

Aktivní folie s antimikrobiálním účinkem

Renáta Bergerová

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Renáta Bergerová**
Osobní číslo: **T11666**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Aktivní folie s antimikrobiálním účinkem**

Zásady pro vypracování:

Práce bude založena na nalezení údajů na dané téma v impaktovaných časopisech, knihách a Internetu a výstupem bude přehled o používaných či vhodných plnivech s antimikrobiálním účinkem, např. sílice, nano Ag, ZnO a vhodných polymerních matic. Na základě zjištěných skutečností student navrhne možnosti přípravy aktivních folií (s plnivem uvnitř nebo na povrchu polymerní matrice) a zdiskutuje možné metody hodnocení jejich vlastností. Současně navrhne využití aktivních folií v obalovém průmyslu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1)ŠTĚPEK J. a kolektiv. **Polymery v obalové technice.** [s.l.] ; [s.n.], 1981. 532 s. ISBN 04-608-81.

2)DE AZEREDO, Henriette M.C. Antimicrobial nanostructures in food packaging. Trends in Food Science & Technology [online]. 2013, roč. 2013, č. 30, s 56-69

3)Další zdroje z impaktovaných zahraničních časopisů a dle požadavků vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Alice Tesaříková Svobodová**
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce: **10. ledna 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2014**

Ve Zlíně dne 7. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




Ing. Lubomír Beníček, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: BERGERDOVA RENATA

Obor: CHTM - PMT

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 26. 5. 2014


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování vědeckých prací.

²⁾ Vysoká škola nepříjemně zveřejňuje diplomát, bakalářské a magisterské práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně osobní ocenění a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a magisterské práce odpracované uchazečem k obhajobě musí být též nejméně půl pracovního měsíce před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí veřejnosti v místě určeném writtenm předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě určeném příslušnou vysokou školou, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může za zveřejněnou práci požadovat na své náklady výtisk, spisy nebo namalování.

(3) Platí, že odpracování práce autor souhlasí se zveřejněním své práce pouze tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o některých občanských právech (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 20 odst. 1;

(3) Co právo autorského také neznamená škola nebo školské či vzdělávací zařízení, učeje k učení za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dítě vpravené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (škola dítě).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o některých občanských právech (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 školní dílo;

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy a užít školního díla (č. 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla učitelovi, učitelce nebo učitelskému ústavu, mohou se tyto osoby domáhat odškodnění chybějícího projevu jako vůči u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 působí nevaditelně.

(2) Není-li speciálně jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s úprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výděleku tím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na využití díla vynaložil, a to pouze v rozsahu až do jeho skutečné výše; přitom se přiměřeně k užití výděleku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá vlastnostmi a použitím aktivních folií s antimikrobiálním účinkem. Zaměřuje se na vhodné polymerní matrice a plniva, způsoby zpracování a možné způsoby výroby těchto folií. Dále přibližuje metody hodnocení vlastností folií, jako jsou morfologie, mechanické vlastnosti a antimikrobiální vlastnosti. Osvětluje pojem aktivní folie a jejich funkci při balení potravin. V konečné fázi se zabývá použitím aktivních folií s antimikrobiálním účinkem a jejich budoucnosti v obalovém průmyslu.

Klíčová slova: nano Ag, nano ZnO, silice, aktivní folie, aktivní folie s antimikrobiálním účinkem.

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with properties and use of active foils with antimicrobial effect. Work is focused on a suitable polymer matrix and fillers, processing methods and possible methods of productions of these foils. The work specifies methods of evaluations of foil properties, such as morphology, mechanical properties and antimicrobial properties. The work explains a concept of active foil and their function in food packaging. In the final phase the work deals with the use of active foils with antimicrobial effect and their future in packaging industry.

Keywords: nano Ag, nano ZnO, essential oils, active foils, active foils with antimicrobial effect

Na tomto místě bych především ráda poděkovala paní Ing. Alici Tesařikové za odborné vedení, cenné informace, obětavý přístup a čas, který mi během vypracování bakalářské práce poskytla. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a nejbližším přátelům za podporu při studiu.

OBSAH

ÚVOD	9
1 AKTIVNÍ FOLIE	10
1.1 FOLIE JAKO OBALOVÝ MATERIÁL	10
1.2 AKTIVNÍ OBALOVÝ SYSTÉM.....	11
1.3 FOLIE S ANTIMIKROBIÁLNÍM ÚČINKEM.....	11
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY	13
2.1 POLYETHYLEN – PE	13
2.2 POLYPROPYLEN - PP	15
2.3 POLYETHYLENTEREFTALÁT - PET	16
2.4 POLYAMID - PA.....	17
3 VÍCEVRSTVÉ BARIÉROVÉ FOLIE	18
3.1 EVOH.....	18
3.2 EVA.....	19
3.3 IONOMERY.....	19
4 AKTIVNÍ ČINIDLA	21
4.1 NANOČÁSTICE STRÍBRA.....	21
4.2 NANOČÁSTICE OXIDU ZINEČNATÉHO	23
4.3 SILICE.....	25
5 MOŽNÉ ZPŮSOBY PŘÍPRAVY AKTIVNÍCH FOLIÍ	27
5.1 NANÁŠENÍ AKTIVNÍHO ČINIDLA.....	27
5.2 PŘÍPRAVA PŘEDSMĚSI.....	28
5.3 VYTLAČOVÁNÍ	28
5.4 VYFUKOVÁNÍ	30
5.5 ENKAPSULACE	31
6 METODY HODNOCENÍ	33
6.1 MORFOLOGIE	33
6.1.1 Skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop – SEM	33
6.1.2 Transmisní (prozařovací) elektronový mikroskop – TEM.....	34
6.1.3 RTG difrakční analýza	35
6.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	36
6.2.1 Pevnost v tahu	36
6.3 ANTIMIKROBIÁLNÍ ÚČINNOST AKTIVNÍCH ČINIDEL.....	37
7 POUŽITÍ AKTIVNÍCH FOLIÍ V OBALOVÉ TECHNICE	38
ZÁVĚR	40
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	41
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	49
SEZNAM OBRÁZKŮ	51

ÚVOD

V dnešní době rostou čím dál více nároky na balené potraviny, především na jejich kvalitu a bezpečnost. Proto se hledají nové technologie a látky, které by vyhovovaly přísným předpisům a uspokojily poptávku obchodníků i spotřebitelů. Hlavním cílem vývoje je prodloužit trvanlivost balených produktů nad rámec jejich možností.

Obalové polymerní materiály zajišťují ochranu potravin před znečištěním a lepší podmínky pro skladování. Díky vyvíjejícím se technologiím dochází k nástupu nových a učenějších systémům jako jsou aktivní folie. Tato obalová technika se aktivně podílí na udržování kvality pokrmů. Fungují na principu interakce s prostředím nebo uchovávaným objektem.

Kažení balených potravin je podmíněno biologickými a chemickými změnami, související se vznikem bakterií, kvasinek a plísní. Mezi aktivní systémy balení patří např. antimikrobiální obalové materiály, ale i bariérové folie, aktivní balení formou „oxygen scavengerů“ neboli pohlcovačů kyslíku a další. Mezi aktivní systémy patří antimikrobiální obalové materiály. Jejich působení je zajištěno migrací látek z polymerních nosičů a následnou inhibicí růstu mikroorganismů nebo jejich zneškodnění. Vzniká tak vhodná alternativa pro prodloužení životnosti potravin, ochrany před kontaminací a ztrátou kvality.

Uvádění folií s antimikrobiálním účinkem na trh zpomalují legislativní předpisy evropské unie. Aktivní látky jsou uvolňovány do potravin a tak patří do kategorie potravinových přidaných látek. Musí být důkladně testováno, zda odpovídají povoleným předpisům a zda nejsou škodlivé pro lidský organismus. Bezpečnostní předpisy jsou odlišné v každé zemi. V Japonsku, USA nebo Austrálii se aktivní obalové systémy již využívají. I tak je nutný stálý výzkum a vývoj této technologie pro zdokonalování obalové techniky.

Rozvoj aktivních folií jde ruku v ruce s rozvíjením nanotechnologie. Tato vědní disciplína se zabývá studiem hmoty na atomové a molekulární úrovni. Přináší nové poznatky o chování částic a struktur v měřítku nanometrů, které se podstatně liší od vlastností částic látky na makromolekulární úrovni.

Cílem bakalářské práce je vytvořit obraz o aktivních foliích s antimikrobiálním účinkem, jejich výrobě a metodách hodnocení. Hlavním bodem jsou aktivní činidla s antimikrobiálním účinkem, speciálně uváděné – nano částice stříbra, nanočástice oxidu zinečnatého a esenciálních olejů. I když mechanismus působení uváděných látek nebyl zcela pochopen, je zde nastíněno několik potenciálních možností, k lepšímu pochopení antimikrobiálního účinku.

1 AKTIVNÍ FOLIE

Aktivní obalové folie a jejich využití jako obalového systému jsou součástí vývoje a výzkumu pouze posledních pár desetiletí, ale již v dnešní době je jejich využití významné a podstatně rozsáhlé. Stále jsou však zkoumány nové technologie přípravy a druhy aktivních látek, které by dále rozšířily působení aktivních materiálů v mnoha odvětvích průmyslu.

Aktivní folie jsou vyráběny např. ve formě nanokompozitů, to znamená, že při výrobě jsou do struktury polymerů zabudovány nanočástice aktivního činidla, které poskytují výrobku specifickou funkci. Druhou možností je nanášení aktivní látky na připravenou folii současně s nátěrovými hmotami nebo tiskařskými barvami. Výsledné vlastnosti materiálu jsou mnohem významnější a schopny poskytovat baleným potravinám lepší podmínky pro krátkodobé, ale hlavně dlouhodobé uchovávání [1, 2].

1.1 Folie jako obalový materiál

Polymerní folie jsou v současné době jedním z hlavních balicích prostředků a jejich nízká cena, dostupnost a vlastnosti mají za následek nahrazení tradičních materiálů, jako jsou papír, textil, celofán atd. K faktorům, které přispívají k využití plastů, patří jejich bariérové a tepelně izolační vlastnosti i hygiena balení.

Tradiční obal pomáhá udržovat kvalitu jídla po závěrečné fázi zpracování. Při uchovávání se kvalita potravin snižuje v důsledku ztráty či zisku vody, nebo působením etylenu a kyslíku a následnou kontaminací bakteriemi. Každá potrava a nápoj má své specifické požadavky a proto se využívá velkého množství balicích technik a materiálů.

Jedna ze základních funkcí balení potravin je chránit potraviny před vnějšími vlivy, nežádoucím znečištěním, a zajištění fyzické ochrany. Proto jsou nutnou vlastností obalových materiálů nepropustnost vody a vodních par, plynů a tuků. Materiál by měl být schopen odolávat chemikáliím a mikroorganismům, chránit před slunečním zářením a hlavně být chemicky nezávadný. Výhodnou některých polymerů je také svařitelnost nebo snadné čištění. Možnost folie potiskovat, povrchově upravovat a barvit dělá obaly více atraktivní pro spotřebitele a mají za následek jejich větší spotřebu [1, 3, 4].

1.2 Aktivní obalový systém

Aktivní obalový systém má bariérové schopnosti, které zamezují propustnosti plynů, vodní páry a molekul dalších látek. Tím chrání potraviny například před působením kyslíku, nebo udržují atmosféru uvnitř balení. Zároveň mohou aktivní obalové systémy obsahovat příměsi, které jim dodávají specifické schopnosti pro udržování kvality nebo zlepšují vlastnosti balených potravin. Tyto příměsi mohou vyvolávat antimikrobiální a antioxidační účinek, ale i zvýrazňovat chuť a vůni chráněné potraviny, v některých případech mohou ovlivňovat i barvu a nutriční vlastnosti. Za aktivní obalový systém se proto považují jak bariérové folie tak i aktivní balení (stručně popsané v této kapitole). Tyto obalové systémy by však neměly být zaměňovány za tzv. inteligentní obaly, které informují spotřebitele o čerstvosti a vlastnostech uchovávané potraviny.

Existují dva druhy aktivních systémů, lišící se svou funkcí. *Absorbéry* jsou založeny na absorpci nežádoucích látek. Absorbérem vody a vlhkosti bývají látky s vysokou afinitou, využívají se např. u baleného masa. Sloučeniny na bázi železa a kyselina askorbová patří do skupiny pohlcujících kyslík a jsou užitečné například při balení sýrů a pečiva nebo pro udržení inertní atmosféry. U ovoce a zeleniny jsou žádoucí absorbéry etylenu – oxid hlinitý, manganistan draselný aj. Kyselina citrónová umožňuje u aktivních obalů pohlcovat zápach některých druhů potravin.

Druhým systémem aktivního balení jsou *emitory*, které uvolňují potřebné látky do okolní atmosféry uchovávaných produktu nebo přímo na jejich povrch. Emitery se významně podílejí na antimikrobiálním účinku a prodlužování životnosti potraviny. Do této skupiny patří i systémy uvolňující aditiva, látky ovlivňující chuť jídla [5, 6].

1.3 Folie s antimikrobiálním účinkem

Folie s antimikrobiálním účinkem mají schopnost inhibovat růst, nebo hubit mikroorganismy. Tato vlastnost pomáhá chránit potraviny podléhající kažení a prodlužují dobu uchovávaní potravin. Proto jsou tyto folie užitečné součástí obalového systému.

Antimikrobiální folie jsou vyráběny jako kompozitní materiály. Skládají se z polymerní matrice vhodně zvoleného polymerního materiálu. Uvnitř polymeru jsou zabudovány částice aktivní látky zaručující antimikrobiální vlastnost. Matrice zároveň slouží jako ochrana

plniva. Působící činidla jsou přenášeny na potraviny nebo do prostoru uvnitř obalu, kde vytvářejí antimikrobiální atmosféru.

Technologie řízeného uvolňování je při konstrukci kompozitu významným aspektem. Uvolňování antibakteriálních látek závisí na typu polymerního materiálu, jeho složení a metodách zpracování. K přenosu látky musí docházet rychlostí úměrnou k rychlosti růstu mikroorganismů. Pokud je rychlost uvolňování činidla příliš rychlá, ztrácí obalový materiál svou antimikrobiální aktivitu před doporučenou dobou spotřeby potraviny. Naopak je-li uvolňování příliš pomalé, není zaručena dostatečná koncentrace činidla potlačující růst mikrobů, nebo organismus začne růst dříve, než se účinná látka stihne uvolnit. Šíření látky z polymerního obalu je ovlivněno také teplotou skladování, pH uchovávané potraviny a uvolněnou vodou.

Obalové materiály se zabudovaným antimikrobiálním činidlem dosahují mnohem lepších schopností uchovávat potraviny, než doposud používané bariérové materiály. Ovlivňují děje působící na chuť, vzhled i obsah živin. Zabraňují vzniku škodlivých toxinů, které způsobují zápach potraviny, změnu barvy a chuti. Toxiny a mikroorganismy jsou nebezpečné pro lidský organismus a mohou způsobovat zdravotní problémy.

Životnost potravin není antimikrobiálními obaly zaručena na dlouhou dobu. Aktivní látky jsou ve folii pouze ve stanovém množství a po jejich vyčerpání se ztrácí schopnost ochrany produktu před růstem bakterií. Doba trvanlivosti je proto určována jako doba působení činidla.

Antimikrobiální látky se liší škálou mikroorganismů, u kterých jsou schopny účinně potlačovat jejich růst, nebo je zcela zahubit. Tento fakt je podmíněn specifickým mechanismem působení každého činidla a fyziologií jednotlivých mikroorganismů. Proto je nutné zvolit vhodný typ účinné látky s ohledem na druhy vyskytujících se bakterií či plísní.

Při konstrukci aktivních folií s antimikrobiálním účinkem se činidla volí podle různých kritérií. Aby aktivní složka mohla být použita v potravinových obalových systémech, musí být povolena, jelikož může docházet k její migraci do chráněné potraviny a tak nesmí být pro konzumenta škodlivá. Některé látky navíc mohou negativně ovlivňovat chuť jídla, například způsobit pachut' nebo nepříjemný zápach, jelikož samy mají výrazné aroma (např. esenciální oleje) [1, 7].

2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Nejčastějšími polymerními materiály pro výrobu folií jsou termoplasty, využívají se hlavně polyolefiny, polyestery, polyamidy aj. Matricí můžeme nazývat materiál, který chrání křehká vlákna jiného materiálu před namáháním a vlivy okolí a zároveň vykonává funkci pojiva. Surovinu, vzniklou tímto spojením, označujeme jako kompozit. Z polymerních materiálů mohou tuto úlohu zastávat jak reaktoplasty, tak termoplasty. Termoplasty jsou však výhodnější při použití v potravinové obalové technice vzhledem k jejich materiálovým vlastnostem, jako jsou dobrá tvarová stabilita, vyšší modul pružnosti a houževnatost. Naproti reaktoplastům mají také kratší výrobní proces, jelikož odpadá doba na vytvrzování [8, 9].

2.1 Polyethylen – PE

V současné době zaujímá polyethylen místo nejpoužívanějšího obalového materiálu a je celosvětově nejvíce rozšířený vyráběný polymer.

Jeho monomerem je etylen, bezbarvý plyn, který je málo reaktivní. Bod varu nastává za atmosférického tlaku při $-103,7$ °C. Surovinou jsou ropné benzinové frakce, koksárenský plyn a zemní plyn. Vyrábí se pyrolýzou (vysokoteplotním štěpením uhlovodíků), což je prakticky jediný způsob jeho výroby.

Vybraný způsob polymerace u PE ovlivňuje jeho strukturu, rozsah větvení, molekulovou hmotnost a také distribuci molekulových hmotností. Polyetyleny rozlišujeme podle hustoty, která je ovlivňována linearitou řetězců makromolekul a s tím související krystalinitou polymeru. Proto můžeme PE rozlišit na LDPE (PE o nízké hustotě), HDPE (PE o vysoké hustotě), LLDPE (PE lineární o nízké hustotě), MDPE (PE o střední hustotě) a UHMW-PE (PE s ultravysokou molární hmotností) [10, 11].

Za běžných podmínek je polyethylen tuhá látka, dobře ohebná a elastická. Vyznačuje se jemně mléčnou barvou, ale může být i zcela transparentní. Čiřost závisí na rychlosti chlazení taveniny (čím rychlejší chlazení, tím je průhlednější) a stupni krystalinity (lineární PE je více zabarvené), dá se také pozitivně ovlivnit přísadami jako je benzen či oleje nebo negativně parafinem, jehož přítomnost v polymeru snižuje jeho transparentnost.

Odolnost proti chemickým činidlům u PE závisí nejvíce na jeho fázové struktuře (krystalinitě), která je u všech typů vysoká. Proto dobře odolávají za normálních teplot zásadám, neoxidujícím kyselinám, alkoholům, nižším glykolům, polárními rozpouštědly, solím a

aldehydům. Jeho odolnost je omezená proti oxidačním činidlům a při vyšších teplotách na nepolární rozpouštědla.

U PE využívaného jako obalový materiál je důležitá mrazuvzdornost, křehne teprve při teplotě $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zároveň předměty z lineárního PE lze taktéž sterilovat párou, jelikož jsou tvarově stálé až k teplotám okolo $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Folie nepropouštějí vodní páru, ale jsou schopny absorbovat tuky a různé organické látky [3, 11].

Polyethylenové folie mají významnou úlohu v obalovém průmyslu z mnoha důvodů, od nízké ceny a dobré zpracovatelnosti až po velmi dobrou chemickou odolnost a zdravotní nezávadnost. Při navrhování tvaru výrobku z tohoto materiálu a určování použití se však musí brát v potaz jeho nízký bod měknutí, u nízkomolekulárních typů sklon k praskání pod napětím, nízká pevnost v tahu, snížení transparentnosti materiálu v tlustších vrstvách, a hořlavost. Kvůli vysoké propustnosti plynů, není vhodný při balení parfémovaného zboží. Naopak schopnost nepropouštět jiné látky z něj dělají důležitou součástí obalového systému, například pro mléka, kde zajišťují udržení vysokého obsahu vitamínů. Dále se hojně používá při balení ovoce a zeleniny, jelikož propouští velké množství kyslíku, a jen malé množství vodní páry, tak udržují zmiňované potraviny déle čerstvé a šťavnaté. V potravinářství se polyethylen využívá i ve formě netkaných textilií, vkládajících se pod porcované maso a ryby jako absorbér vody [3, 11].



Obr. 1 Folie HDPE [12]

2.2 Polypropylen - PP

Polypropylen stejně jako polyethylen patří do skupiny polyolefinů a vyznačují se i podobnými vlastnostmi.

Pomocí Ziegler-Nattových katalyzátorů mohou polypropyleny polymerovat až na vysokomolekulární polymery s pravidelnou strukturou a různým uspořádáním substituentů. Toto prostorové uspořádání rozlišuje polypropyleny na izotaktické, kde se methylenové skupiny nachází pouze na jedné straně roviny polymerního řetězce, syndiotaktické se substituenty rozmístěnými střídavě po obou stranách řetězce a ataktické u kterých jsou prvky při substituci navázány bez jakékoliv pravidelnosti.

V průmyslové výrobě se syndiotaktický PP příliš neprosazuje, jelikož má horší vlastnosti a syntéza se obtížněji provádí. Ataktické uspořádání substituentů snižuje odolnost polymeru proti rozpouštědlům a mechanickému namáhání, naopak zlepšuje jeho rázovou houževnatost [11, 13].

Obecně je polypropylen krystalický polymer, stupeň krystalinity je 60–70 %, a tím je jeho transparence velmi omezena. Avšak pokud je tavenina polymeru rychle zchlazena, mohou se připravit výrobky i zcela průhledné. Podobně jako PE má velmi dobré elektroizolační vlastnosti a dobrou chemickou odolnost, ale naopak nižší odolnost proti povětrnosti.

Polypropylen se může sterilovat vodní párou i vyvážet ve vroucí vodě. Jeho bod tání je mezi 160 až 170 °C, čistě izotaktický PP může odolávat teplotám až do 176 °C. Teplota křehnutí se pohybuje okolo 0 °C, u modifikovaných materiálů i k -7 °C.

Použití PP je v obalové technice významné. V dnešní době se běžně používá takzvaný BOPP neboli biaxiálně orientovaný polypropylen ve formě folie, připomínající celofán a neorientovaný CPP, vhodný například pro výrobu sáčku k balení pečiva, ovoce a zeleniny. Pro PP folie je charakteristická vysoká transparentnost a lesk, nepropustnost vlhkosti a dobrá potiskovatelnost. BOPP folie se běžně využívá při balení veškerých pekárenských produktů, těstovin, bonbónů, sušeného ovoce i určitých druhů koření. Dále se s polypropylenem můžeme setkat ve formě misek a kelímků, vázacích pásek a přepravek. Díky dobré tepelné odolnosti se využívají PP folie při takzvaném horkém balení [3, 11, 13–15].



Obr. 2 Polypropylenová folie [16].

2.3 Polyethyltereftalát - PET

Polyethyltereftalát (PET, dříve PETP) patří do skupiny lineárních polyesterů, a již dlouhou dobu se označuje jako nevýznamnější termoplastický polyester. Vzniká dvoufázově polykondenzací kyseliny tereftalátové za přítomnosti ethylenglykolu.

PET folie se získávají především vytlačováním. Vyznačují se vysokou mechanickou pevností oproti foliím jiných termoplastů, jelikož mohou být při výrobě orientovány v obou směrech. Další jejich významnou vlastností je odolnost proti olejům, alkoholům (nutná další úprava), rozpouštědlům a velký rozsah tepelné stálosti od -60 do 130 °C. Výhodou je jejich elektroizolační vlastnost, nízká hmotnost, malá propustnost pro plyny a vlhkost, vysoká transparentnost, zdravotní nezávadnost a odolnost proti mikroorganismům [11, 17].

Vytlačované PET folie a desky (které se dále tvarují za tepla do formy nádob a blistrů) se využívají jako obalový materiál na potraviny. Nevýhodou je však cena PET, která je na rozdíl od polyolefinových folií značně vyšší. Nejširší využití zmiňovaného polymeru zastupuje výroba PET lahví. Využití těchto lahví se odvíjí hlavně od jejich recyklovatelnosti a dobrých vlastností, jsou velmi lehké, pevné a pružné. Následkem těchto mechanických vlastností je jejich téměř nerozbitná povaha. Na území české republiky se ročně spotřebuje okolo 60 000 tun PET lahví. Výrobky mohou být polotvrdé i tvrdé v závislosti na tloušťce

stěny. O nic méně významné je použití zmiňovaného materiálu na přípravu textilních vláken, izolace vodičů, dopravních pásů a dalších [11, 17, 18].

2.4 Polyamid - PA

Polyamid je technicky velmi významný polymer. Má lineární řetězce, obsahující amidové skupiny –CONH–, které umožňují vznik vodíkových můstků spojující makromolekuly. PA se získávají především polykondenzací aminokyselin, např. obalový materiál polyamid 11 vzniká polykondenzací kyseliny 11-aminoundekanové. Polymerací cyklických laktamů vzniká nejběžnější polyamid 6 a v obalové technice využívaný polyamid 12.

Polyamidy mají dobré mechanické vlastnosti a jsou houževnaté. Odolávají běžným technickým a organickým rozpouštědlům. Silné zásady a koncentrované kyseliny polyamidy rozpouštějí, v některých případech dokonce štěpí. Mají vysokou teplotu tání, která je ovlivněna množstvím vodíkových můstků v polymeru. Tyto vazby zároveň mají vliv na krystalickou strukturu materiálu. Krystalinita polymeru v tuhém stavu je 30 až 50 %. Jsou dobře svařovatelné, lze je lepit a potiskovat.

V obalové technice se využívá již zmiňovaný polyamid 11 a polyamid 12. Zpracovávají se především vytlačováním. Jde o zdravotně nezávadné materiály, které nepropouští kyslík a vodní páru. Jsou velmi vhodné pro balení mastných produktů, jako jsou sýry, masa, ryby a uzeniny. Jelikož jsou na rozdíl od polyolefinů dražší, využívají se v obalové technice jako součást **vícevrstvých folií**.

Další významné druhy polyamidu jsou polyamid 6 a polyamid 6.6, které se využívají v textilním průmyslu. Tyto materiály se získávají ve formě vláken zvlákněním z taveniny [11, 19].

3 VÍCEVRSTVÉ BARIÉROVÉ FOLIE

Jak už bylo dříve zmíněno, polymerní folie musí plnit mnoho funkcí a mít dostačující vlastnosti. Jejich úkolem je chránit potraviny před nečistotami, světelným zářením, mikroorganismy, vlhkostí, kyslíkem a dalšími látkami podmiňující jejich kažení. Zároveň musí být obal odolný proti mechanickému namáhání a jiným extrémním podmínkám, kterým může být vystaven během plnění, skladování a používání.

Plošné homogenní polymerní folie určené k balení potravin jsou vyráběné převážně z polyolefinů, polypropylenu, polyetylenů, poethylentereftalátu a polyamidu. Tyto materiály však nemají dostačující bariérové vlastnosti. Jednotlivě mohou být více či méně propustné pro atmosférické plyny, vodní páru nebo molekuly organických látek. Permeabilita plynů se odvíjí od strukturních vlastností polymeru, molekulové hmotnosti, polaritě, stupni krystalinity, metodě zpracování ad.

Alternativou jsou vícevrstvé folie složené z několika typů polymerních materiálů, které kombinují nejen své bariérové vlastnosti, ale lze dosáhnout i lepších mechanických vlastností, chemické a tepelné odolnosti a zpracovatelnosti. Tyto folie se skládají z hlavních nosných materiálů a adhezních materiálů.

Nosné materiály jsou základní částí vícevrstvé folie. Bývají zpravidla o větší tloušťce než další vrstvy. Plní funkci nejen bariérovou, ale i podpůrnou a proto jsou zapotřebí dobré mechanické vlastnosti. Mezi tyto materiály patří již zmiňované polymery v předcházející kapitole, které mohou nést aktivní činidla.

Adhezní materiály bývají vkládány mezi dvě vrstvy méně přilnavých polymerů. Zlepšení adheze lze docílit i povrchovou úpravou za zvýšení polaritě povrchu folie. Mezi používané materiály patří ionomery, polymery EVOH a EVA, které mají rovněž výborné bariérové schopnosti [20, 21].

3.1 EVOH

EVOH je zkratka pro bariérový kopolymer ethylenvinylalkoholu. Vyznačuje se vysokou bariérovou schopností proti kyslíku. Na působení O₂ bývají balené potraviny zpravidla nejvíce náchylné. Proto EVOH patří mezi významné obalové materiály, jehož použití dokáže výrazně prodloužit životnost baleného produktu.

Jeho nevýhodou je hydrofilní povaha. Bariérové schopnosti jsou touto vlastností značně ovlivněny, ale zároveň umožňuje řízené uvolňování aktivního činidla z polymerní folie po vystavení vlhkosti. Stává se tak vhodným kandidátem jako součást aktivního obalového systému.

Použití EVOH je převážně v podobě vícevrstevných folií. Jeho spojením s dalšími polymery vznikají folie, které kombinují své bariérové schopnosti. Tyto vícevrstvé folie se navzájem doplňují. Zamezují propustnosti více druhů plynů a mohou udržovat ochranu atmosféru uvnitř balení. Zlepšují se i mechanické vlastnosti celkové folie. Umístěním EVOH mezi dvě vrstvy jiného polymeru se zamezí styku s vodou a je tak ochráněn před poškozením, zároveň zde působí jako pojivo. Kombinovat EVOH lze s mnoha materiály vhodnými k balení potravin. Využívá se jako spojovací vrstva např. s polymery PE, PET, PS aj. [22, 23].

3.2 EVA

EVA patří k nejrozšířenějším bariérovým foliím. Jedná se o kopolymer etylenu s vinylacetátem, který vzniká radikálovou polymerací. Vyznačuje se velmi nízkou propustností pro plyny, ale i organické páry.

Vlastnosti EVA se liší v závislosti na obsahu vinylacetátu (VA). U obalových folií je množství VA převážně nižší než 4 %. Takové kopolymery mají nízký podíl krystalinity. Folie jsou transparentní a lesklé. Mají dobré mechanické vlastnosti, jsou pružné a pevné. EVA folie jsou charakteristické svou vysokou adhezí a nízkým koeficientem tření. Využívají se ve vícevrstevných bariérových foliích jako pojivo nebo v podobě smrštitelných obalů [24].

3.3 Ionomery

Ionomery jsou nízké dielektrické kopolymery s obsahem iontových agregátů. Iontové a neiontové jednotky se v materiálu opakovaně střídají. Iontové agregáty jsou shluky, které na sebe navzájem působí mezimolekulárními silami. Tyto iontové vazby zvyšují pevnost a vedou k lepším fyzikálním a mechanickým vlastnostem, pevnosti, houževnatosti, viskozitě,

chemické a tepelné odolnosti, optickým vlastnostem a dalším, které pozitivně ovlivňují chování kopolymeru.

U více vícevrstvých polymerních folií může plnit funkci nejen pojivovou, ale i podpůrnou. Tyto materiály po dlouhou dobu nepodléhají stárnutí. Navíc vykazují lepší mechanické vlastnosti než mnohé nosné polymery [25].

4 AKTIVNÍ ČINIDLA

U aktivních folií s antimikrobiálním účinkem se plnivý stávají antimikrobiální činidla. Jde o materiály např. nanočástice či plyny, které jsou dispergovány v polymerní matici a zlepšují tak její požadované vlastnosti, společně vytvářejí nanokompozitní materiál. V konečném důsledku mají antimikrobiální činidla schopnost inhibovat růst, nebo ničit mikrobiální buňky a jejich nosiče.

Antimikrobiální činidla např. Ag a ZnO jsou používány ve velikosti nano, jelikož materiály snížené do velikosti v rozmezí nanometrů vykazují oproti jejich makroskopickým předchůdcům různé elektronické vlastnosti, které ovlivňují optické, katalytické a další reaktivní vlastnosti. Nanočinidla mají mnohem lepší účinnost v ničení bakteriálních buněk než částice větších velikostí. Tento jev způsobuje poměr objemu k velké povrchové ploše, na které se nacházejí atomy potřebné k reakci činidla.

Velikosti částic a struktur na stupnici 1–100 nm se zabývá vědní disciplína nanotechnologie. Její snahou je pochopit a charakterizovat působení a vlastnosti nanočástic materiálů, které mají v důsledku svých rozměrů zcela jiné vlastnosti. Zároveň se jedná o dovednost pracovat s objekty na atomové úrovni [26, 27].

4.1 Nanočástice stříbra

Mezi známými antimikrobiálními činidly se stříbro považuje za nejvíce účinné. Je velmi toxické k širokému spektru mikroorganismů jako jsou bakterie, houby, prvoci a dokonce některé viry, zároveň vykazuje mimořádně nízkou toxicitu pro živé organismy. U lidí, rostlin a mnohobuněčných živých hmot můžeme stříbro označit za bezpečné. I když jsou pro buňky člověka netoxické, antimikrobiální vlastnost působí i na bakteriální kmeny v lidském těle. Při dalším zpracování stříbra je výhodou jeho dobrá stabilita při vysokých teplotách a nízká těkavost [26–28].

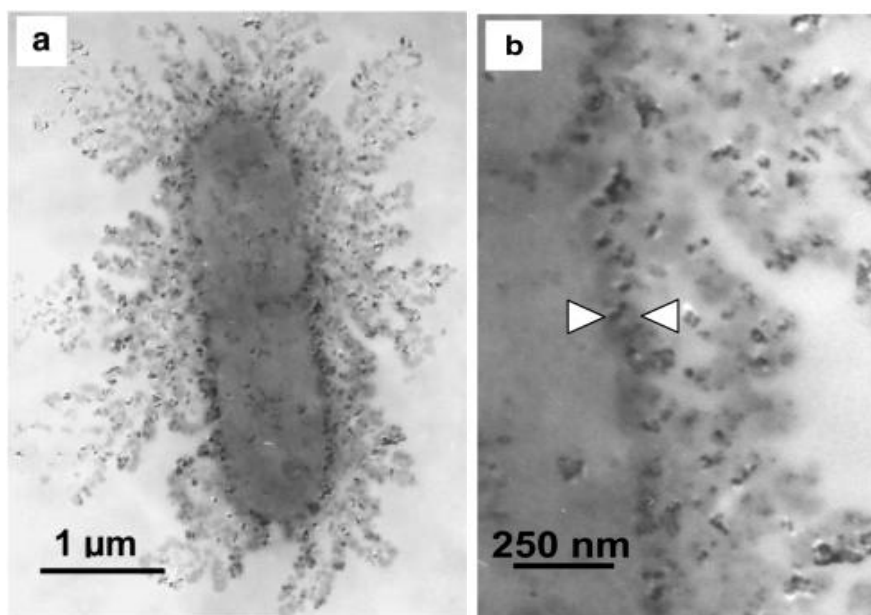
Do dnešní doby nebyl mechanismus působení nanočástic stříbra zcela pochopen, ale jsou nejčastěji uváděny tři navrhované a nejpravděpodobnější postupy:

1. První způsob je postupné uvolňování volných iontů stříbra, které interagují s donorovými elektrony funkčních skupin biologických molekul obsahující síru, kyslík nebo dusík. Takto se mohou navázat na řetězec DNA a zamezit jeho transkripci neboli

přepisování. Také může nastat zamezení dýchání buňky a ATP syntézy, která je hlavní zásobárnou energie buňky.

2. Další možný způsob je přímé poškození povrchové membrány buňky, kdy dochází k její postupné degradaci, vedoucí až ke smrti buňky.

3. Poslední způsob je produkování reaktivního druhu kyslíku stříbrnými nanočásticemi a stříbrnými ionty [26].

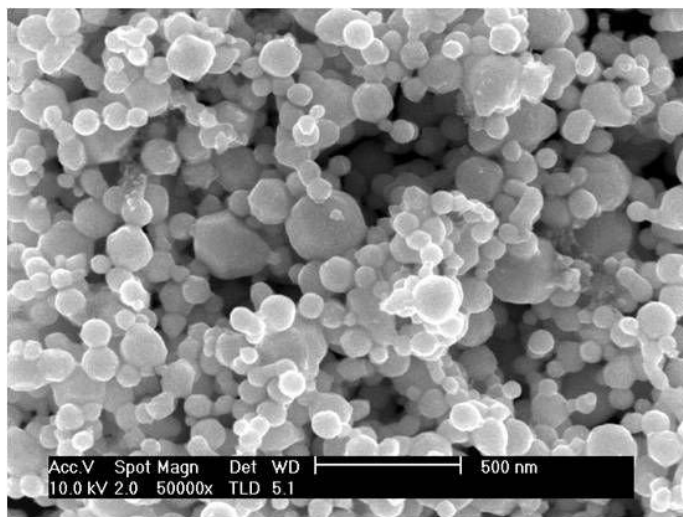


Obr. 3 (a) TEM snímek působení nanočástic stříbra na buňku bakterie *E. coli*, (b) TEM fotografie zachycující nanočástice nahromaděné na membráně buňky a proniklé do buňky [28].

Při zjišťování účinků stříbra bylo také prokázáno, že dokáže absorbovat a rozložit etylen, čímž přispívá k ještě delší trvanlivosti u ovoce a zeleniny. Nanočástice v polymerní matrici LDPE ve formě folií byli testovány u balení čerstvých ovocných šťáv a umožňují jejich skladování po dobu několika týdnů. Delší trvanlivost ovoce a mastných výrobků mohou podporovat absorpční vložky s nano Ag, které zachycují vodu a tekutiny například z porcovaného masa a zachovávají tak déle čerstvý vzhled produktu.

Použití stříbra mimo potravinový průmysl je v dnešní době již velmi významné hlavně ve zdravotnictví. Běžně se vyskytuje v medicínálních materiálech, například klinických obva-

zech k zamezení a rozšíření infekce u chronických ran. Významnou úlohu zastávají v impregnovaných katétrech, kde zabraňují postupnému šíření bakterií na jeho vnitřní a vnější straně. Touto technologií lze snížit riziko vzniku nozokomiálních infekcí (vzniklé při pobytu v nemocničním zařízení).



Obr. 4 Snímek nanočástic Ag [29].

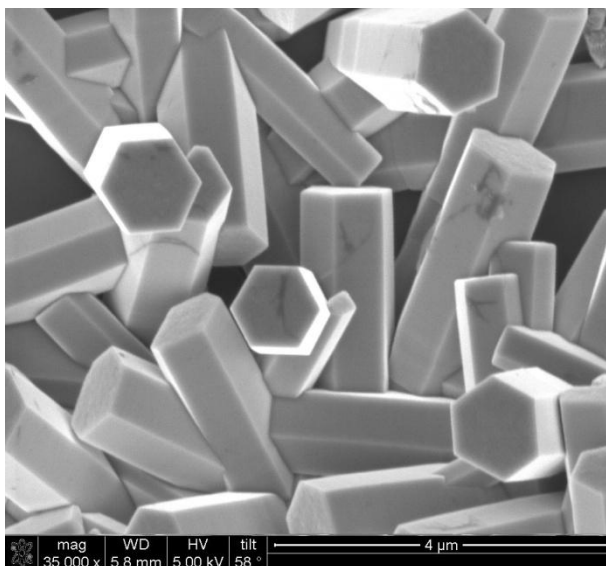
Čím dál tím více se použití stříbra dostává i do drogerijního a hygienického zboží, či funkčního prádla. Příkladem jsou hygienické ubrousky nebo antibakteriální spodní prádlo, k prevenci vzniku mykóz a množení bakterií [26, 28, 30, 31].

4.2 Nanočástice Oxidu zinečnatého

ZnO nanočástice patří k dalším významným antibakteriálním činidlům. Pokud jde o jejich účinnost, jsou velmi aktivní proti bakteriím *E. coli*, avšak oproti stříbrným nanočásticím vykazují podstatně nižší antibakteriální aktivitu v působení proti kvasinkám a plísním. Důvod, proč se použití nano ZnO v posledních letech rozrůstá, je jejich šetrné působení na životní prostředí a nižší náklady na jejich zpracování oproti jiným kovovým nanočinidlům, jako je zlato a stříbro. Jsou nejen biokompatibilní, ale i netoxické a biologicky bezpečné.

Nevýhodou ZnO nanočástic je jejich hydrofobnost, která vede k tendenci shlukovat se ve vodném prostředí. Tato vlastnost může v některých případech bránit další interakci s mik-

roorganismy a musí se brát v úvahu při navrhování vhodného začlenění nanočinnidla do polymerní matrice. Navíc při konstrukci kompozitního materiálu musí být správně zvolena koncentrace nano ZnO, aby byl jeho antibakteriální účinek významný [32, 33].



Obr. 5 SEM snímek nanočástic ZnO [34].

Baktericidní a bakteriostatický účinek nano ZnO je důsledek několika mechanismů, kdy dochází k poškození buněčné membrány:

1. Při styku nano ZnO s buňkami bakterií, ve vlhkém prostředí, dochází k produkci reaktivních forem kyslíku například H_2O_2 nebo hydroxylových radikálů. Jedná se o záporně nabitě částice, které nemohou proniknout buněčnou membránou, ale zůstávají v jejím přímém kontaktu. Tento mechanismus má za následek poškození proteinů, lipidů a DNA membrány, což vede k vážnému porušení buňky, úniku intracelulárního obsahu a následné smrti buňky.

2. Nahromadění velkého množství nano ZnO na bakteriální membráně má za následek její rozklad, popřípadě pohlcení nanočástic. Při internalizaci částice dochází, pod působením buněčné mízy, k porušení krystalinické struktury ZnO, to však není hlavní příčina smrti buňky.

3. Antibakteriální aktivita může být způsobena uvolňováním Zn iontů, které se vážou na stěnu membrány a mohou ji poškodit [33, 35].

Oxid zinečnatý se používá jako účinná antibakteriální látka již dlouho dobu. Je obsažen ve velkém množství dermatologických krémů a pleťových přípravků. Protože jsou nano ZnO netoxické a biokompatibilní s lidskou tkání, využívají se u nosičů léčiv a ve výplňových materiálech estetických zákroků [33].

4.3 Silice

Silice jsou esenciální oleje (taktéž aromatické oleje) s výraznou vůní. Obsahují je rostlinné organismy. Mohou se vyskytovat v plodech, kůře, listech nebo květech. Jsou to těkavé, bezbarvé látky, které se při delším skladování zakalují a tmavnou následkem oxidace. Mají vysokou viskozitu, dobré optické vlastnosti a ve vodě jsou málo rozpustné.

Získávání těchto látek lze provést více způsoby. V průmyslu se využívá extrakce pomocí těkavých rozpouštědel (např. benzenu). Tento způsob je dosti nákladný, ale zaručuje velmi kvalitní výsledek. Nejčastěji se využívá při výrobě parfémů. Další možností je destilace z vody. Výsledný produkt je důležitý pro farmaceutickou oblast, jelikož jeho vůně není tak kvalitní jako u extrakce. Lisováním produkují plody rostlin esenciální olej, který není zcela čistý a obsahuje i další složky, např. vodu či pektiny.

Jelikož jsou přírodními produkty, je jejich použití velmi výhodné. Každé antimikrobiální činidlo musí být schváleno pro použití jako potravinového obalu, jelikož dochází k jejich styku s potravinou. Přírodní extrakty mohou příznivě ovlivňovat chuť potravin a tím být více preferovány spotřebiteli. Navíc jejich použití bývá ve většině případů v souladu s předpisy.

Antimikrobiální působení esenciálních olejů nebylo doposud zcela pochopeno. Předpokládanou teorií je působení silic na membránu bakterií, kde blokují buněčné dýchání. Taktéž může docházet k zamezení transkripce DNA, nebo poničení buněčné stěny mikroorganismu. Působení na člověka většinou není škodlivé, avšak v ojedinělých případech mohou způsobovat podráždění pokožky nebo vyvolávat alergické reakce při pravidelném použití. Existují, ale i silice, které obsahují škodlivé látky a jejich požití je pro člověka nebezpečné [36, 37].

Esenciální oleje mají široké spektrum použití díky antibakteriálním vlastnostem, ale i intenzivní vůni. Najdeme je v kosmetickém a potravinářském průmyslu, farmaceutickém odvětví ale i v lékařství. V potravinářství se využívá řada esenciálních olejů nejen jako

antimikrobiální činidlo ale i k aromatizaci potravin. Důležitým zástupcem antimikrobiálních činidel jsou citrusové esenciální oleje (např. bergamot), které zamezují růstu mnoha druhů kvasinek, plísní, bakterií. Dalšími používanými silicemi jsou například hřebíčkový olej (maso), rozmarýnový (vepřová játra), skořicový (mléčné výrobky), oreganový olej (ryby), atd.

Antimikrobiální účinky vykazují esenciální oleje hlavně ve formě plynů, při správně zvolené koncentraci. Taktéž je důležité zvolení vhodné polymerní matrice, jelikož působením silic může docházet k poškození některých polymerních materiálů. Například u PS dochází k jeho částečnému rozpouštění a PVC folie tvrdnou nebo měknou v závislosti na použité látce.

V současné době se použití esenciálních olejů více zkoumá. Faktory jako postup přípravy, koncentrace a volba vhodného druhu silic jsou důležité pro efektivní působení, baktericidní a bakteriostatický účinek [36–38].

5 MOŽNÉ ZPŮSOBY PŘÍPRAVY AKTIVNÍCH FOLIÍ

Aktivní folie s antimikrobiálním účinkem je možné připravovat dvěma způsoby.

1. Aktivní látka je nanášena na povrch polymerní folie jako součást nátěrových hmot nebo tiskařských barev.
2. Zpracování aktivního činidla do struktury polymeru. Tento postup je součástí přípravy předsměsi.

5.1 Nanášení aktivního činidla

Aktivní látka může být součástí nátěrových hmot a tiskařských barev, které jsou nanášeny na předem vyhotovenou folii technologickými postupy natíráním a potiskováním.

Natírání – jedná se o ruční metodu nanášení nátěrové hmoty. Využívá se u látek, které příliš rychle nemění svou konzistenci a pomaleji schnou. Nanášení může být prováděno válečkem nebo štětcem, podle velikosti natírané plochy.

Stříkání – metoda spočívá v nastříkání nátěrové hmoty pomocí stříkací pistole. Působením tlakového vzduchu dochází k rozprášení malých kapiček hmoty na výrobek. Tato technika je velmi univerzální, ale používá se hlavně u rychle schnoucích látek.

Stírání – u tohoto postupu dochází ke kalibraci povrchu nanesené vrstvy nátěrové hmoty, nebo jejímu roznesení pomocí ocelových pravítek. Využívá se u plošných předmětů, desek a folií.

Potiskování – tato metoda se využívá při nanášení tiskařských barev. Důležitou vlastností barev je adheze k potiskovanému materiálu. U polymerních materiálů se využívají čtyři základní metody tisknutí:

- tisk z výšky,
- tisk z hloubky,
- síťový tisk,
- tisk z plochy.

Tisk z výšky využívá válce s vystouplutými plochami, kterými dochází k přenesení barvy na folii. Naopak válce při tisku z hloubky mají duté prohlubně, jejichž obsah je převáděn na tištěnou plochu. Sítotisk je vhodný u plošných materiálů. Nevyužívají se zde válce, ale barva je protlačovaná otvory síta pomocí natíracího nože [39].

5.2 Příprava předsměsi

Příprava předsměsi je postup, který se provádí před dalším výrobním procesem (vyfukováním, vytlačováním, aj.). Dochází k zabudování aktivního činidla do struktury polymeru. Důležitým úkolem je zajištění maximální homogenity směsi, vytlačení nežádoucího vzduchu a pokrytí všech částí plniva polymerní maticí. Tyto faktory a způsoby provedení předpřípravy ve velké míře ovlivňují vlastnosti a kvalitu výsledné folie.

V první fázi přípravy předsměsi je míchání nebo hnětení směsi a dalších přísad (antioxidanty, stabilizátory, aj.). Uplatněním velké smykové síly se docílí dispergace hmoty v celém objemu. Lepších výsledků a kratší doby procesu lze dosáhnout hnětením materiálu v menším množství, na rozdíl od velkých zařízení.

Další fází přípravy je plastikace, při které dochází k homogenizaci směsi polymeru a přísad. Využívá se např. šnekových extrudérů. Aby se předešlo degradaci materiálu, musí být udržována vhodná teplota a doba hnětení, která zároveň ovlivňuje kvalitu a promíchání plastikované směsi [39, 40].

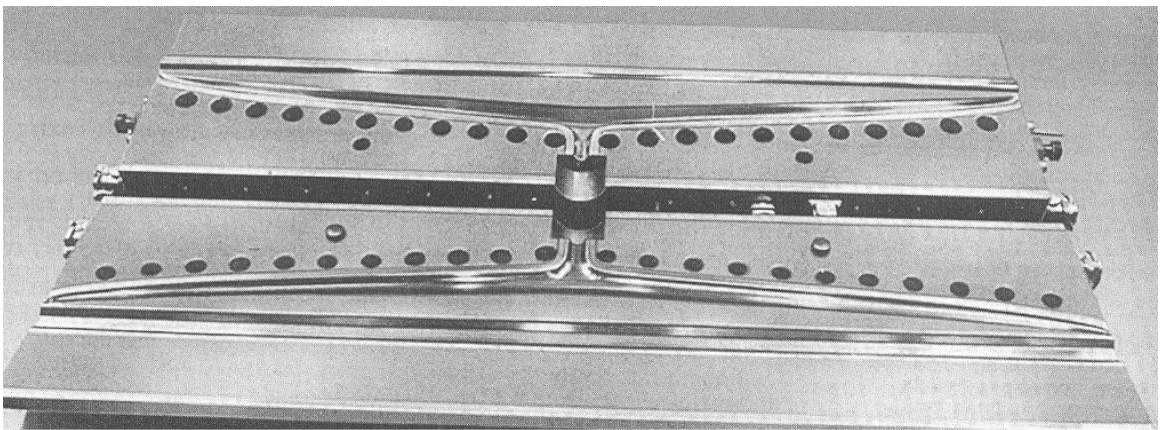
5.3 Vytlačování

Vytlačování je jeden z postupů výroby plošných materiálů, jako jsou folie a desky, ale také lze získávat trubky, profily, vlákna a oplášťovat jiné materiály. Vytlačovací stroj pro vytlačování folií je opatřen širokoštěrbinovou hlavou a jednošnekovým nebo dvojšnekovým zařízením, které má za úkol homogenizovat směs a rovnoměrně ji přivádět k hlavě.

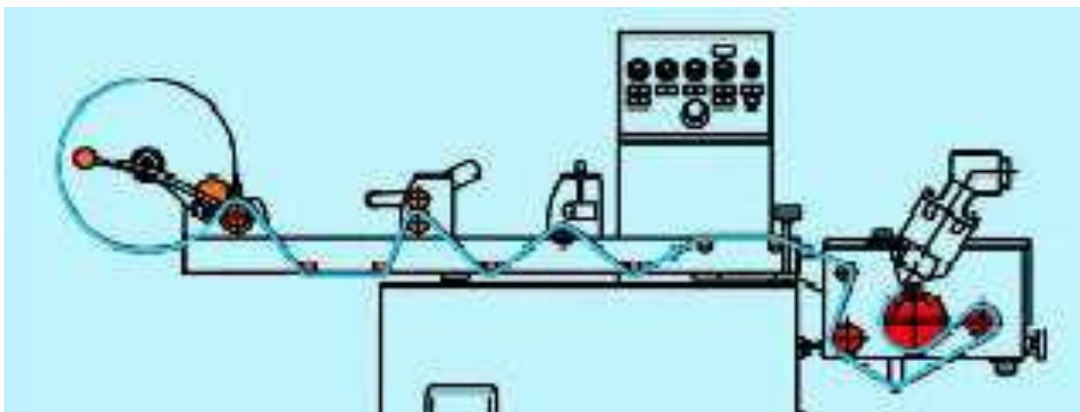
Folie vyráběné tímto způsobem mají větší pevnost v jednom směru, jelikož jsou odvíjením natahovány v podélném směru. Folie jsou po vytlačení chlazeny např. vzduchem, aby se zajistil nižší podíl krystalinity, společně s lepšími mechanickými a optickými vlastnostmi. Je nutné folii ochlazovat rovnoměrně po celé šířce, k zajištění stejných vlastností v celém jejím rozsahu. Součástí vytlačovací linky mohou být odtažné válce kontrolující správnou

tloušťku a zároveň působí jako chladiče, u kterých se teplota snáze koriguje, a jsou temperované podle druhu zpracovávaného materiálu. Před navíjením, přechází folie ještě přes přídatné zařízení například dopravníky, měřicí zařízení, kde se ořezávají okraje pomocí nožů anebo další nože, které mohou folii předem nasekávat.

Tímto způsobem se vyrábějí materiály z většiny termoplastů, nejčastěji z polyetylenu a polypropylenu a dalších. Lze získat folie tenké až do setin milimetru a o šířce i několik metrů [39, 41].



Obr. 6 Detail otevřené širokoštěrbinové vytlačovací hlavy [41].

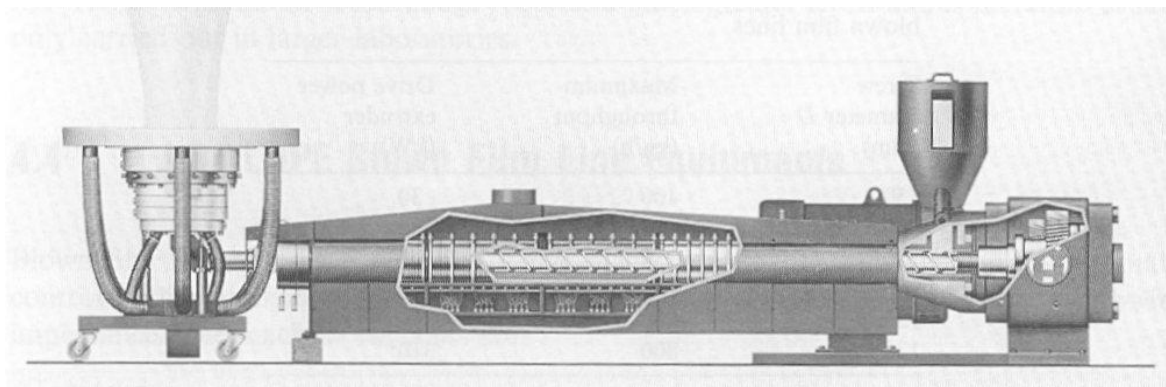


Obr. 7 Schéma linky na vytlačování folií. Součástí je šnekový vytlačovací stroj, širokoštěrbinová hlava, soustava válců a navíjecí ústrojí [42].

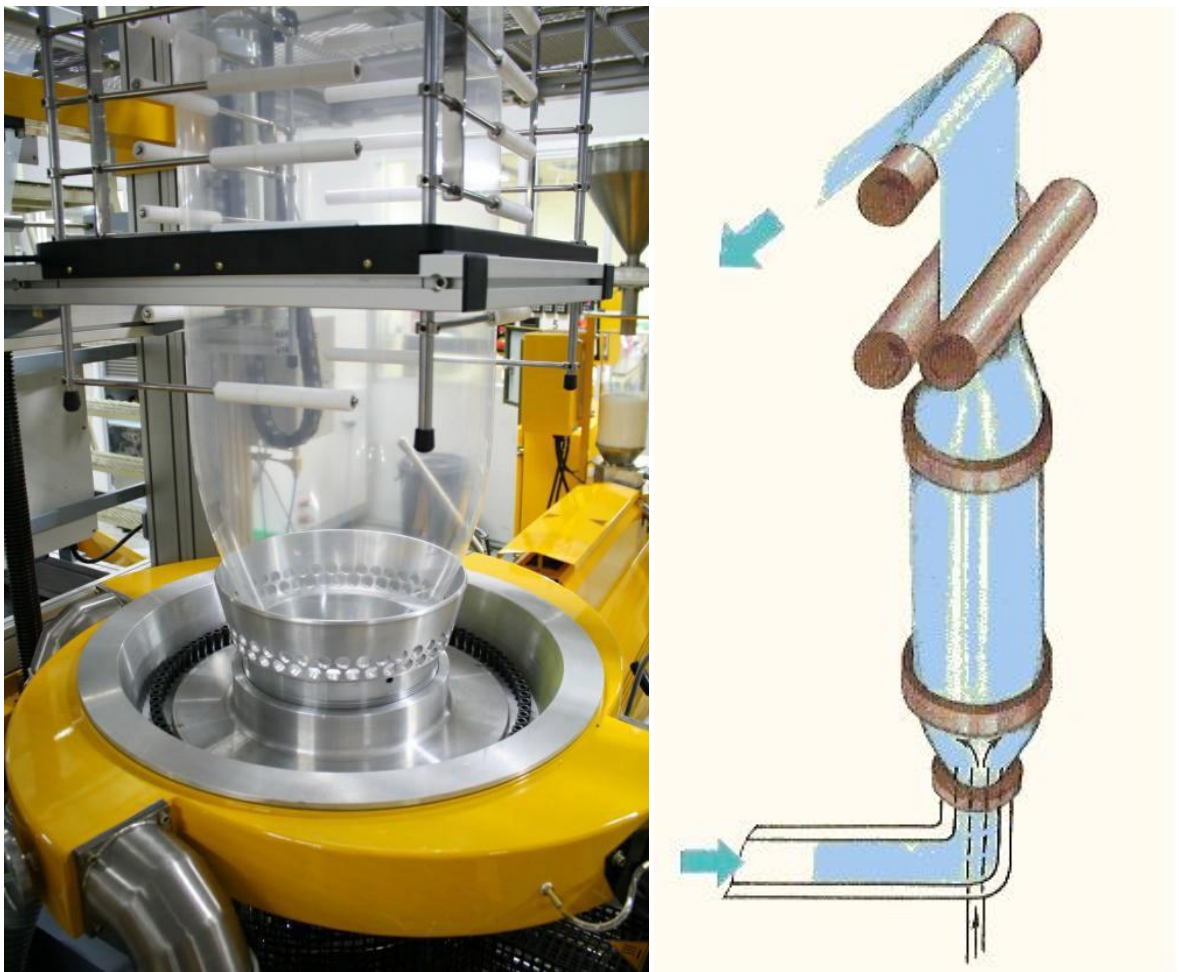
5.4 Vyfukování

Vyfukování folií je proces podobný vytlačování, ale dochází zde k vytlačování materiálu příčnou hlavou s kruhovou šterbinou a jeho následnému roztažení působením stlačeného vzduchu přiváděného dutým trnem v hlavě. Při roztažení v podélném i příčném směru vzniká velmi široký tenkostěnný rukáv s dobrou pevností v obou směrech. Trubkovitá folie je po vyfouknutí odváděna a stlačována k sobě dvěma proti sobě stojícími pryžovými válci. Ty rovněž zajišťují vytlačení vzduchu z prostoru mezi stěnami rukávu a nepropouští ho dále. Odtah může být konstruován více způsoby, nejčastější je horní odtah. U tohoto typu se vyfukování uskutečňuje směrem nahoru, kde jsou umístěny pryžové válce. O něco méně používané jsou odtahy spodní nebo boční. Součástí výrobní linky jsou pomocné vodící válečky a navíjecí zařízení.

Typické materiály zpracované touto technikou jsou HDPE a LDPE, ale také PP, PA aj. Tloušťka stěny vyrobené folie se pohybuje od 10 do 500 μm [39, 41].



Obr. 8 Výrobní linka na vyfukování folií [41].



Obr. 9 Vpravo vyfukovací hlava [43], vlevo schéma vyfukování folie [44].

5.5 Enkapsulace

Molekulární enkapsulace je způsob vytváření kompozitního materiálu. Dochází k uzavření několika molekul aktivního činidla v dutině polymerní matrice. Zpracovaná hmota může být v tuhém, kapalném i plynném stavu. Tato metoda je důležitá pro výrobu aktivních folií s obsahem plynů aromatických olejů, ale lze ji použít i pro nanočástice.

Enkapsulačním postupem lze docílit ochrany zpracovaného materiálu například před oxidací, UV zářením, působení rozpouštědel i okolního prostředí a dalších faktorů. Tímto způsobem zabudování plynu se oddaluje jeho úplné odpaření a prodlužuje se doba účinku. Fyzikální, chemickou nebo fyzikálně-chemickou cestou lze zpracovat materiál do matrice

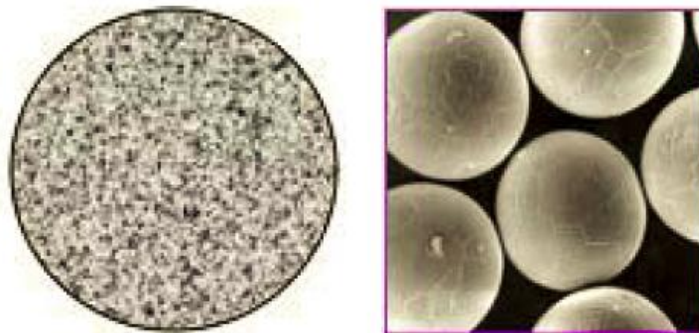
a k uvolňování může docházet řízenou degradací materiálu, chemickou reakcí, zahřáním, difúzí, hydrolyzou, řízenou degradací atd.

Existuje více druhů enkapsulačních systémů. Mezi tradiční patří:

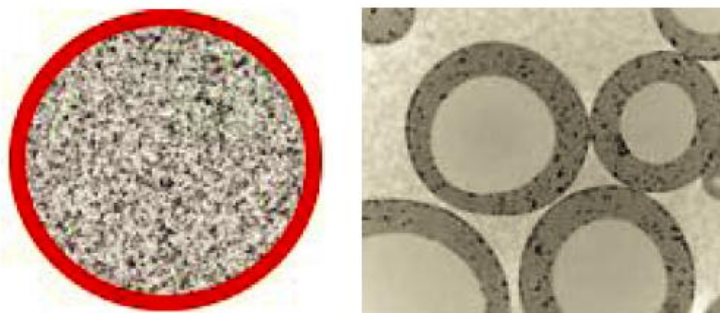
matricový typ – kde je aktivní činidlo dispergováno v polymeru,

membránový typ – polymerní materiál obaluje jinou tuhou látku s obsahujícím aktivním činidlem.

Oba typy jsou schopny řízeného uvolňování aktivního činidla [45, 46].



Obr. 10 Matricový systém [46].



Obr. 11 Membránový systém [46].

6 METODY HODNOCENÍ

Vlastnosti aktivních folií s antimikrobiálním účinkem jsou ovlivněny začleněním aktivních látek. Ty mohou nebo nemusejí ovlivňovat mechanické vlastnosti polymeru. Závisí na kompatibilitě antimikrobiálního činidla s polymerní matricí a jejich vzájemném poměru. Morfologické metody hodnocení nám pomáhají určit nejen disperzi plniva v matrici, ale také předcházet oslabení mechanických vlastností. U plniv malých rozměrů nedochází k příliš velkému ovlivnění těchto vlastností, ale mohou ovlivňovat optické vlastnosti polymeru, např. zabarvením nebo zakalením.

6.1 Morfologie

Při zjišťování disperze plniva v polymerní matrici a struktury materiálu se mohou využívat elektronové mikroskopy, které zvětšují zorný úhel a tím umožňují pozorovat předměty ve velikosti v desetinách až jednotkách nanometrů. Fungují na základě vlnových vlastností elektronů a mohou docílit 4krát lepšího rozlišení než optické mikroskopy. Částečnou nevýhodou těchto přístrojů je, že musí pracovat ve vakuu [47].

6.1.1 Skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop – SEM

U skenovací elektronové mikroskopie je snímek vytvářen elektrony, které postupně skenují povrch vzorku pomocí primárního elektronového paprsku, jehož zdrojem často bývá wolframové vlákno. Z tohoto primárního paprsku dále vznikají sekundární a odražené elektrony, které přinášejí zprávu o topografii a materiálovém složení vzorku. Výhodou tohoto měření je také vznik dalších signálů nesoucí informace o zkoumaném materiálu, např. Augerovy elektrony, rtg záření a katodoluminiscence. S jejich pomocí lze určit chemické složení daného vzorku a dalšími metodami i kvantitativní zastoupení jednotlivých prvků.

Jak už bylo zmíněno, SEM měření musí být prováděno ve vakuu. Velikost vakua se volí podle použitého elektronového zdroje. U vysokovakuových přístrojů se musí měřený vzorek upravovat, zejména iontově pokovovat. Problémem však jsou vzorky obsahující vodu, plyny a jiné kapaliny, které se vakuu odpařují a tím ničí strukturu materiálu. Tyto látky musí být proto před měřením odstraněny.

V dnešní době existují i nízkovakuové SEM zařízení, které umožňují pozorovat předměty s obsahem vody a navíc není třeba je před zkoumáním speciálně upravovat. U takovýchto mikroskopů však výrazně klesá rozlišení pořízeného snímku [47, 48].



Obr. 12 Skenovací elektronový mikroskop [49].

6.1.2 Transmisní (prozařovací) elektronový mikroskop – TEM

Dalším zařízením, zachycující materiál ve vysokém rozlišení, je transmisní elektronový mikroskop. Česky se taktéž označuje jako prozařovací, jelikož elektrony prochází vzorkem předtím, než jsou zachyceny na fluorescenčním stínítku. Prozařování probíhá v celé ploše vzorku najednou. Přístroj stejně jako SEM pracuje ve vakuu, aby nedocházelo k zeslabování proudu elektronů.

Zkoumaný vzorek je nutné před pozorováním upravovat. Důležité je, aby byl dostatečně tenký, a tím se zamezilo pohlcování elektronů. Provedením ultratenkých řezů pomocí skleněného nože se získávají potřebné vzorky o tloušťce asi 50nm. Jsou nutné i další úpravy povrchu vzorku, např. elektrochemické leptání nebo iontové poprašování.

Pokud jsou splněny určité podmínky a využívá se vysokých urychlovacích napětí (až několik set kilovolt), pak se rozlišení snímku blíží takové kvalitě, že lze zachytit jednotlivé atomy [47, 48].



Obr. 13 Transmisní elektronový mikroskop [50].

6.1.3 RTG difrakční analýza

RTG difrakční analýzou (známá také pod označením X-ray diffraction, XRD) se stanovuje struktura monokrystalických nebo polykrystalických pevných látek. Prášková rentgenová difrakce je způsob hodnocení polykrystalických struktur. Zle touto metodou provádět fázovou a strukturní analýzu a studium tenkých vrstev. Také je důležitým prostředkem při výzkumu nanočástic. Využívá se při identifikaci látky s krystalickou strukturou pomocí difraktogramu. Jedná se o relativně jednoduchý postup, s množstvím získaných informací.

Metoda pracuje pomocí rentgenového záření, které interaguje s elektrony atomů uspořádaných v krystalické fázi. Následně dochází k rozptylu a interferenci záření za vzniku difrakčního maxima. Difrakční obraz je ovlivněn právě uspořádáním atomů v prostoru a jejich druhem, jeho studiem lze určovat složení a strukturu krystalického vzorku [51].

6.2 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti jsou souhrnem chování polymerů při působení mechanických neboli vnějších sil. Jsou odrazem chemického složení, tvaru makromolekul a struktury materiálu. Mezi tyto vlastnosti patří pevnost v tahu, v tlaku, ohybu, tvrdost atd. [52].

Zkoušky využívané pro hodnocení mechanických vlastností se dělí na:

Krátkodobé – ke stanovení požadovaných parametrů dochází během několika minut. Patří zde např. zkouška tahem.

Dlouhodobé – stanovení probíhá delší časový interval. Zahrnují zkoušky rozdílné podle působící síly:

Statické – relaxace napětí, deformační zkoušky,

Dynamické – houževnatost, cyklické zkoušky.

6.2.1 Pevnost v tahu

Pevnost v tahu je významná vlastnost obalových folií. Stanovuje se trhací zkouškou. Vzorek je uchycen v trhacím zařízení a je definovanou rychlostí namáhán v jednom směru. Měří se maximální tahové napětí, odpovídající maximální síle potřebné k přetržení daného vzorku. Z měření lze určit i míra deformace neboli prodloužení, které během protahování materiálu vzniklo [52].

Hodnota tahového napětí (σ) se určuje vztahem:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

kde F je síla působící na folii ve směru rovnoběžném s povrchem,

A plocha průřezu folie příčného na směr působení síly F .

Deformace neboli relativní prodloužení (ξ) je charakterizována vztahem:

$$\xi = \frac{L}{L_0} \times 100$$

kde ξ je relativní prodloužení, které se vyjadřuje v procentech,

L_0 je délka vzorku ve směru působící síly před počátkem namáhání,

L je délka vzorku ve směru působící síly během protahování [53].

6.3 Antimikrobiální účinnost aktivních činidel

Antimikrobiální vlastnost znamená, že dané látky mají takzvanou selektivní toxicitu. Tímto pojmem se rozumí, že látky působí škodlivě jen na určitou škálu mikroorganismů, avšak nepoškozují buňky živočišných nebo rostlinných organismů. Každá antimikrobiální látka má své spektrum účinnosti zahrnující skupiny bakterií, na které látka negativně působí.

Mechanismus působení na mikroorganismy, může být:

Bakteriostatický – kdy aktivní látka brání růstu mikroorganismů,

baktericidní – aktivní látka usmrcuje bakterie.

Metody hodnocení antimikrobiální účinnosti se dělí na dva druhy:

kvantitativní – diluční metody, při níž dochází ke stanovení minimální baktericidní koncentrace, tedy množství antimikrobiální látky potřebného k usmrcení bakterií,

kvalitativní – difúzní metody, při kterých dochází k difúzi antibakteriální látky do okolí zdroje. Určují účinnost látek na dané druhy mikroorganismů. Bakterie, které použitá látka ničí, se označují jako citlivé. Pokud látce odolávají a jejich koncentrace se při působení aktivní látky zvětšuje, pak se označují za rezistentní.

Při testování folií s antibakteriálním účinkem se nejvíce využívá *disková difúzní metoda* na agaru. Používají se Mueller-Hintonové agarové půdy rozložené v Petriho miskách. Každá série agaru je naočkována suspenzí mikroorganismů jiné kultury. Následně jsou do půdy vloženy vzorky folie s antimikrobiálními aktivními činidly a jsou zde ponechány stanovenou inkubační dobu. Poté jsou vzorky odstraněny z misek a sleduje se růst mikroorganismů v delších časových intervalech.

Testování antibakteriálních vlastností u aktivních folií pomáhá nacházet mikroorganismy citlivé na účinnou látku, ale také řešit otázky ohledně potřebného množství aktivní látky v obalovém systému, rychlosti uvolňování činidla, době působení a aktivace, či dopady na člověka [54–56].

Kromě antimikrobiálních a morfologických vlastností lze u polymerních folií hodnotit také **bariérové vlastnosti**. Zhodnocuje se, jaké plyny, páry a aromatické látky daný vzorek propouští. Dále se hodnotí **optické vlastnosti folie**, **tepelné a elektrické vlastnosti**, **chemická odolnost** a **fyzikálně mechanické vlastnosti**, mezi které například patří **zkouška průrazu folií** nebo **zkouška strukturní pevnosti**, aj.

7 POUŽITÍ AKTIVNÍCH FOLIÍ V OBALOVÉ TECHNICE

Obalové systémy s nano aktivními činidly, jsou v rámci EU intenzivně zkoumány. Použití je omezeno nařízenímí komise EU o materiálech a předmětech z plastů pro styk s potravinami. Mechanismus působení nanočástic navíc není dodnes potřebně vysvětlen. Musí být pečlivě studováno množství migrující látky do potraviny, které nesmí překročit hodnotu 25 mg/kg a zdali toto množství nemá negativní dopady na člověka, ale i zvířata.

Působení nano Ag a ZnO bylo prokázáno v LDPE folii při balení kuřecího masa. Aktivní látky vykazovaly 99,99% účinnost na inkubované mikroorganismy a velmi nízkou migraci do potraviny, výrazně pod maximem povolovaného množství.

Dalším testovaným produktem byl čerstvý pomerančový džus. Polymerní folie LDPE se zabudovaným nano Ag a nano ZnO prokazatelně prodloužily trvanlivost. V případě obalu s obsahem ZnO se doba skladování při 4 °C prodloužila až na 28 dní. Tento výsledek byl lepší než u balení s obsahem nano Ag.

V budoucnosti by se mohlo využívat polymerních nástříků s obsahem antimikrobiálního činidla na zeleninu a ovoce, pro uchování čerstvosti a k ochraně před plísněmi. Tento způsob ochrany byl zkoumán na sterilizované hrušce a mrkvi, u kterých dokázal prodloužit dobu trvanlivosti o 2 až 4 dny.

V dnešní době se nanotechnologie využívá například v USA, Asii a Austrálii. V těchto zemích se můžeme setkat s takzvanými „fresh boxy“ neboli plastovými krabičkami na jídlo se zabudovaným nano Ag. Dále mohou být nanočástice stříbra obsaženy v chladničkách a mrazničkách, konvicích na čaj, v potazích na stolních přiborech, kuchyňském náčiní a dětských hrnících [46, 57-59].

V české republice se lze s nanočásticemi stříbra setkat například u čisticích prostředků, či v drogerijním zboží jako jsou krémy, sprchové gely, deodoranty, zubní pasty. Nanovlákná Ag čím dál více pronikají do textilního průmyslu. Lze se s nimi setkat u funkčního i spodního prádla a u ponožek. Zabraňují množení bakterií a předcházejí vzniku mykóz či plísní.

S rostoucí odolností bakterií na antibiotika se jejich účinnost podporuje přídatkem nano Ag. Tato metoda umožňuje podávání menších dávek antibiotik a obnovuje účinnost u již rezistentních bakterií. Stává se tak budoucností nejen při léčbě člověka ale i zvířat [60].

Množství *esenciálních olejů* přináší velký problém v hledání vhodného druhu k určené potravíně. Bylo provedeno mnoho testů, z nichž se velké množství silic jeví jako účinné. Avšak některé druhy přírodních aktivních látek mohou negativně působit na člověka, např. vyvolávat alergické reakce nebo být toxické. Zároveň se hledá univerzální látka, která by prodlužovala trvanlivost u více druhu potravin. Je proto nevyhnutelné další studium těchto látek.

V současné době mají silice své zastoupení ve farmacii a stomatologii, potravinářském a zemědělském průmyslu. V hygienickém a kosmetickém zboží mohou být obsaženy v mýdlech, čistících prostředcích, make-upech a parfémeh. V potravinářství se využívají jako konzervanty či aditiva [61, 62].

Esenciální olej extraktu z grapefruitových jader zabudovaný v polyetylenové vícestvrstvé folii byl testován při balení mletého masa. Byl prokázán antimikrobiální účinek na aerobní bakterie a viditelný vliv aktivní folie na prodloužení kvality masa.

Byla hodnocena antimikrobiální aktivita proti širokému spektru bakterií u esenciálních olejů hřebíčku, skořice, oregana zabudovaných v polypropylenové folii a folii kopolymeru polyethylen/EVOH. Polypropylenové folie se prokázaly účinnější než PE/EVOH folie. Dokázaly inhibovat růst plísní, a však bylo nutné měnit koncentrace aktivních látek pro dosažení účinku na gram-pozitivní a gram-negativní bakterie. Také byl proveden test doby použitelnosti, který ukázal, že jsou folie účinné ještě dva měsíce po jejich výrobě.

Čisté esenciální oleje eugenol, tymol a mentol byly přidány samostatně jako součást atmosféry do polypropylenových obalů čerstvých třešní a testovala se jejich účinnost při skladování po dobu 16 dnů. Výsledkem byla prodloužená doba bez ztráty vody a hmotnosti nebo změny barvy ovoce. Zároveň byl testován i vliv eukalyptolu, který však neměl na uchování lepší vliv, naopak byl výsledek horší než u kontrolního vzorku neobsahujícího silice. Při srovnání s kontrolním vzorkem, snížily aktivní látky eugenol, tymol a mentol výskyt plísní a kvasinek.

Působení silic bylo testováno i v souvislosti s tzv. repelentním balením. Aktivní látka byla obsažena ve vnější vrstvě bariérové folie a účinně působila proti napadání balené mouky hmyzem [63–66].

ZÁVĚR

Bakalářská práce přináší souhrn informací o aktivních foliích s antimikrobiálním účinkem a o pojmech s nimi spojené. Zaobírá se hlavně polymerními foliemi s aktivními činnými nano Ag a nano ZnO, jelikož za poslední roky bylo u těchto materiálů provedeno mnoho testů a zdají se být velmi slibnými pro budoucí působení v aktivních obalových systémech. Další rozebíranou aktivní látkou jsou esenciální oleje, které mají výhodu přírodního produktu. Jejich schválení jako součást balení pro styk s potravinou by mohlo být dříve realizováno, na rozdíl od kovových nanočástic. Skutečnost že jsou esenciální oleje přírodními produkty, by mohlo mít pozitivní vliv na spotřebitele a zajistit tak rychlejší prosazení na trhu.

Objevuje se stále více studií potvrzující účinnost zmiňovaných aktivních činných v souladu s nařízením EU o množství migrující látky do potravin a diskutující o možných dopadech na člověka. Aktivní látky silice, nano Ag a nano ZnO jsou již součástí některých výrobků vyskytující se na trhu u nás, ale především ve světě. I přesto nelze nástup aktivních obalových systémů s antimikrobiálním účinkem předpovídat. Stále je zde potřeba hledat účinnější a univerzální aktivní činná, metody výroby, a kombinace polymerních materiálů, které by potravinám zajistily lepší podmínky uchovávání a prodloužily jejich dobu čerstvosti a trvanlivosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HAN, J. H. *Antimicrobial packaging systems*. Innovations in food packaging. San Diego, Calif: Elsevier Academic, 2005. s. 80-101. ISSN 0-12-311632-5.
- [2] STEJSKALOVÁ, Z. a A. SVOBODOVÁ. *Aplikace biodegradabilních obalových materiálů v potravinářství, zemědělství, farmacii, atd.* Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, 2009. Seminární práce.
- [3] ŠTĚPEK, J. A KOL. *Polymery v obalové technice*. vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981, 530, [1] s. [4] s. barev. fot. příl.
- [4] *Balení prodlužuje trvanlivost potraviny*. Packaging [online]. Richtr & Co., spol. s r. o. 2008, roč.16, č. 1, s. 10-12. [cit. 2014-03-12]. ISSN 1211-9202. Dostupné z: <http://www.packaging.cz>
- [5] *Potravinové obaly mohou chránit a informovat spotřebitele*. Gate2Biotech [online]. 29.11.2007 [cit. 2014-03-12]. Dostupný z [www: http://www.gate2biotech.cz/potravinove-obaly-chrani-informuji-spotrebitele/](http://www.gate2biotech.cz/potravinove-obaly-chrani-informuji-spotrebitele/)
- [6] ROONEY, M. L. *Introduction to aktive food packaging technologies*. Innovations in food packaging. San Diego, Calif: Elsevier Academic, 2005. s. 63- ISSN 0-12-311632-5
- [7] BALASUBRAMANIAN, A., et al. *Antimicrobial Packaging: Potential vs. Reality - A Review*. Journal of Applied Packaging Research, 2009, vol. 3, no. 4, s. 193-221.
- [8] KOŘÍNEK, Z. *Polymerní matrice* [online]. [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: <http://mujweb.cz/zkorinek/matrice.pdf>
- [9] MACHEK, V. a J. SODOMKA . *Polymery a kompozity s polymerní maticí*, Nauka o materiálu, 4. část. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008, 86 s. ISBN 978-80-01-03927-4.
- [10] *Výroba ethylenu*. petroleum.cz [online]. 2007-2014. [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-49.aspx>
- [11] MLEZIVA, J. a J. ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. aktualizované vydání. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 8085920727.

- [12] eurofolie.nl: *PE folie*. [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://eurofolie.nl/producten/pefolie/>
- [13] DOBIÁŠ, J. a D. ČURDA. *Balení potravin*. [online] Praha: vysoká škola chemicko-technologická v Praze, ústav konzervace potravin a technologie masa, 2004. [cit. 2014-03-20].
Dostupné z: http://www.vscht.cz/ktk/www_324/studium/B/B.pdf
- [14] *Polypropylenové fólie*. Europlast.cz [online]. 2010 [cit. 2014-03-22].
Dostupné z: <http://www.europlast.cz/cs/polypropylenove-folie/>
- [15] *BOPP (polypropylenové) fólie*. oskarplast.cz [online]. [cit. 2014-03-22]
Dostupné z: <http://www.oskarplast.cz/folie/bopp-polypropylenove-folie>
- [16] mirwecfilm.com: *PP folie*. [online] MIRWEC Film, Inc, 2013. [cit. 2014-03-22]. Dostupný z: <http://www.mirwecfilm.com/bopp-film.php>
- [17] RICHTEROVÁ, V. Pocta PET láhvi. [online]. © Veronika Richterová 2014. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.veronikarichterova.com/pet/>
- [18] Tiefziehen.com: *PET – polyethylentereftalát*. [online]. © 2014 plasticsystems.cz. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://tiefziehen.com/cz/PET/>
- [19] KOZLOVSKÁ, H. a B. BOHANESOVÁ. *Oděvní materiály*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Informatorium, 1998, 2 sv. ISBN 80-86073-29-72.
- [20] DUNCAN, T. V., et al. *Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors*. Journal of Colloid and Interface Science [online]. 2011, vol. 363, issue 1, s. 1-24 [cit. 2014-04-02]. DOI: 10.1016/j.jcis.2011.07.017. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021979711008642>
- [21] TESAŘÍKOVÁ SVOBODOVÁ, A. *Příprava polymerních bariérových fólií*. Zlín, 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická.
- [22] LANGTHALER, J. *Bariérové vlastnosti kopolymeru ethylenvinylalkoholu EVOH*. [online]. VOŠ obalové techniky a Střední škola Štětí. [cit. 2014-04-02].
Dostupné z: http://www.odbornaskola.cz/joomla/images/stories/barirov_vlastnosti_kopolymeru_etylenvinylalkoholu_evoh.pdf

- [23] MURIEL-GALET, V. *Antimicrobial food packaging film based on the release of LAE from EVOH*. International Journal of Food Microbiology [online]. 2012, vol. 157, issue 2, s. 239-244 [cit. 2014-04-02]. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2012.05.009.
Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168160512002577>
- [24] OULIK, P. *Měření mechanických vlastností a nasákavosti ve vodě laminačních folií používaných ve fotovoltaických panelech*. Plzeň 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra technologií a měření.
- [25] KADLČÁK, J. *Ionomery*. Zlín, 2008. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická.
- [26] AZEREDO, Henriette M.C. de. *Antimicrobial nanostructures in food packing*. Trends in Food Science & Technology [online]. 2013, vol. 30, issue 1, s. 56-69 [cit. 2014-04-09]. DOI: 10.1016/j.tifs.2012.11.006 Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224412002671>
- [27] AZEREDO, Henriette M.C. de. *Nanocomposites for food packaging applications*. Food Research International [online]. 2009, vol. 42, issue 9, s. 1240-1253 [cit. 2014-04-09]. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.03.019. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096399690900091X>
- [28] DALLAS, P., V. K. SHARMA a R. ZBORIL. *Silver polymeric nanocomposites as advanced antimicrobial agents: Classification, synthetic paths, applications, and perspectives*. Advances in Colloid and Interface Science [online]. 2011, vol. 42, issue 9, s. - [cit. 2014-04-09]. DOI: 10.1016/j.cis.2011.05.008.
Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0001868611001175>
- [29] Alibaba.com: *Nano stříbro prášek* [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://vietnamese.alibaba.com/product-tp/silver-nano-powder-115245211.html>
- [30] MRÁZKOVÁ, R. *Klinické použití moderního obvazu s ionty stříbra - Askina® Calgitrol Ag* [online]. © 2014 B. Braun Medical s.r.o. [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://braunoviny.bbraun.cz/clanky/klinicke-pouziti-moderniho-obvazu-s-ionty-stibra-askinaz-calgitrol-ag/>

- [31] Nanosilver.cz. [online] © 2008-2014 NanoTrade, s.r.o. [cit. 2014-04-09].
Dostupné z: <http://www.nanosilver.cz/>
- [32] TANKHIWALE, R a S. K. BAJPAI. *Preparation, characterization and antibacterial applications of ZnO-nanoparticles coated polyethylene films for food packaging*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces [online]. 2012, vol. 90, s. 16-20 [cit. 2014-04-10]. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2011.09.031. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927776511005546>
- [33] HUANG, Z., et al. *Toxicological Effect of ZnO Nanoparticles Based on Bacteria*. Langmuir [online]. 2008, vol. 24, issue 8, s. 4140-4144 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/la7035949>
- [34] Amazingrust.com: *Growth and Characterization of Wide Band Gap Semiconductors (Zinc Oxide, Zinc Sulfide)*. [online] 2007. [cit. 2014-04-10].
Dostupné z: http://www.amazingrust.com/Experiments/current_projects/ZnO-Nanorods.html
- [35] EMAMIFAR, A., et al. *Effect of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on inactivation of Lactobacillus plantarum in orange juice: Classification, synthetic paths, applications, and perspectives*. Food Control [online]. 2011, vol. 22, 3-4, s. 408-413 [cit. 2014-04-10]. DOI: 10.1016/j.foodcont.2010.09.011.
Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956713510002884>
- [36] BACÍLKOVÁ, B a H. PAULUSOVÁ. *Vliv silic a jejich hlavních účinných látek na mikroorganismy a na archivní materiál*. Národní archiv Praha [online]. 2012 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.nacr.cz/Z-files/silice/silice.pdf>
- [37] BURT, S., et al. *Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review*. International Journal of Food Microbiology [online]. 2004, vol. 94, issue 3, s. 223-253 [cit. 2014-04-21]. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022.
Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168160504001680>
- [38] FISHER, K. et al. *The effect of lemon, orange and bergamot essential oils and their components on the survival of Campylobacter jejuni, Escherichia co-*

- li O157, Listeria monocytogenes, Bacillus cereus and Staphylococcus aureus in vitro and in food systems: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review.* Journal of Applied Microbiology [online]. 2006, vol. 101, issue 6, s. 1232-1240 [cit. 2014-04-21]. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2006.03035.x. Dostupné z: <http://www.blackwell-synergy.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2672.2006.03035.x>
- [39] DUCHÁČEK, V. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011, 276 s. ISBN 978-80-7080-788-0.
- [40] BAREŠ, R. *Kompozitní materiály*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1988, 325 s.
- [41] *Technologie II*. [online]. Technická univerzita Liberec, fakulta strojní [cit. 2014-04-27].
Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/
- [42] MĚŘÍNSKÁ, D. *Vytlačování*. Učební texty. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, Ústav inženýrství polymerů.
- [43] plasticportal.cz: *COMPUPLAST představuje: 5-vrstvá koextruzní linka na vyfukování tubulárních fólií od Labtech Engineering Co., Ltd.* Plasticportal.cz [online]. 2013 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/>
- [44] ok1zed.sweb.cz: *Plasty - nové (umělé) hmoty*. Jzed 21.XII.2007 [online]. 2007 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://ok1zed.sweb.cz/s/01-machine-tech/plast.htm>
- [45] ZUIDAM, N. J. a V. NEDOVIĆ. *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing*. London: Springer, 2009, x, 400 p. ISBN 14-419-1007-7.
- [46] KVASNIČKOVÁ, A. *Aplikace nanotechnologie v potravinářství*. [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z:
http://www.nanotechnologie.cz/storage/Nanotechnologie_web-final.pdf
- [47] CHVÁTALOVÁ, L. *Elektronové mikroskopy* [online]. [cit. 2014-05-04].

Dostupné z:

http://www.fch.vutbr.cz/~zmeskal/obring/presentace_2003/20_elektronove_mi_kroskopy.pdf

- [48] *Elektronová mikroskopie pro biologi*. [online]. © 2001 < Jana Nebesářová > [cit. 2014-05-04].

Dostupné z: <http://www.paru.cas.cz/lem/book/Podkap/8.1.html>

- [49] geos.ed.ac.uk: *The Scanning Electron Microscope (SEM)*. GeoSciences [online]. [cit. 2014-05-04].

Dostupné z: <http://www.geos.ed.ac.uk/sidecar/sem-facility/specs/>

- [50] HEWETT, J. *Salk Institute pushes limits of biological imaging*. optics.org [online]. 2011 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://optics.org/indepth/2/3/2>

- [51] MÁŠILKO, J. *Rentgenová difrakční analýza na práškových vzorcích*. Chempoint.cz [online]. 2011 [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/rentgenova-difrakcni-analyza-na-praskovych-vzorcich>

- [52] ŠVORČÍK, V. *Polymery*. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ipl/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>

- [53] *Stanovení pevnosti v tahu u měkkých obalových fólií*. [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, ústav konzervace potravin a technologie masa [cit. 2014-05-10].

Dostupné z: http://www.vscht.cz/ktk/www_324/lab/navody/oborI/textura03.pdf

- [54] *Metody stanovení koncentrace bakterií. Metody určování citlivosti a rezistence bakterií k antibiotikům, chemoterapeutikům a dezinfekčním prostředkům. Průkaz betalaktamáz*. [online]. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, Fakulta veterinárního lékařství. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://fv1.vfu.cz/sekce_ustavy/infekcni_choroby_mikrobiologie/pedagog/mikrobiologie_pro_farmaceuty/praktikum05/index.html

- [55] SOBKOVÁ, K. *Antibakteriální účinky přírodních látek*. Pardubice 2009. Diplomová práce. Univerzita Pardubice Fakulta chemicko – technologická.

- [56] KAŇA, P. *Možnosti přípravy antibakteriálního polystyrenu pomocí plniv*. Zlín, 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická.

[57] PANEA, B., et al. *Effect of nanocomposite packaging containing different proportions of ZnO and Ag on chicken breast meat quality: Classification, synthetic paths, applications, and perspectives*. Journal of Food Engineering [online]. 2014, vol. 123, s. 104-112 [cit. 2014-05-20]. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.09.029.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0260877413004998>

[58] EMAMIFAR, A., et al. *Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice*. Innovative Food Science [online]. 2010, vol. 11, issue 4, s. 742-748 [cit. 2014-05-20]. DOI: 10.1016/j.ifset.2010.06.003.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856410000664>

[59] MOHAMMED FAYAZ, A., et al. *Mycobased Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Incorporation into Sodium Alginate Films for Vegetable and Fruit Preservation: Barrier materials, antimicrobials and sensors*. Journal of Agricultural and Food Chemistry [online]. 2009-07-22, vol. 57, issue 14, s. 6246-6252 [cit. 2014-05-21]. DOI: 10.1021/jf900337h. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf900337h>

[60] HRADILOVÁ, V. *Olomoučtí vědci umějí posílit účinek antibiotik, pomáhá stříbro*. Novinky.cz [online], červen 22. 2013. [cit. 2014-05-21]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/veda-skoly/308406-olomoucti-vedci-umeji-posilit-ucinek-antibiotik-pomaha-stribro.html>

[61] SADAKA, F., et al. *Review on antimicrobial packaging containing essential oils and their active biomolecules*. Innovative Food Science [online]. 2013, vol. 20, s. 350- [cit. 2014-05-22]. DOI: 10.1016/j.ifset.2013.01.004. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856413000209>

[62] BAKKALI, F., et al. *Biological effects of essential oils – A review*. Food and Chemical Toxicology [online]. 2008, vol. 46, issue 2, s. 446-475 [cit. 2014-05-23]. DOI: 10.1016/j.fct.2007.09.106.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278691507004541>

[63] SERRANO, M., et al. *The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage*. Innovative Food Science [online]. 2005, vol. 6, issue 1, s. 115-123 [cit. 2014-05-27]. DOI: 10.1016/j.ifset.2004.09.001.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1466856404000827>

- [64] HA, Jung-Uk, et al. *Multilayered antimicrobial polyethylene films applied to the packaging of ground beef*. Packaging Technology and Science [online]. 2001, vol. 14, issue 2, s. 55-62 [cit. 2014-05-27]. DOI: 10.1002/pts.537.
Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/pts.537>
- [65] LÓPEZ, P., et al. *Development of Flexible Antimicrobial Films Using Essential Oils as Active Agents*. Journal of Agricultural and Food Chemistry [online]. 2007, vol. 55, issue 21, s. 8814-8824 [cit. 2014-05-27]. DOI: 10.1021/jf071737b. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf071737b>
- [66] LICCIARDELLO, F., et al. *Effectiveness of a novel insect-repellent food packaging incorporating essential oils against the red flour beetle (*Tribolium castaneum*): Barrier materials, antimicrobials and sensors*. Innovative Food Science [online]. 2013, vol. 19, issue 14, s. 173-180 [cit. 2014-05-22]. DOI: 10.1016/j.ifset.2013.05.002.
Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S146685641300081713>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	Procento
°C	Stupeň Celsia
A	Plocha průřezu folie
Ag	Stříbro
ATP	Adenosintrifosfát
BOPP	Biaxiálně orientovaný polypropylen
CPP	Neorientovaný polypropylen
ČR	Česká republika
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
EU	Evropská unie
EVA	Etylvinylacetát
EVOH	Etylvinylalkohol
F	Síla působící na folii ve směru rovnoběžném s povrchem
H ₂ O ₂	Peroxid vodíku
HDPE	Vysoce hustotní polyethylen
L	Délka vzorku ve směru působící síly před počátkem namáhání
L ₀	Délka vzorku ve směru působící síly během protahování
LDPE	Nízkohustotní polyethylen
LLDPE	Lineární nízkohustotní polyethylen
MDPE	Středně hustotní polyethylen
mg/kg	Miligram na kilogram
nm	Nanometr
O ₂	Kyslík
PA	Polyamid
PE	Polyethylen

PET (PETP)	Polyethyltereftalát
pH	Vodíkový exponent
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
RTG	Rentgenové záření
SEM	Skenovací elektronový mikroskop
TEM	Transmisní elektronový mikroskop
UHMW-PE	Polyethylen s ultravysokou molekulovou hmotností
USA	Spojené státy americké
UV	Ultra fialové
VA	Vinilacetát
XRD	Rentgenová difrakce
ZnO	Oxid zinečnatý
ξ	Relativní prodloužení
σ	Napětí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Folie HDPE [12].....	14
Obr. 2 Polypropylenová folie [16].....	16
Obr. 3 (a) TEM snímek působení nanočástic stříbra na buňku bakterie E. coli, (b) TEM fotografie zachycující nanočástice nahromaděné na membráně buňky a proniklé do buňky [28].	22
Obr. 4 Snímek nanočástic Ag [29].....	23
Obr. 5 SEM snímek nanočástic ZnO [34].....	24
Obr. 6 Detail otevřené širokoštěrbinové vytlačovací hlavy [41].	29
Obr. 7 Schéma linky na vytlačování folií. Součástí je šnekový vytlačovací stroj, širokoštěrbinová hlava, soustava válců a navíjecí ústrojí [42].	29
Obr. 8 Výrobní linka na vyfukování folií [41].....	30
Obr. 9 Vpravo vyfukovací hlava [43], vlevo schéma vyfukování folie [44].	31
Obr. 10 Matricový systém [46].	32
Obr. 11 Membránový systém [46].	32
Obr. 12 Skenovací elektronový mikroskop [49].	34
Obr. 13 Transmisní elektronový mikroskop [50].	35