 2018). Aktivní obaly jsou materiály a předměty, určené k prodloužení trvanlivosti a zlepšení či udržení kvality potravin, zatímco inteligentní obaly monitorují stav potravin a prostředí obklopující potraviny v obalu (Ghaani et al. 2016).

3.7.1 Aktivní obaly

Aktivní obaly a jejich široká škála aplikací zahrnuje řadu aditiv plnicích aktivní funkce. První z nich je funkce absorpční (kyslík, oxid uhličitý, ethylen, ethanol), dále uvolňující (antioxidanty, konzervační látky, příchutě), další funkcí aditiv je kontrola teploty a mikrobiologické aktivity (Restuccia et al. 2010). Na trhu existuje řada aplikací aktivního balení využívaných v potravinářském průmyslu. Například pro aktivní obaly zajišťující řízení teploty jsou využívány izolační materiály, samoohřívací a samochladící obaly a obaly citlivé na teplotu. Pro mikrobiální funkci obalů a kontrolu potravin se využívají UV a povrchově upravené materiály. Typ aplikace závisí na dané potravine a požadavcích pro zachování její čerstvosti. U potravin jako suché meruňky se volí obal zachycující ethanol. Pro balení cereálií se používají filmy uvolňující antioxidanty. Pro potraviny jako mletá káva, sušené mléko, uzeniny, sýry aj. se používá obal s funkcí zachycovače kyslíku (Restuccia et al. 2010). Maso, drůbež a mořské plody patří mezi potraviny, které rychle podléhají kažení, pokud nejsou řádně zpracovány, baleny a uchovávány. Negativní změny jsou často způsobeny vysokým obsahem lipidů a vlhkostí. V důsledku toho jsou tyto potraviny náchylné k biologickým reakcím jako degradace proteinů, oxidace lipidů a hnilobné reakce (Ahmed et al. 2017). Tyto reakce vedou k nahromadění nežádoucích škodlivých sloučenin, kdy následně dochází ke změnám zbarvení (melanóze), způsobeným polymerací fenolů na nerozpustné tmavé pigmenty (melaniny), a to vede ke zhoršení kvality potravin (Nirmal & Benjakul 2011).

Používání aktivních obalů musí být v souladu s požadavky Potravinářské a drogové správy (USA) a Evropským úřadem pro bezpečnost potravin. Vysoké náklady a přísná legislativa jsou faktory, které brání velkému rozmachu a šíření toho systému balení na trhu EU ve srovnání například s Japonskem (Vilela et al. 2018).

3.7.2 Inteligentní obaly

Cílem inteligentních obalů je monitorování stavu balené potraviny. Pomocí datových nosičů, ukazatelů a senzorů je možné sledovat a poskytovat informace o kvalitě potravin během přepravy či skladování (Vilela et al. 2018). Inteligentní systém balení předává informace o kvalitě potravin jak výrobcům, tak i prodejcům a spotřebitelům (Restuccia et al. 2010). Inteligentní obal může ukázat, zda je potravina čerstvá či její trvanlivost již vypršela, může poskytovat informace o teplotě potravin pomocí termochromních inkoustů a v neposlední řadě jej lze použít ke kontrole účinnosti aktivního systému balení potravin (Ghaani et al. 2016). Inteligentní obaly lze rozdělit na dva typy. První z nich je založen na sledování stavu obalu na vnější straně. Druhý typ udává informace přímo o potravinářském výrobku a monitoruje vnitřní prostředí obalu. V tomto případě dochází k přímému kontaktu s potravinou.

Způsoby, jakými nám obal poskytuje informace, jsou různé. Porušení obalu ukazuje na špatnou manipulaci nebo nevhodné přepravování a skladování. Pro indikaci bezpečnosti kvality produktů slouží ukazatelé času a teploty, zařízení pro snímání plynů a mikrobiální aktivity aj. (Restuccia et al. 2010). Ukazatelé koncentrace plynů jsou ve formě štítků umístěny na vnitřní straně obalu. Sledují změny vnitřního prostředí v důsledku pronikání plynů přes obal, chemických a enzymatických reakcí balených potravin, metabolismu mikroorganismů apod. Jelikož jsou tyto snímače umístěny na vnitřní straně obalu a přichází do styku s potravinou, musí splňovat určité podmínky. Nesmí být rozpustné ve vodě a vykazovat toxicitu (Ghaani et al. 2016). Pravost produktu lze dokázat pomocí holografických obrázků, loga či skrytých prvků (Restuccia et al. 2010). U masných výrobků lze použít k detekci kvality indikátory sulfanu. Sulfan je uvolňován v průběhu stárnutí masa a je v korelaci s barvou myoglobinu. Myoglobin je považován jako jeden z ukazatelů kvality masných výrobků (Smolander et al. 2002).

3.7.3 Antioxidanty v obalových materiálech

Vzhledem k vysoké škále negativně působících činitelů využívá potravinářský průmysl již dávno uznávaný účinek antioxidantů. Jejich využití zvyšuje stabilitu potravin, a právě proto bývají hlavním komponentem aktivních obalů při balení potravin. Antioxidanty mohou být také definovány jako látky, zachycující určité nežádoucí formy kyslíku.

Mezi nežádoucí reakce potravin patří především oxidace a antioxidanty jsou jedním z řešení, jak tomuto procesu předcházet. Oxidace lipidů a stejně tak i působení mikroorganismů jsou nejčastější příčinou kažení potravin obsahujících vyšší obsah lipidů jako ořechy, maso, ryby, práškové potraviny a oleje. Nejběžnějšími biologickými oxidanty jsou volné radikály, které vykazují vysokou nestabilitu a zároveň vysokou aktivitu vůči chemickým reakcím s jinými molekulami (Atta et al. 2017).

Proces oxidace má za následek přítomnost nežádoucích příchutí, žluknutí a další změny organoleptických vlastností. Dalšími negativními účinky jsou tvorba toxických aldehydů nebo ztráta nutriční kvality.

Ačkoliv má snížení obsahu kyslíku (ve vakuu nebo v upravené atmosféře) jistý vliv na korigování a snížení oxidačních reakcí, jedná se o částečné omezení. Jelikož se kyslík nachází přímo v potravine už během balení, je velmi obtížné ho zcela eliminovat. Navíc některé

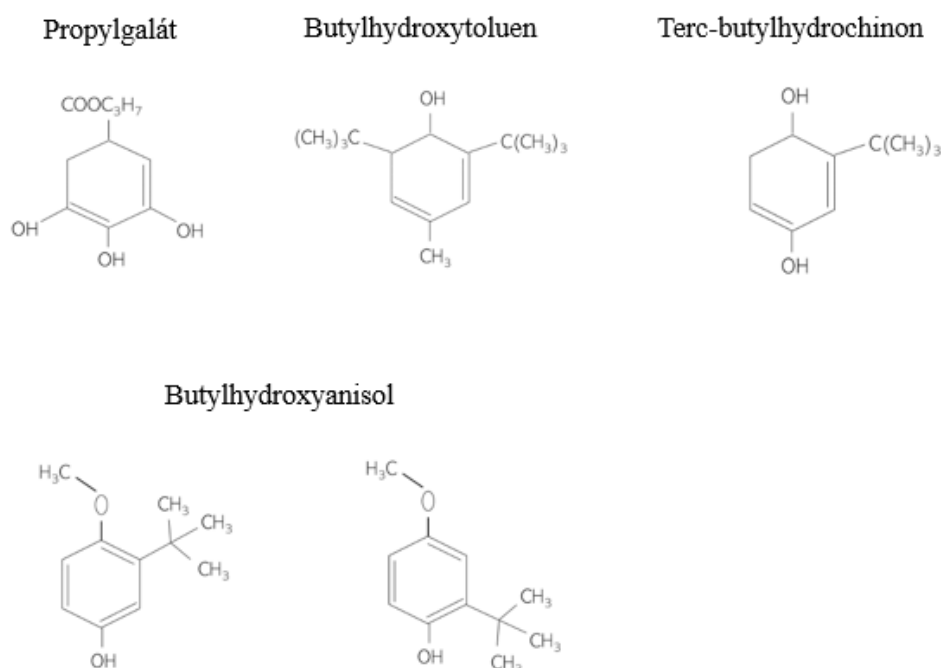
potraviny jako rybí výrobky nemohou být baleny bez kyslíku, v jiném případě je kyslík schopný přestoupit po zabalení do vnitřního prostředí. Použití antioxidantů v aktivním balení potravin má svůj význam jak pro oddálení nežádoucí oxidace lipidů, tak i při zamezení denaturace proteinů (Gómez-Estaca et al. 2014).

Dle směrnice 2006/52/ Evropské komise existuje několik legislativou povolených antioxidantů používaných v potravinářství. Většina povolených antioxidantů je syntetických. Patří mezi ně například butylhydroxyanisol, butylhydroxytoluen, terc-butylhydrochinon a propylgalát, viz obrázek č. 4. Mezi přírodní antioxidant dostupný například z rostlinných olejů nebo ořechů patří vitamín E.

Použití zmiňovaných syntetických látek je dovoleno pouze ve zpracovaných potravinách. Jelikož se jedná o látky nepřírodně se vyskytující v potravinách, je nutné provádět kontroly jejich nezávadnosti a u některých potvrdit či vyloučit případnou karcinogenitu.

Antioxidanty jsou začleněny do potravinových obalů a jejich uvolňování je řízeno tzv. difúzním mechanismem, který funguje na základě zajištění neustálého přísunu antioxidantů do potraviny. Tento proces napomáhá ke snížení přímého ošetření a přidávání chemických upravujících látek do potravin.

Míra účinnosti antioxidantů v aktivních obalech zaleží na technice výroby daného obalu. Nejčastěji jsou polymery smíchávány s antioxidanty a poté převedeny na fólie, které jsou ve styku s potravinou. Poptávka po antioxidantně-aktivních obalech roste právě díky bezkonkurenčním výhodám ve srovnání s metodami, kdy se antioxidanty přidávají přímo na potravinu a aktivních sloučenin je zde v menším množství (Sanches-Silva et al. 2014).



Obrázek č. 4 znázorňuje přehled antioxidantů využívaných v potravinářství

3.7.4 Antimikrobiální peptidy (AMP)

Čerstvé potraviny se vyznačují nízkou skladovatelností, jelikož jsou významným růstovým médiem pro rozmnožování mnoha mikroorganismů. Pro čerstvé potraviny jsou parametry jako teplota, pH, vodní aktivita, životaschopnost a odolnost mikroorganismů klíčovými faktory při zajišťování nezávadnosti. Působením mikroorganismů je způsobeno kažení a znehodnocování potravin a taktéž i ohrožení zdraví spotřebitele. Tyto změny mají za následek negativní vliv jak na organoleptické vlastnosti, tak i na kvalitu potravin.

Mezi problematické mikroorganismy patří kvasinky a psychrotrofní gramnegativní bakterie, které zároveň plní roli hygienických ukazatelů kvality potravin. Psychrotrofní bakterie jsou schopny produkovat značné množství extracelulárních hydrolytických enzymů (Gogliettino et al. 2020). Příkladem jednoho z nejrozšířenějších patogenů potravin v hotových zpracovaných jídlech a mléčných potravinách je *Listeria monocytogenes*. Tento mikroorganismus se umí přizpůsobit široké škále podmínek zpracování i uchovávání potravin včetně nízkých teplot při chlazení, nízkého pH nebo vysokého obsahu soli (Carpentier & Cerf 2011). Identifikace počátku kontaminace potravin bakteriemi poskytuje informaci o tom, jaká je doba trvanlivosti dané potraviny.

Řešením tohoto problému jak z hlediska ekonomického, tak i bezpečnostního je antimikrobiální obal, zajišťující prodlouženou trvanlivost a ochranu před negativním vlivem mikroorganismů. Chlazení či zamrazování patří ke konzervačním metodám potravin, nicméně na mikrobiální kvalitu nemají tak zásadní vliv. Mezi obaly vytvořené pro snížení rizika kontaminace potravin patří například aktivní obaly (viz kapitola 3.7.1.), které příznivě ovlivňují stav potravin z hlediska bezpečnosti a kvality (Gogliettino et al. 2020).

Antimikrobiální peptidy neboli AMP představují úspěšnou formu chemické obrany proti bakteriím, virům, prvokům a plísním. AMP byly nalezeny u hub, rostlin i živočichů. Přírodní izolované AMP i ty synteticky vytvořené varianty vykazují širokospektrální antimikrobiální aktivitu.

AMP jsou používány ve formě antimikrobiální nátěrové látky. Musí však splňovat škálu předpokladů, aby bylo požadovaných vlastností dosaženo, jako například velikost, kationtový charakter a samotný typ reakce s mikroorganismy. Tyto molekuly jsou schopny narušit a pronikat do buněčných membrán buněk patogenů. AMP buď může ztenčit membránu, rozpustit ji nebo v jiném případě je schopný selektivního intracelulárního cílení na patogen, a to vazbou na specifické nukleové kyseliny. Lze předpokládat, že AMP mohou být velmi účinnou obranou proti nežádoucím mikroorganismům (Palmieri et al. 2016).

Přirozeně vyskytující se peptidy mohou jednu či více zmiňovaných vlastností a schopností postrádat, a proto je cílem vyvíjet nové a účinnější AMP, které budou schopny působit antimikrobiálně. Pro tyto účely byl navržen tzv. mitochondriálně zaměřený peptid neboli MTP (Gogliettino et al. 2020). Přibližně 5 % proteinů kódovaných proteobakteriemi má tendenci zaměřovat se na mitochondrie. Cílení právě na mitochondrie již existují pro mnoho proteinů endosymbiotických proteobakterií (Palmieri et al. 2016).

MTP je schopen tvořit dvě formy uspořádání, a to α -helix a β -list, kterými se rozumí dva nejvýznamnější typy prostorového uspořádání peptidů. Tato sloučenina vykazuje významnou baktericidní aktivitu proti *Listeria monocytogenes*, která se jeví jako jeden z nejdůležitějších a nejzásadnějších patogenů v potravinářství.

Byly provedeny studie se vzorky masa a obaly jejichž povrch byl ošetřen MTP. Při monitorování byly zaznamenány inhibice růstu bakterií působících negativně na trvanlivost potravin. Prodloužení doby skladování se pohybuje v řádech dnů a tato metoda použití speciálně vyvinutých MTP v obalovém průmyslu se jeví jako významný způsob zabránění kontaminace potravin a ohrožení lidského zdraví (Gogliettino et al. 2020).

4 Závěr

Obaly plní v potravinářství řadu funkcí. Kromě reklamy a materiálu pro uchovávání potravin se využívají jako ochranná bariéra proti působení okolních vlivů či mikroorganismů. Pro zajištění kvality a nezávadnosti potravin musí obaly odolat často extrémním podmínkám jako je mikrovlnný ohřev, zmrazení apod. Existuje řada materiálů, aplikací a obalových technik, avšak jejich využití je závislé na povaze potravin.

Obal a potraviny mají tendenci spolu interagovat, a to v řadě případů může vést ke vzniku kontaminace potravin. Nelze vyvinout zcela inertní obalový materiál, který by zamezil migraci cizorodých látek do potravin. Z tohoto důvodu je nezbytné přistupovat k balení potravin zodpovědně a dle legislativních norem.

Polymerní obaly nabízí širokou škálu aplikací. Jejich stabilita a odolnost umožňuje použití pro velké množství potravin, včetně potravin s vysokým obsahem vody a lipidů. Přesto, že jsou polymery hojně využívány v potravinářství, představují riziko z hlediska zdravotní nezávadnosti. V porovnání s jinými materiály vykazují polymery vysoké hodnoty toxicky působících migrujících látek. Mezi nejvýznamnější kontaminanty polymerů patří například ftaláty, bisfenol A, polychlorované bifenoly a řada dalších. Tyto látky se vyznačují negativním působením na endokrinní systém a dalšími negativními dopady na zdraví.

Vhodným materiálem pro obalové účely je sklo. Na rozdíl od polymerních obalů nevykazuje vysoké množství migrujících látek a taktéž nabízí řadu uplatnění v potravinářství. Jelikož sklo uvolňuje nízké množství kovových iontů do potravin, které odpovídá limitům iontů v pitné vodě, lze jej označit jako bezpečný materiál pro styk s potravinami.

Mezi výhody papírových obalů patří dobrá dostupnost surovin a přirozená degradace. Avšak pro své nevyhovující bariérové vlastnosti, nízkou odolnost vůči lipidům i vodě, nejsou zcela vhodné pro obalové účely. Papír lze využívat spíše v kombinaci s jinými materiály např. s polymerní vrstvou. Za účelem zlepšení bariérových vlastností papíru se využívá celá řada aditiv, která však představují značné riziko kontaminace potravin. Zvláště nevhodné pro potravinářské účely je použití recyklovaného papíru. Recyklovaný papír představuje zdroj kontaminace například bisfenolem A či ftaláty.

Odolným materiálem pro balení potravin jsou kovy. Kovové materiály obsahují směsi různých kovů například oceli, cínu, manganu, niklu, chromu a dalších. Limity, které povolují množství těchto kovů v kontaktních materiálech jsou taktéž dány legislativou. Nedodržení těchto limitů může mít za následek nadbytek daného kovu v potravine, a tím způsobovat zdravotní riziko. Pro styk kovových obalů s potravinami jsou nezbytné úpravy povrchu. Nejvhodnější úpravou je použití laku na vnitřní vrstvu obalu, který výrazně eliminuje migraci cínu z kovových nádob určených pro uchovávání potravin.

Ve snaze o zlepšení životního prostředí a zamezení nadměrné kontaminace potravin prostřednictvím obalů se na trh dostávají alternativní obalové systémy. Na základě požadavků a priorit spotřebitelů byly vyvinuty alternativy k již používaným obalovým materiálům. Použití například biopolymerních obalů nezatěžuje životní prostředí a zároveň představuje zdravotně nezávadnou verzi obalových materiálů. Pro zajištění zachování organoleptických vlastností, kvality a nezávadnosti potravin lze použít aktivní obaly. Tento systém obalů nabízí funkci udržování požadovaného stavu potravin. Řada aplikací aktivních obalů umožňuje například

regulaci teploty, mikrobiální aktivity a chemických reakcí probíhajících uvnitř obalu. Funkci monitoringu potravin naopak zajišťují inteligentní obaly. Díky jejich použití lze detekovat čerstvost potravin.

5 Seznam literatury

- 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* **82**:163–178. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.06.009
- Akhbarizadeh R, Dobaradaran S, Schmidt TC, Nabipour I, Spitz J. 2020. Worldwide bottled water occurrence of emerging contaminants: A review of the recent scientific literature. *Journal of Hazardous Materials* **392**:122271. Elsevier. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.122271
- Atta EM, Mohamed NH, Abdelgawad AAM. 2017. Antioxidants: An Overview on the Natural and Synthetic Types. *European Chemical Bulletin* **6**:365. DOI: 10.17628/ecb.2017.6.374-384
- Bandow N, Conrad A, Kolossa-Gehring M, Murawski A, Sawal G. 2020. Polychlorinated biphenyls (PCB) and organochlorine pesticides (OCP) in blood plasma – Results of the German environmental survey for children and adolescents 2014–2017 (GerES V). *International Journal of Hygiene and Environmental Health* **224**:113426. Elsevier. DOI: 10.1016/j.ijheh.2019.113426
- Barboza LGA, Dick Vethaak A, Lavorante BRBO, Lundebye AK, Guilhermino L. 2018. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin* **133**:336–348. Elsevier. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.047
- Barone C, Caruso G, Montanari A, Parisi S, Steinka I. 2015. *Food Packaging Hygiene*. Springer International Publishing AG, Switzerland.
- Barthélémy E, Spyropoulos D, Milana MR, Pfaff K, Gontard N, Lampi E, Castle L. 2014. Safety evaluation of mechanical recycling processes used to produce polyethylene terephthalate (PET) intended for food contact applications. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment* **31**:490–497. Taylor & Francis. DOI: 10.1080/19440049.2013.871755
- Bátori V, Åkesson D, Zamani A, Taherzadeh MJ, Sárvári Horváth I. 2018. Anaerobic degradation of bioplastics: A review. *Waste Management* **80**:406–413. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.09.040
- Bornehag CG, Sundell J, Weschler CJ, Sigsgaard T, Lundgren B, Hasselgren M, Hägerhed-Engman L. 2004. The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: A nested case-control study. *Environmental Health Perspectives* **112**:1393–1397. DOI: 10.1289/ehp.7187
- Carpentier B, Cerf O. 2011. Review - Persistence of *Listeria monocytogenes* in food industry equipment and premises. *International Journal of Food Microbiology* **145**:1–8. Elsevier B.V. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.01.005

Cherif Lahimer M, Ayed N, Horriche J, Belgaied S. 2017. Characterization of plastic packaging additives: Food contact, stability and toxicity. *Arabian Journal of Chemistry* **10**:S1938–S1954. King Saud University. DOI: 10.1016/j.arabjc.2013.07.022

Chiellini F, Ferri M, Morelli A, Dipaola L, Latini G. 2013. Perspectives on alternatives to phthalate plasticized poly(vinyl chloride) in medical devices applications. *Progress in Polymer Science* **38**:1067–1088. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.03.001

Crowley J. 2020. Plastic bag consumption habits in the Northern Philippines. *Resources, Conservation and Recycling* **160**:104848. Elsevier. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104848

Davis G, Song JH. 2006. Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. *Industrial Crops and Products* **23**:147–161. DOI: 10.1016/j.indcrop.2005.05.004

De Toni L, Tisato F, Seraglia R, Roverso M, Gandin V, Marzano C, Padrini R, Foresta C. 2017. Phthalates and heavy metals as endocrine disruptors in food: A study on pre-packed coffee products. *Toxicology Reports* **4**:234–239. DOI: 10.1016/j.toxrep.2017.05.004

Duffy E, Gibney MJ. 2007. Use of a food-consumption database with packaging information to estimate exposure to food-packaging migrants: Expoxidized soybean oil and styrene monomer. *Food Additives and Contaminants* **24**:216–225. DOI: 10.1080/02652030600977833

D'Mello JPF. 2003. *Food Safety: Contaminants and Toxins*. CABI, London.

Embuscado E. 2009. *Edible films and coatings for food applications*. Springer, NY.

Evropská komise. 2008. Nařízení Komise (ES) č. 282/2008 ze dne 27. března 2008 o recyklovaných plastových materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami a o změně nařízení (ES) č. 2023/2006 (Text s významem pro EHP). Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32008R0282>

Evropská komise. 2004. 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. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX%3A32004R1935>

Ferrante MC, Fusco G, Monnolo A, Saggiomo F, Guccione J, Mercogliano R, Clausi MT. 2017. Food contamination by PCBs and waste disposal crisis: Evidence from goat milk in Campania (Italy). *Chemosphere* **186**:396–404. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.07.144

Franco I, Falqué E. 2016. Glass Packaging. Reference Module in Food Science:10–11. DOI: 10.1016/b978-0-08-100596-5.03371-0

Gellerstedt G, Ek M. 2009. *Paper chemistry and technology*. Walter de Gruyter. Berlin.

- Genualdi S, Nyman P, Begley T. 2014. Updated evaluation of the migration of styrene monomer and oligomers from polystyrene food contact materials to foods and food simulants. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment* **31**:723–733. Taylor & Francis. DOI: 10.1080/19440049.2013.878040
- Ghaani M, Cozzolino CA, Castelli G, Farris S. 2016. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science and Technology* **51**:1–11. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.02.008
- Ghosh S, Zang S, Mitra PS, Ghimbovschi S, Hoffman EP, Dutta SK. 2011. Global gene expression and Ingenuity biological functions analysis on PCBs 153 and 138 induced human PBMC in vitro reveals differential mode(s) of action in developing toxicities. *Environment International* **37**:838–857. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.envint.2011.02.010
- Gogliettino M et al. 2020. Extending the Shelf-Life of Meat and Dairy Products via PET-Modified Packaging Activated With the Antimicrobial Peptide MTP1. *Frontiers in Microbiology* **10**:1–11. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02963
- 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. DOI: 10.1016/j.tifs.2013.10.008
- Gómez-Heincke D, Martínez I, Stading M, Gallegos C, Partal P. 2017. Improvement of mechanical and water absorption properties of plant protein based bioplastics. *Food Hydrocolloids* **73**:21–29. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.06.022
- Gómez-Martínez D, Partal P, Martínez I, Gallegos C. 2009. Rheological behaviour and physical properties of controlled-release gluten-based bioplastics. *Bioresource Technology* **100**:1828–1832. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.10.016
- Hulin M, Sirot V, Vasseur P, Mahe A, Leblanc JC, Jean J, Marchand P, Venisseau A, Le Bizec B, Rivière G. 2020. Health risk assessment to dioxins, furans and PCBs in young children: The first French evaluation. *Food and Chemical Toxicology* **139**:111292. Elsevier. DOI: 10.1016/j.fct.2020.111292
- Husøy T, Andreassen M, Hjertholm H, Carlsen MH, Norberg N, Sprong C, Papadopoulou E, Sakhi AK, Sabaredzovic A, Dirven HAAM. 2019. The Norwegian biomonitoring study from the EU project EuroMix: Levels of phenols and phthalates in 24-hour urine samples and exposure sources from food and personal care products. *Environment International* **132**:105103. Elsevier. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105103
- Johns LE, Cooper GS, Galizia A, Meeker JD. 2015. Exposure assessment issues in epidemiology studies of phthalates. *Environment International* **85**:27–39. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.envint.2015.08.005
- Katan LL. 1996. *Migration from Food Contact Materials*. Blackie Academic & Professional, US.

Kedzierski M, Lechat B, Sire O, Le Maguer G, Le Tilly V, Bruzard S. 2020. Microplastic contamination of packaged meat: Occurrence and associated risks. *Food Packaging and Shelf Life* **24**:100489. Elsevier. DOI: 10.1016/j.fpsl.2020.100489

Larson ER. 2015. *Thermoplastic material selection. A practical guide.* Elsevier, USA.

Lei B, Feng Y. 2020. Sustainable thermoplastic bio-based materials from sisal fibers. *Journal of Cleaner Production* **265**:121631. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121631

Li Y. 2020. Migration of metals from ceramic food contact materials. 2: Migration kinetics under various conditions and the influence of conventional thermal heating and microwave heating on migration. *Food Packaging and Shelf Life* **24**:100494. Elsevier. DOI: 10.1016/j.fpsl.2020.100494

Li Z hai, Li D, Ren J li, Wang L bing, Yuan L jiang, Liu Y chen. 2012. Optimization and application of accelerated solvent extraction for rapid quantification of PCBs in food packaging materials using GC-ECD. *Food Control* **27**:300–306. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.foodcont.2012.04.006

Mossel A. 1995. Principles of food control and food hygiene in the European single market. *Food Control* **6**:289–293. DOI: 10.1016/0956-7135(95)00032-M

Nerin C, Ubeda JL, Alfaro P, Dahmani Y, Aznar M, Canellas E, Ausejo R. 2014. Compounds from multilayer plastic bags cause reproductive failures in artificial insemination. *Scientific Reports* **4**:1–10. DOI: 10.1038/srep04913

Nirmal NP, Benjakul S. 2011. Retardation of quality changes of Pacific white shrimp by green tea extract treatment and modified atmosphere packaging during refrigerated storage. *International Journal of Food Microbiology* **149**:247–253. Elsevier B.V. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2011.07.002

Nu O, Lucci P. 2013. Recent advances in LC-MS analysis of food-packaging contaminants **42**:99–114 DOI: 10.1016/j.trac.2012.09.017

Paine HY, Paine FA. 1992. *A handbook of food packaging.* Springer, US.

Palmieri G, Balestrieri M, Proroga YTR, Falcigno L, Facchiano A, Riccio A, Capuano F, Marrone R, Neglia G, Anastasio A. 2016. New antimicrobial peptides against foodborne pathogens: From in silico design to experimental evidence. *Food Chemistry* **211**:546–554. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.05.100

Peelman N, Ragaert P, De Meulenaer B, Adons D, Peeters R, Cardon L, Van Impe F, Devlieghere F. 2013. Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science and Technology* **32**:128–141. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.tifs.2013.06.003

Podsedník L. 2011. *Obalové kontaminanty v potravinách [BSc. Thesis].* Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Zlín.

- Provencher JF, Avery-Gomm S, Braune BM, Letcher RJ, Dey CJ, Mallory ML. 2020. Are phthalate ester contaminants in northern fulmar preen oil higher in birds that have ingested more plastic? *Marine Pollution Bulletin* **150**:110679. Elsevier. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110679
- Rao, KJ. 2002. Structural chemistry of glasses. Elsevier Science & Technology Books
- Rasal RM, Janorkar A V., Hirt DE. 2010. Poly(lactic acid) modifications. *Progress in Polymer Science (Oxford)* **35**:338–356. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.12.003
- Reilly C. 2002. Metal Contamination of Food: Its Significance for Food Quality and Human Health. Wiley–Blackwell, Australia.
- Restuccia D, Spizzirri UG, Parisi OI, Cirillo G, Curcio M, Iemma F, Puoci F, Vinci G, Picci N. 2010. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. *Food Control* **21**:1425–1435. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.foodcont.2010.04.028
- Rodríguez-Rojas A, Arango Ospina A, Rodríguez-Vélez P, Arana-Florez R. 2019. ¿What is the new about food packaging material? A bibliometric review during 1996–2016. *Trends in Food Science and Technology* **85**:252–261. Elsevier. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.01.016
- Salazar-Beltrán D, Hinojosa-Reyes L, Palomino-Cabello C, Turnes-Palomino G, Hernández-Ramírez A, Guzmán-Mar JL. 2018. Determination of phthalate acid esters plasticizers in polyethylene terephthalate bottles and its correlation with some physicochemical properties. *Polymer Testing* **68**:87–94. Elsevier. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2018.04.002
- 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. DOI: 10.1080/19440049.2013
- Sanchis Y, Yusà V, Coscollà C. 2017. Analytical strategies for organic food packaging contaminants. *Journal of Chromatography A* **1490**:22–46. Elsevier B.V. DOI: 10.1016/j.chroma.2017.01.076
- Siracusa V, Rocculi P, Romani S, Rosa MD. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science and Technology* **19**:634–643. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.tifs.2008.07.003
- Smith JP. 1993. Food packaging—Principles and practice. *Page Food Research International*. **26**:233–234. DOI: 10.1016/0963-9969(93)90058-q

Smolander M, Hurme E, Latva-Kala K, Luoma T, Alakomi HL, Ahvenainen R. 2002. Myoglobin-based indicators for the evaluation of freshness of unmarinated broiler cuts. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **3**:279–288. DOI: 10.1016/S1466-8564(02)00043-7

Suciu NA, Tiberto F, Vasileiadis S, Lamastra L, Trevisan M. 2013. Recycled paper-paperboard for food contact materials: Contaminants suspected and migration into foods and food simulant. *Food Chemistry* **141**:4146–4151. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.07.014

Topuz F, Uyar T. 2020. Antioxidant, antibacterial and antifungal electrospun nanofibers for food packaging applications. *Food Research International* **130**:108927. Elsevier. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108927

Velišek J. 1999. *Chemie potravin 3*. OSSIS, Tábor

Vilarinho F, Sanches Silva A, Vaz MF, Farinha JP. 2018. Nanocellulose in green food packaging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **58**:1526–1537. Taylor & Francis. DOI: 10.1080/10408398.2016.1270254

Vilela C, Kurek M, Hayouka Z, Röcker B, Yildirim S, Antunes MDC, Nilsen-Nygaard J, Pettersen MK, Freire CSR. 2018. A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science and Technology* **80**:212–222. Elsevier. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.08.006

Wilkinson J, Hooda PS, Barker J, Barton S, Swinden J. 2017. Occurrence, fate and transformation of emerging contaminants in water: An overarching review of the field. *Environmental Pollution* **231**:954–970. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.08.032

Wohner B, Gabriel VH, Krenn B, Krauter V, Tacker M. 2020. Environmental and economic assessment of food-packaging systems with a focus on food waste. Case study on tomato ketchup. *Science of the Total Environment* **738**:139846. The Authors. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139846

Xin J, Wang X, Li N, Liu L, Lian Y, Wang M, Zhao R-S. 2020. Recent applications of covalent organic frameworks and their multifunctional composites for food contaminant analysis. *Food Chemistry* **330**:127255. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127255

Xue M, Chai XS, Li X, Chen R. 2019. Migration of organic contaminants into dry powdered food in paper packaging materials and the influencing factors. *Journal of Food Engineering* **262**:75–82. Elsevier. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.05.018

Zákon č. 477/2001 Sb. 2001. Zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech). Česká republika. Available from: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-477>

Zuccarello P, Ferrante M, Cristaldi A, Copat C, Grasso A, Sangregorio D, Fiore M, Oliveri Conti G. 2019. Exposure to microplastics (<10 Mm) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study. *Water Research* **157**:365–371. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.watres.2019.03.091