

**Příprava a charakterizace
polymerních systémů
pro speciální aplikace
s využitím biologicky
aktivních látek
přírodního původu**

Ing. Miroslava Dušánková, Ph.D.

Teze disertační práce

Teze disertační práce

**Příprava a charakterizace polymerních systémů pro
speciální aplikace s využitím biologicky aktivních
látek přírodního původu**

**Preparation and Characterization of Polymer Systems for Special
Application Utilizing Natural Biologically Active Compounds**

Autor: **Ing. Miroslava Dušánková, Ph.D.**

Studijní program: Chemie a technologie materiálů (P2808)

Obor: Technologie makromolekulárních látek (2808V006)

Školitel: prof. Ing. Vladimír Sedlařík, Ph.D.

Oponenti: prof. Ing. Petr Slobodian, Ph.D.
doc. Ing. Adriána Kovalčík, Ph.D.

Zlín, leden 2022

© Miroslava Dušánková

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici Doctoral Thesis.

Publikace byla vydána v roce 2022

Klíčová slova: *biologicky aktivní látky, biologicky aktivní polymerní systémy, esenciální oleje, estragol, linalool, nízkohustotní polyethylen, polymer kyseliny mléčné, polymethylmethakrylát, trans-anethol*

Key words: *Bioactive Polymer Systems, Biologically Active Substances, Essential Oils, Estragole, Lactic Acid Polymer, Linalool, Low-density Polyethylene, Polymethylmethacrylate, Trans-anethole*

Plná verze disertační práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-065-1

Poděkování

Ráda bych poděkovala zejména svému školiteli prof. Ing. Vladimíru Sedlaříkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval po celou dobu doktorského studia. Děkuji mu rovněž za jeho odborný dohled, vstřícnost a trpělivost při zpracování této práce.

Touto cestou bych také ráda vyjádřila poděkování všem svým kolegům za všechny rady, které mi během doktorského studia poskytli.

Zvláštní poděkování patří především mému manželovi, bratrovi a rodičům, kteří mě podporovali v průběhu celého doktorského studia. Děkuji jim za jejich bezmeznou trpělivost při psaní této práce.

OBSAH

ABSTRAKT	5
ABSTRACT.....	5
ÚVOD.....	6
1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	7
1.1 Biologicky aktivní látky	7
1.2 Modifikace polymerních matric pomocí BAL	11
1.2.1 Nemigrující biologicky aktivní polymerní systémy	11
1.2.2 Migrující biologicky aktivní polymerní systémy	11
1.2.3 Enkapsulace BAL	13
1.3 Imobilizace BAL na pevné nosiče.....	15
CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE.....	18
2. SHRUTÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI.....	19
2.1 Polymerní kompozity na bázi LDPE s BAL imobilizovanými na pevných nosičích	19
2.2 Příprava mikrosfér na bázi PLA, PMMA a jejich směsí s obsahem BAL	27
ZÁVĚR	34
PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI.....	35
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	36
SEZNAM OBRÁZKŮ	52
SEZNAM TABULEK.....	52
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	53
SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA	55
ŽIVOTOPIS	57

ABSTRAKT

Předložená disertační práce se zabývá výzkumem biologicky aktivních polymerních systémů na bázi syntetických polymerů modifikovaných složkami esenciálních olejů. Hlavní pozornost byla věnována výzkumu a popisu aspektů vedoucích k rozšíření zpracovatelských podmínek zkoumaných systémů, a tedy i k jejich praktické aplikovatelnosti. Experimentální část se primárně zaměřuje na studium procesu imobilizace složek esenciálních olejů na pevný nosič pro následnou termoplastickou přípravu kompozitních systémů. Další část práce popisuje možnosti využití enkapsulačních technik pro tvorbu polymerních mikrosfér. V rámci výzkumu byly definovány metody pro kvantitativní stanovení aktivních látek v polymerních systémech pomocí pokročilých analytických technik. Nedílnou součástí bylo také studium kinetiky uvolňování aktivních látek ze systémů včetně stanovení jejich antibakteriální účinnosti. Získané výsledky ukazují významný potenciál vyvinutých systémů pro uplatnění v praxi.

ABSTRACT

The doctoral thesis deals with the research of biologically active polymer systems based on synthetic polymers, which were modified with components of essential oils. The main attention was paid to the study and description of aspects leading to the extension of processing window of the investigated systems, and thus to their practical application. The experimental part is primarily focused on the study of the process of immobilization of essential oil components on a solid carrier for the subsequent thermoplastic preparation of composite systems. The next part of the thesis describes the possibilities of using encapsulation techniques for the formation of polymer microspheres. As a part of the research, the methods for the quantitative determination of active substances in polymer systems were defined using the advanced analytical techniques. An integral part of the thesis comprises the study of the release kinetics of active substances from the developed systems, including the determination of their antibacterial activity. The obtained results show a significant potential of the developed systems for their application in practice.

ÚVOD

Polymerní materiály se díky svým všestranně výhodným vlastnostem staly neodmyslitelnou součástí našeho každodenního života. Rozsah jejich aplikace je stále intenzivnější a širší, a proto i výzkum a vývoj v oblasti polymerních věd čelí neustále vyšším požadavkům na jejich přidané funkční vlastnosti, a tím i přidanou hodnotu konečného produktu [1].

Jednou z nejproblematictějších vlastností polymerů je jejich náchylnost k osídlení různými patogenními mikroorganismy (MO). Největší problém nastává samozřejmě ve zdravotnictví. Zde může docházet k mikrobiální kontaminaci zařízení, přístrojů, povrchů či implantátů. V tomto smyslu se problémy týkají i potravinářského průmyslu, kde například vlivem mikrobiálního osídlení obalového materiálu dochází ke znehodnocení potravin. To může v konečném důsledku způsobit ohrožení lidského zdraví, ale i zvýšenou ekonomickou zátěž (např. náklady na léčení) [2, 3].

Zajímavým řešením tohoto problému může být vývoj biologicky aktivních polymerních systémů (BPS), tedy systémů, složených z přírodní nebo syntetické polymerní matrice a z biologicky aktivních látek (BAL). Tyto systémy dokáží vyvolat specifickou biologickou odezvu, mezi kterou se mimo jiné řadí i antimikrobiální aktivita polymeru [4].

BAL, které je možno využívat pro modifikaci polymerní matrice, existuje celá řada. Mohou být přírodního i syntetického původu. V případě využití syntetických BAL je spotřebitel vystaven potenciálnímu riziku nežádoucích vedlejších účinků a možného rozvoje rezistence. V posledních letech roste preference využívání BAL přírodního původu. Z důvodu velmi širokého spektra biologických vlastností se jeví jako vhodné využití složek esenciálních olejů (EO). Ty vykazují např. antioxidační, antimikrobiální, insekticidní vlastnosti [5–11].

Využití složek EO je však limitováno jejich vysokou těkavostí. Možné řešení lze nalézt v adsorpci složek EO na polymerní plniva a následném zakomponování do matrice polymeru [12]. Dalším možným způsobem ochrany těkavých aktivních látek před vypařováním, oxidací nebo termální degradací může být metoda mikroenkapsulace. Nespornou výhodou mikroenkapsulace je dosažení kontrolovaného uvolňování BAL, což může být opět využito v různých průmyslových oborech [13].

Tato disertační práce se zabývá modifikací polymerních materiálů pomocí BAL přírodního původu. Výzkum se zaměřuje na inkorporaci těchto látek do polymerní matrice termoplastickým způsobem a také metodou enkapsulace. Takto modifikované polymery mohou nacházet uplatnění v mnoha odvětvích průmyslu, např. v potravinářství, zdravotnictví, farmaceutickém, textilním nebo zemědělském průmyslu.

1. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

1.1 Biologicky aktivní látky

BAL jsou definovány jako esenciální i neesenciální sloučeniny, které mají prokazatelný vliv na lidské zdraví, a to jak pozitivní, tak i negativní [14]. Pojem BAL zahrnuje velice různorodou skupinu látek rozdílné chemické struktury a fyziologické funkce, které mohou specificky ovlivňovat životní pochody organismů i při nízkých koncentracích [15]. Neustále jsou objevovány nové BAL a stále jsou zkoumány možnosti jejich využití v různých oblastech průmyslu. Nejběžněji jsou identifikovány BAL s cytotoxickou a antimikrobiální aktivitou [16].

BAL je možno rozdělit dle původu na přírodní a syntetické, přičemž syntetické BAL zahrnují např. organické kyseliny, fungicidy, alkoholy nebo antibiotika [2]. V posledních letech však dochází k rapidnímu nárůstu zájmu o otázky týkající se bezpečnosti syntetických BAL, které mohou v konzumentech vzbuzovat určité obavy z potenciálních vedlejších účinků a případné resistance, což je také důvodem, proč se v posledních letech výzkum zaměřuje hlavně na využívání přírodních BAL [7].

V přírodě se BAL vyskytují jako sekundární metabolity rostlin vyvolávající farmakologické nebo toxikologické účinky na člověka nebo zvířata. Rostliny však nejsou jediným zdrojem BAL. Tyto látky se nacházejí také v jiných živých organismech a mikroorganismech, jako jsou např. bakterie a některé skupiny živočichů [17]. Mezi přírodní BAL se konkrétně řadí: probiotika, prebiotika, antioxidanty (např. vitaminy C, E, karotenoidy, flavonoidy, alkaloidy atd.), vláknina, aminokyseliny, proteiny, peptidy (např. kaseiny, nisin, laktoferin), složky tuků (mastné kyseliny, fytosteroly, fosfolipidy), minerální látky (Na, K, Se, Zn), sacharidy a další rostlinné látky (např. esenciální oleje) [18].

EO jsou produktem sekundárního metabolismu rostlin, kdy dochází k degradaci látek metabolismu primárního, tedy cukrů, tuků a bílkovin. Nachází se v různých rostlinách a jejich částech, jako jsou například květy, ovoce, listy, bobule, pryskyřice, šišky, jádro dřeva, oddenky a kořeny trav, a jsou uloženy v sekrečních buňkách, dutinách, kanálcích, epidermálních buňkách nebo žlázových trichomech. EO jsou obvykle extrahovány technikami hydrodestilace, destilace vodní parou, extrakce organickými rozpouštědly, enfleuráž, superkritická fluidní extrakce nebo mikroextrakce tuhou fází. Způsob extrakce je volen s ohledem na jejich předpokládané využití [7, 19–21]. V současné době je známo přes 3 000 EO, z nichž 300 má velký průmyslový význam. EO obsahují 85–99 % těkavých složek (aldehydy, terpenoidy, fenoly, estery, ketony, kyseliny, methoxyderiváty atd.) a 1–15 % netěkavých složek [7, 19–21]. Ačkoliv jsou EO složeny převážně z fenylypropanoidů, terpenoidů a terpenů, představují obrovskou

škálu chemických sloučenin a struktur, díky čemuž mají široké spektrum různých biologických účinků a vlastností, jako jsou např. antibakteriální, antibiotické, antiseptické, antivirové, antioxidační, analgetické, sedativní a jiné účinky [22]. Řadou studií bylo potvrzeno, že volné radikály a reaktivní formy kyslíku mohou být spojovány s mnoha nemocemi, jako jsou např. záněty, rakovina, srdeční choroby, pokles imunitního systému či mozkové dysfunkce [23]. V posledních letech tedy nabývá na významu použití antioxidantů při léčbě a prevenci těchto onemocnění. Mnoho in vitro testů, které byly provedeny na EO extrahovaných z rostlin, poukázaly na jejich antioxidační účinnost při snižování oxidačního stresu díky inhibici reaktivních forem kyslíku/dusíku, včetně jejich schopnosti fungovat jako redukční činidla a lapače volných radikálů [24].

Co se týká fyzikálně-chemických vlastností, EO jsou ve vodě v podstatě nerozpustné, s vodou se nemísí, dobrá je ale jejich rozpustnost v rostlinných olejích, ethanolu, etheru a dalších organických rozpouštědlech [25].

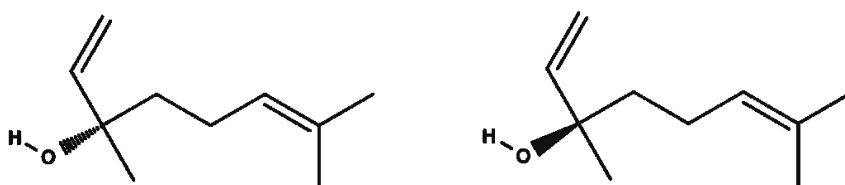
Tato práce se zabývá konkrétně třemi složkami EO, a to linalolem (LIN), estragolem (ALY) a *trans*-anetholem (ANE) [12]. Jejich fyzikálně-chemické vlastnosti jsou zobrazeny v tabulce 1 [26, 27].

Tabulka 1 Fyzikálně-chemické vlastnosti použitých BAL

	LIN	ALY	ANE
Systematický název	3,7-dimethyl-1,6-oktadien-3-ol	1-methoxy-4(2propenyl)benzen	1-methoxy-4-(prop-1-en-1-yl)benzen
Sumární vzorec	C ₁₀ H ₁₈ O	C ₁₀ H ₁₂ O	C ₁₀ H ₁₂ O
Molární hmotnost [g.mol ⁻¹]	154,24	148,20	148,20
Hustota při 25 °C [g.cm ⁻³]	0,8622 ((-)-LIN) 0,8733 ((+)-LIN)	0,960	0,983–0,987
Bod varu [°C]	198 ((-)-LIN) 198-200 ((+)-LIN)	214–216	234–237

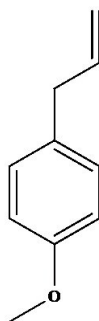
LIN (též jako β-linalool, linalylalkohol, linalyloxid) viz obrázek 1 [28] je acyklický monoterpenoidní alkohol vyskytující se ve více než 200 druzích EO získaných z bylin, listů, květů či dřeva, z nichž mnohé mají široké využití v tradiční medicíně [29–32]. LIN má jedno chirální centrum, a proto existuje ve dvou stereoisomerech. (R) nebo (-) známý jako likareol se běžně vyskytuje v přírodě jako složka např. levandule (*Lavandula angustifolia*), bazalky (*Ocimum basilicum*) či bobkového listu (*Laurus nobilis*). Naproti tomu (S) nebo (+) známý jako koriandrol je hlavní složkou EO koriandru (*Coriandrum sativum*). LIN je bezbarvá až mírně nažloutlá kapalina s příjemnou květinovou vůní. Je dobře rozpustný v ethanolu, v diethyletheru, ale prakticky nerozpustný ve vodě.

Co se týče biosyntézy, LIN je u vyšších rostlin produkován z isopentenyl pyrofosfátu přes univerzální isoprenoidní meziprodukt geranyl pyrofosfát při současném působení monoterpen syntázy, která katalyzuje probíhající chemickou reakci [32]. LIN se z rostlinné suroviny získává nejčastěji parní destilací nebo extrakcí rozpouštědly nebo může být chemicky syntetizován [30]. Díky silným biologickým účinkům, včetně cytotoxických, antioxidačních, antimikrobiálních (např. proti *Candida albicans*, *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*), insekticidních, protizánětlivých, antiepileptických, antihyperglykemických, protinádorových a sedativních účinků, je LIN jako přírodní rostlinný produkt hojně používán v různých odvětvích průmyslu, jako je farmaceutický, kosmetický, potravinářský i zemědělský [5, 6, 8–11, 33, 34].



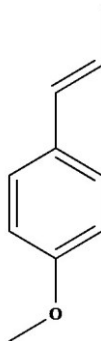
Obr. 1 Strukturní vzorec (-)-LIN (vlevo) a (+)-LIN (vpravo)

ALY (též 4-allylanisol, methylchavikol, isoanethol) je přírodní fenypropen, nacházející se v EO mnohých rostlin, např. estragonu (*Artemisia dracunculus*) (60–75 %), bazalky (*Ocimum basilicum*) (2–43 %), badyánu (*Illicium verum*) (5–6 %) a fenyklu (*Foeniculum vulgare*) (5–20 %). Je to isomer anetholu lišící se pouze v poloze dvojné vazby. Jeho vůně připomíná anýz s odpovídající sladkou chutí, která je však odlišná od anetholu. ALY je bezbarvá kapalina rozpustná ve většině organických rozpouštědel a prakticky nerozpustná ve vodě. Získává se frakční destilací terpentýnového oleje [35]. ALY se využívá v mnoha potravinách a potravinových produktech, parfémtech, mýdlech a detergentech. ALY vykazuje myorelaxační, antikonvulzivní, anestetické, bradykardické, vazodilatorní a antioxidační vlastnosti [36–39]. Významná je jeho silná antimikrobiální aktivita proti širokému spektru MO, včetně gram pozitivních i gram negativních bakterií [40].



Obr. 2 Strukturní vzorec ALY [36]

ANE (též isoestragol nebo p-propenylanisol) je aromatická sloučenina (fenylpropen) přirozeně se vyskytující v EO mnohých rostlin [35, 41, 42]. Ve vysokých koncentracích se vyskytuje hlavně v anýzovém (*Pimpinella anisum*) (80–90 %), badyánovém (*Illicium verum*) (90 %) a fenyklovém (*Foeniculum vulgare*) (80 %) oleji. Existuje ve dvou cis- a trans- isomerech, přičemž v přírodě je více zastoupen *trans*-anethol. Je to čirá, bezbarvá až jantarově zbarvená kapalina se sladkou anýzovou příchutí. ANE je dobře rozpustný v ethanolu, ve vodě je téměř nerozpustný [43]. V přírodě se ANE získává frakční destilací EO anýzu, fenyklu, badyánu atd. Může být také syntetizován esterifikací p-kresolu s methanolem a následnou kondenzací s acetaldehydem [35]. ANE vykazuje výrazně sladkou chuť a je 13x sladší než cukr. ANE pro svou výraznou vůni dokáže překrýt nepříjemný zápach, a proto je využíván jako maskovací prostředek v mnoha výrobcích, např. mýdla, zubní pasty či ústní vody [43]. Je také široce využíván jako přírodní aroma zodpovědné za anýzovou příchut' používanou ve sladkostech, pečivu, alkoholických i nealkoholických nápojích. U ANE byly zjištěny jeho četné farmakologické účinky, a to zejména antimikrobiální aktivita proti růstu bakterií (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*), kvasinek (*Candida albicans*) a plísní, antioxidační a insekticidní aktivita. Dále ANE vykazuje analgetické, antikonvulzivní či protizánětlivé vlastnosti [41, 42, 44].



Obr. 3 Strukturální vzorec ANE [43]

EST byl Úřadem pro kontrolu potravin a léčiv (Food and Drug Administration (FDA) přidán na seznam přídatných látek povolených pro použití v potravinách určených k lidské spotřebě [45]. LIN i ANE jsou dle FDA všeobecně považovány za bezpečné (Generally Recognized as Safe, GRAS) [46]. Jejich těkavost a špatná rozpustnost ve vodě však omezují jejich širší využívání v průmyslu. Stabilitu těchto látek též negativně ovlivňují vnější faktory, jako jsou teplo, světlo a přístup kyslíku [18, 26].

1.2 Modifikace polymerních matric pomocí BAL

Biologicky aktivní polymerní systémy (BPS) jsou systémy na bázi přírodních nebo syntetických polymerů modifikovaných pomocí BAL, které vyvolávají specifickou biologickou odezvu. Při výběru metody modifikace polymeru je nutno vzít v potaz několik faktorů a to zejména: vlastnosti daného polymeru (chemické i fyzikální), typ BAL (její toxicita, způsob aplikace, fyzikální a chemické vlastnosti) a také prostředí aplikace (teplota, pH, vlhkost) [4, 47]. BPS je možno rozdělit na migrující a nemigrující polymerní systémy [4].

1.2.1 Nemigrující biologicky aktivní polymerní systémy

Nemigrující BPS jsou polymerní systémy, které vykazují určitou biologickou aktivitu, aniž by BAL migrovala z polymeru do substrátu. [48, 49].

Do skupiny nemigrujících BPS lze zařadit přirozeně biologicky aktivní polymery a polymery s imobilizovanými BAL.

- Přirozeně biologicky aktivní polymery vykazují bioaktivní účinky, aniž by do nich byla nějakým způsobem zabudována BAL. Hlavním a nejvíce využívaným představitelem této skupiny je chitosan [48].
- U polymerů s imobilizovanými BAL je pevného navázání BAL k polymeru je zde docíleno díky vzniku kovalentní vazby. Podmínkou však je, aby polymer a BAL obsahovaly funkční skupiny, které umožní jejich navázání vůči sobě navzájem [48, 49].

1.2.2 Migrující biologicky aktivní polymerní systémy

U tohoto typu systémů dochází k uvolňování a migraci BAL z polymerní matrice. Je zde tedy nezbytné, aby použitá BAL byla netoxická a schválená příslušnými úřady jako bezpečná pro lidské zdraví [2].

Tento typ systémů se dle povahy inkorporovaných BAL dále dělí na dva podtypy: těkavý a netěkavý. U netěkavého migrujícího polymerního systému je přenos BAL z polymerní matrice na povrch substrátu uskutečněn pomocí difúze. V případě využití těkavých BAL dochází k jejich migraci, aniž by polymer byl v přímém kontaktu se substrátem. Rychlost migrace BAL je zde závislá na interakci mezi polymerní matricí a těkavou BAL. Těkavé BAL jsou většinou přírodního původu (extrakty rostlin), což je i lépe přijímáno spotřebiteli [47, 50]. U migrujících polymerních systémů jsou možnosti modifikace polymerní matrice následující jednak přímou inkorporací BAL do matrice polymeru nebo nanášením BAL na povrch polymerního materiálu [3].

- Začlenění BAL přímo do polymerní matrice (nebo též modifikace v objemu polymerní matrice) se považuje za nejčastěji volenou a velmi

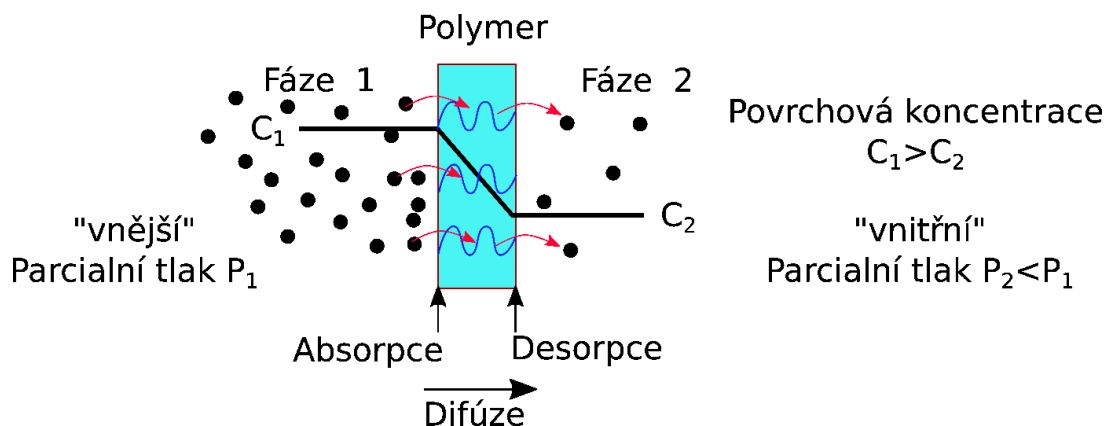
účinnou metodu modifikace termoplastů i termosetů. Při termoplastickém zpracování polymerů, např. vstřikováním, vyfukováním nebo vytlačováním, je však výhodnější využívat pouze tepelně stabilní BAL [3, 49, 51, 52]. Výhody přímé inkorporace BAL spočívají v technologické nenáročnosti použitých procesů, při kterých také nedochází k významnějším změnám ve vlastnostech polymerů. Problém však může představovat fakt, že dochází k nekontrolovatelnému uvolňování BAL do okolí, což může např. komplikovat použití takového materiálu v oblasti zdravotnictví [53, 54]. V případě přímé inkorporace složek EO pomocí termoplastických metod představuje problém jejich značná těkavost, a z toho plynoucí jejich nízká zbytková koncentrace ve finálním produktu. Možným řešením je jejich imobilizace na inertní nosiče a následná inkorporace do polymerní matrice, jak je popsáno níže (viz kapitola Imobilizace BAL na pevné nosiče).

- Nanášení BAL na povrch polymeru se provádí až na finální výrobek. Jedná se o relativně jednoduchou techniku docílení biologické aktivity polymerního systému. Tento způsob má však velkou nevýhodu, a tou je nízká doba účinnosti [53, 55, 56].

Migrující BPS mohou být navrženy jako systémy kontrolovaně uvolňující BAL, což umožňuje udržení jejich konstantní koncentrace např. v potravinářském nebo farmaceutickém produktu. To může zabránit případům, kdy je migrace antimikrobiální látky z polymerního systému rychlejší, než je růst MO, a tudíž dochází ke snižování její účinné koncentrace před stanoveným časem. Opakem je zase příliš pomalé uvolňování, kdy se koncentrace uvolněné antimikrobiální látky nachází pod minimální inhibiční koncentrací, v důsledku čehož pak dochází k rychlejšímu růstu MO před uvolněním BAL [50].

Prostup látek skrze polymerní matrici je komplexní proces, který je ovlivňován mnoha vnějšími i vnitřními faktory. Migrace nízkomolekulárních látek z polymerního materiálu je převážně řízena difúzními procesy, s nimiž je úzce spjat významný aspekt permeace. Průběh permeace je zobrazen na obrázku 4. Jsou zde dva prostory o rozdílném parciálním tlaku a rozdílné povrchové koncentraci. Tyto prostory jsou od sebe odděleny polymerní membránou. Molekuly nízkomolekulární látky jsou v povrchové vrstvě polymeru rozpuštěny a absorbovány. Na povrchu polymeru je tak vyšší koncentrace permeantu. Molekuly poté difundují polymerem ve směru koncentračního gradientu. V poslední fázi dochází k desorpci nebo odpaření látky z povrchu materiálu [57].

Difúze potenciálních migrantů z polymerního materiálu závisí především na teplotě, molární hmotnosti, stupni zesílení polymeru či chemické afinitě migrantů s polymerem [58, 59]. Na proces difúze BAL z polymerní matrice lze aplikovat Fickovy zákony.



Obr. 4 Schéma permeace a difúzního procesu [58]

1.2.3 Enkapsulace BAL

Enkapsulace je technika, při které dochází k uzavření BAL do obalového materiálu (polymerní matrice), jejímž výsledkem jsou částice různých velikostí. Mikroenkapsulace poskytuje velikost částic v rozmezí od 1 do 1000 μm , zatímco částice menší než 1 μm se nazývají nanočástice [60].

Mikročástice lze z morfologického hlediska dále rozdělit na mikrokapsle (resp. mikrotobolky) a mikrosféry. Mikrokapsle jsou složeny z jádra v pevné, kapalné nebo plynné podobě, na které těsně přiléhá polymerní obal. U mikrosfér se nerozlišuje jádro a obal, BAL je zde rozptýlená v matrici mikrosfér v pevné formě nebo je přítomna ve formě suspenze či emulze [61]. Hranice tohoto rozdělení však není ostrá. Existují různé typy mikročástic, které leží na pomezí nebo jsou kombinací obou základních přístupů [62].

Mikroenkapsulace je jednou z nejefektivnějších technik, která chrání těkavé látky před vypařováním, oxidací, vlhkostí nebo termální degradací a umožňuje jejich kontrolované uvolňování [63].

Výběr vhodné techniky enkapsulace závisí především na zpracovatelských podmínkách, požadované fyzikální a chemické stabilitě, požadované koncentraci a velikosti částic a na předpokládaném využití a ceně výsledného produktu [63, 64]. V zásadě se mohou dělit na dvě skupiny [65]:

- Chemické metody zahrnují emulzní, suspenzní, precipitační nebo disperzní polymerizace a mezifázovou polykondenzaci. U těchto metod enkapsulace probíhá polymerizace během procesu přípravy mikročástic.
- Fyzikální metody mohou být dále rozděleny na fyzikálně-chemické (koacervace nebo sol-gel enkapsulace) a fyzikálně-mechanické (sprejové sušení a chlazení, fluidní nános, elektrostatická enkapsulace nebo metoda odpaření rozpouštědla).

Tato práce se zaměřuje na metodu odpaření rozpouštědla, jejímž výsledkem je vznik mikrosfér. Tato metoda je velmi používaná díky přístrojové nenáročnosti, vysoké účinnosti a snadné proveditelnosti. Je zde však nutné použít organická rozpouštědla. Principem této metody je odpařování části emulze obsahující rozpuštěnou nebo dispergovanou BAL a polymer. Při procesu odpařování rozpouštědla dojde k vysrážení polymerních částic, které ve své struktuře uzavírají BAL.

Metoda odpařování rozpouštědla zahrnuje několik kroků [61, 66, 67]:

- Nejprve je polymer rozpuštěn v rozpouštědle, které je nemísitelné s vodou. V tomto roztoku je dále rozpuštěna nebo dispergována BAL.
- Následně vzniká lipofilní fáze, která je za pomoci tenzidů emulgována do vodné fáze, kde dochází ke vzniku jemné emulze olej/voda.
- Pomocí vysokorychlostního míchání, homogenizačního zařízení nebo ultrazvukové lázně je poté dosaženo požadovaného stupně emulze.
- Organické rozpouštědlo poté difunduje do vodné fáze a vlivem míchání a dalšího úbytku rozpouštědla dochází k formování mikrosfér, které jsou následně zfiltrovány, promyty a vysušeny

Velmi důležitým krokem enkapsulace je výběr vhodného polymeru, který je závislý především na požadovaných fyzikálních vlastnostech. Polymery využívané pro přípravu mikročástic mohou být následující [68, 69]:

- syntetické polymery, které se následně dělí na nebiodegradabilní polymery např. PMMA, epoxy polymery a biodegradabilní polymery např. laktidy, glykolidy a jejich kopolymery, polyanhydridy, polyalkylkyanoakryláty, atd.,
- přírodní polymery získávané z různých zdrojů, např. proteiny (albumin, kolagen), polysacharidy (karagenan, chitosan, škrob, agaróza).

Polymery tvořící základ mikročástic, jež mají využití ve farmaceutickém průmyslu či zdravotnictví, by měly být biodegradovatelné (v těle se rozkládající na neškodné produkty) a /nebo biokompatibilní (bez negativního vlivu na zdraví, nepůsobící v organismu žádné lokální nebo systémové nežádoucí účinky) [13].

Polymer kyseliny mléčné (PLA) je termoplastický, alifatický polyester, jehož výchozí látku pro jeho přípravu (kyselinu mléčnou) lze získat ze zemědělských plodin, jako jsou kukuřice, cukrová řepa, nebo cukrová třtina [70]. Štěpením esterové vazby se PLA rozkládá na netoxické produkty (vodu a CO₂). Je schválen jako bezpečný úřadem FDA a také evropskými regulačními orgány [71, 72]. PLA je v současné době věnována velká pozornost díky jeho širokému využití pro obalové, textilní, biomedicínské a v poslední době také inženýrské aplikace. Mezi jeho nejvýznamnější vlastnosti patří biodegradovatelnost, biokompatibilita

a netoxičnost [73, 74]. Další výhodou použití PLA při přípravě mikro- či nanočástic je jeho flexibilita a mechanické vlastnosti (vysoká pevnost v tahu, vysoký Youngův modul), dobrá transparentnost a propustnost pro plyny) [75]. PLA vykazuje ovšem také nevýhodné vlastnosti, a to zejména vysokou křehkost, špatnou houževnatost, vysokou citlivost na vlhkost a případně i nižší teplotu skelného přechodu, což může být nežádoucí pro určité obalové nebo inženýrské aplikace. To je také důvod, proč se stále větší úsilí soustřeďuje na vylepšení vlastností PLA [75–81].

Jednou z takových možností je příprava směsi dvou nebo více kompatibilních polymerů. Díky tomu je možno upravit teplotu skelného přechodu, zlepšit odolnost proti lomu, flexibilitu a zpracovatelnost [82]. PLA může být smíchán s jak biologicky odbouratelnými polymery (polyanhydridy, alifatické polyestery a alifatické-aromatické kopolyestery, tak s biologicky nerozložitelnými polymery jako jsou polyolefiny, polyakryláty, vinylové polymery, elastomery a kaučuky [83].

PMMA je biokompatibilní, syntetický polymer disponující velmi dobrými chemickými i fyzikálními vlastnostmi [84–86]. Jeho nejtypičtější vlastností je jeho čírost a naprostá bezbarvost. Má vynikající tvarovou paměť, odolnost vůči vodě, zředěným alkáliím a kyselinám, dobré mechanické vlastnosti a obrobitelnost. Své uplatnění nachází především ve zdravotnických, kosmetických i konstrukčních aplikacích [87].

Existuje několik studií zabývajících se přípravou polymerních směsí PLA/PMMA. Směs PLA/PMMA vykazuje dobrou synergii, částečnou rozložitelnost a vylepšené vlastnosti zajímavé pro širokou škálu aplikací např. tkáňové inženýrství [88, 89, 90]. Výsledné vlastnosti však velmi ovlivňuje metoda zpracování, krystalinita PLA a složení směsi [80, 86, 88–93].

1.3 Imobilizace BAL na pevné nosiče

Jak již bylo zmíněno výše, složky EO jsou vysoce těkavé, což představuje problém při jejich inkorporaci do polymerní matrice. Při zpracování dochází k jejich vysokým úbytkům, ke kterým dále dochází i v průběhu skladování. To představuje nejen ekonomickou ztrátu, ale také jejich nízkou nebo nulovou bioaktivní účinnost. Těkavost složek EO však není jediná vlastnost způsobující pokles jejich biologické aktivity. Potenciálními riziky jsou také degradace vlivem tepla, světla a mechanické namáhání. Proto bylo vyvinuto mnoho různých metod, chránících BAL v průběhu zpracování [94].

Adsorpce složek EO na povrch porézního plniva, je technika, která imobilizuje těkavé sloučeniny, stabilizuje je a chrání před nežádoucími vlivy zpracování a je možné při ní dosáhnout i jejich uvolňování v čase [12, 95]. Teoreticky můžeme adsorpci popsat jako děj, při kterém se atomy, molekuly nebo částice

(adsorbát)

z plynné nebo kapalné fáze přichytávají na povrchu pevné látky (adsorbentu) vlivem přitažlivých sil [96].

Plniva, která mohou sloužit jako nosiče BAL, jsou následující [97]:

- anorganická plniva: oxidy (SiO_2), silikáty (talek, hektorit, slída, wollastonit, montmorillonit, vermiculit) a soli (CaCO_3),
- organická plniva: dřevní moučka, karbonová vlákna atd.

Při výběru plniva pro imobilizaci BAL by měly být brány v potaz jeho fyzikálněchemické vlastnosti, jako je přítomnost funkčních skupin, polarita nebo chemická struktura. Přítomnost a typ funkčních skupin a polarita molekul určuje, zda bude probíhat sorpce chemická (kationtová výměna, výměna ligandů nebo protonace) nebo fyzikální (van der Waalovy interakce). Existuje také fyzikálně-chemická adsorpce, kdy dochází k navázání adsorbátů slabými interakcemi, a poté dochází k chemické reakci nebo chemické transformaci [94, 96].

Tato práce se konkrétně zabývá adsorpcí složek EO na tři polymerních plnivech: dřevní moučka (WF), molekulová síta (MS) a talek (TC) [12].

Dřevní moučka

WF je jedním z nejvíce a zároveň nejdéle komerčně využívaným organickým polymerním plnivem. Získává se jako vedlejší produkt ve dřevozpracujícím průmyslu a její následné zpracování se obvykle skládá z několika kroků. Prvním krokem je rozdružení dřeva pomocí drtiče a štěpkovače. Poté dochází k mletí ve třecím nebo válcovém mlýnu. Klasifikace WF se provádí na vibračních, rotačních nebo oscilačních sítích. Hlavními složkami WF jsou celulóza (37–45 %), hemicelulóza (19–30 %) a lignin (21–34 %), nicméně přesný poměr těchto hlavní složek je závislý na typu dřeva. WF se řadí mezi polární a hydrofilní plniva. Mezi její výhodné vlastnosti patří hlavně nízká cena, nízká hustota a recyklovatelnost. Slouží hlavně jako plnivo do polyethylenu (PE), polypropylenu (PP) nebo polyvinylchloridu. Při použití v polyolefinech dodává materiálu vyšší tuhost. Konečné vlastnosti kompozitů závisí na typu procesu (vstřikování, lisování, vytlačování) a na podmínkách zpracování. Částice WF mají pórovitou strukturu a disponují velkou specifickou plochou povrchu, s čímž je spojena vyšší adsorpční kapacita WF [98, 99].

Molekulová síta (zeolity)

MS jsou mikroporézní, krystalické aluminosilikáty alkalických kovů a kovů alkalických zemin. Obecný vzorec zeolitů je $\text{Me}_{2/n} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$, kde: Me je mimoskeletální kovový kation (Na, K, Ca, Mg, aj.) n je náboj kationtu (jednomocný/vícemocný), x je molární poměr $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, z je počet molů vody.

Stavební elementy prostorové krystalové mřížky jsou mnohostěny, složené z křemičitanových (SiO_4) a hlinitanových (AlO_4) tetraedrů spojených sdílenými kyslíkovými atomy. Trojrozměrná struktura zeolitů obsahuje kanálky nebo dutiny, jejichž velikost je přibližně 0,3–1,0 nm. Tyto dutiny jsou obvykle vyplněny vodou nebo kationy nepřímo vázanými do struktury. K nejdůležitějším vlastnostem zeolitů patří adsorpční schopnosti, schopnost iontové výměny a hydratační/rehydratační schopnosti. Díky pórům a kanálkům mají zeolity vysoký specifický povrch umožňující adsorpci molekul s nízkou hmotností. Množství molekul, jež může zeolit adsorbovat, závisí na jeho vnitřním volném objemu. Je proto nutné, aby byl zeolit v tzv. aktivní formě, tedy bez sorbované (zeolitové) vody, kterou lze odstranit zvýšením teploty nebo snížením tlaku [100–102].

Talek

TC (též mastek, $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) je přirozeně se vyskytující minerál široce využívaný jako polymerní plnivo. Vzniká při metamorfóze hornin bohatých na hořčík. TC je tvořen jednou oktaedrickou vrstvou ležící mezi dvěma tetraedrickými vrstvami. TC je na omak mastný a má šupinatý a hydrofobní charakter. Zpracovává se drcením, mletím a následnou klasifikací. Po rozdrcení je TC rozemlet na kladivovém nebo fluidním mlýnu se vzduchovým klasifikačním systémem. Velikost částic TC se pohybuje od 1 do 100 μm . Jako plnivo se využívá převážně v termoplastech, konkrétně nejvíce v PP. Díky své destičkovité struktuře zlepšuje u kompozitů bariérové vlastnosti pro plyny, dále poskytuje vyváženou pevnost a tuhost, zvyšuje tepelnou a chemickou odolnost i odolnost proti tečení. TC je nejměkčí minerál, díky čemuž je málo abrazivní a snižuje tak opotřebení strojů při zpracování polymerů, kde slouží jako plnivo [99].

CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Na základě získaných poznatků z literárních pramenů byly definovány následující cíle disertační práce.

Primárním cílem této práce je připravit a charakterizovat materiály a procesy pro efektivní modifikaci vybraných polymerů složkami EO pomocí konvenčních zpracovatelských technik.

Pro dosažení tohoto základního cíle byly vydefinovány následující dílčí cíle:

- vývoj a optimalizace metodiky analytického stanovení BAL v polymerním systému,
- optimalizace imobilizace BAL na pevné nosiče,
- inkorporace BAL imobilizovaných na pevných nosičích do matrice polymeru, enkapsulace BAL do PLA, PMMA a PLA/PMMA za vzniku mikrosfér,
- vývoj metodiky pro studium uvolňování BAL z polymerních mikrosfér,
- stanovení biologické aktivity připravených polymerních systémů,
- stanovení vlivu modifikace polymerů zvolenými BAL na výsledné vlastnosti systémů (mechanické, morfologické, termální apod.).

Pro splnění výše stanovených cílů jsou experimentální aktivity rozděleny do dvou okruhů:

- I. Biologicky aktivní polymerní systémy na bázi LDPE s inkorporovanými BAL přírodního původu
- II. Enkapsulace BAL přírodního původu do matrice PLA, PMMA a jejich směsí

Výstupem řešení každého z výše uvedených okruhů je souhrnná práce publikovaná v odborném časopise.

2. SHRnutí EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

2.1 Polymerní kompozity na bázi LDPE s BAL imobilizovanými na pevných nosičích

Cílem této studie byla příprava biologicky aktivního polymerního systému na bázi LDPE. Mnohé studie totiž zdůraznily velký potenciál využití biologicky aktivních polymerních systémů, např. při balení potravin, ve farmaceutickém nebo kosmetickém průmyslu [103–105]. Při balení potravin může biologicky aktivní polymerní systém zpomalit nebo zastavit růst MO a tím zajistit bezpečnost, kvalitu a prodloužit trvanlivost balených potravin [106]. Jako BAL byly použity složky EO (LIN, ALY, ANE), četné biologické účinky, a to především antimikrobiální a antioxidační [107–113]. Hlavní nevýhoda těchto látek spočívá v jejich značné těkavosti, která představuje problém při jejich termoplastické inkorporaci do polymerních matric probíhající za vysokých teplot. Řešení lze zde nalézt v imobilizaci složek EO na organická či anorganická polymerní plniva, která navíc zlepšují výsledné mechanické i tepelné vlastnosti kompozitu [114–116]. Předmětem tohoto výzkumu bylo popsat vzájemné vztahy mezi BAL, pevnými nosiči a výslednými antibakteriálními vlastnostmi kompozitu. Nedílnou součástí práce bylo i studium vlivu přítomnosti pevného nosiče na mechanické vlastnosti a morfologii výsledného kompozitu. Důraz byl kladen také na kvantitativní analýzu BAL pomocí chromatografických metod.

Výsledky a diskuze okruhu I

Vliv pevných nosičů na morfologii kompozitu – SEM analýza

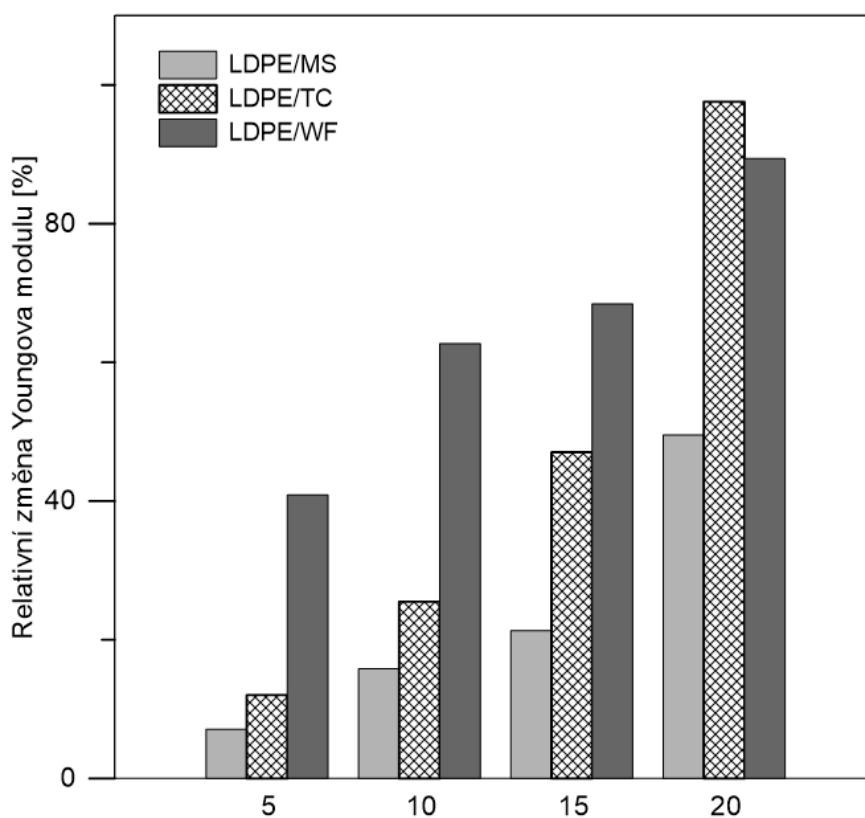
Morfologie připravených kompozitů a kompatibilita pevných nosičů s LDPE matricí byla sledována pomocí metody SEM. Bylo pozorováno čisté LDPE a LDPE kompozity s třemi různými pevnými nosiči (WF, TC, MS) o koncentraci 20 hm. %. SEM analýzou bylo potvrzeno rovnoměrné rozptýlení TC a MS v LDPE matrici bez významnější agregace, ovšem byla také pozorována přítomnost dutinek. Vznik těchto dutinek je pravděpodobně způsoben nižší adhezí částic TC a MS k polymerní matrici, což je v souladu s výsledky podobných studií [117, 118]. SEM bylo zjištěno, že částice WF mají nepravidelný tvar, a rovněž byly pozorovány zřetelné mezery mezi WF a matricí LDPE. To poukázalo na nízkou kompatibilitu mezi hydrofilními částicemi WF a nepolárním LDPE. Tento závěr se shoduje s výsledky mnoha jiných prací [119–121].

Vliv pevných nosičů na výsledné mechanické vlastnosti kompozitů

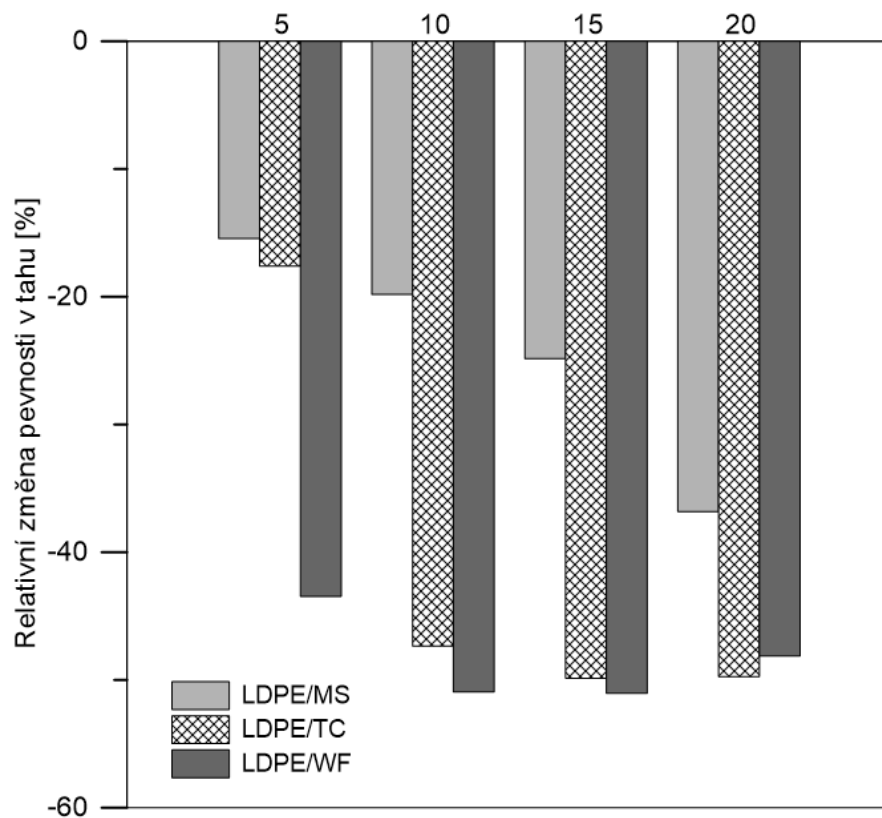
Na obrázcích 5, 6 a 7 je vyobrazen vliv rozdílných pevných nosičů na mechanické vlastnosti kompozitů vyjádřený jako relativní změna (srovnání s nemodifikovaným LDPE). Nemodifikovaný LDPE vykazoval nižší hodnotu

Youngova modulu (E), a naopak vyšší hodnoty pevnosti v tahu (σ) a poměrného prodloužení při přetržení (ε) ve srovnání s kompozity obsahujícími pevné nosiče. Rovněž bylo pozorováno, že se zvyšující se koncentrací všech pevných nosičů v kompozitech došlo k nárůstu hodnot E , a zároveň k poklesu hodnot σ a ε . Zvýšená tuhost kompozitů je připisována skutečnosti, že částice pevného nosiče omezují pohyblivost polymerních řetězců, což může rovněž způsobit i snížení hodnot deformace [122]. Vzdávající koncentrace pevných nosičů také způsobuje zvýšení krystalinity polymerních kompozitů, což se shoduje i s jinou studií [123].

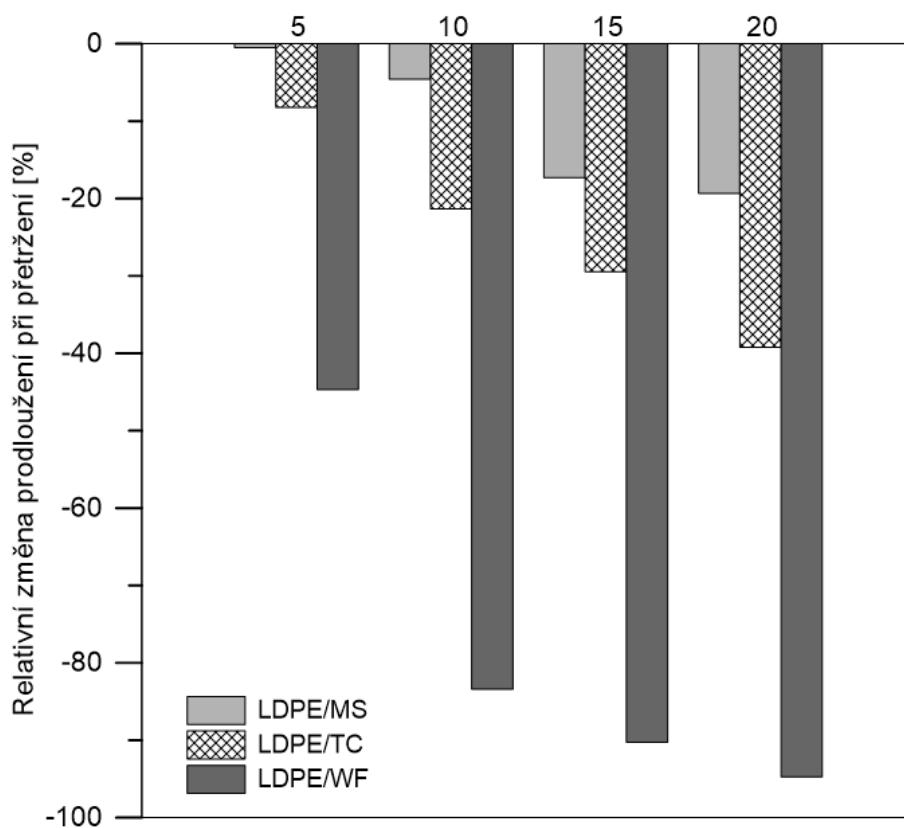
Nejvýraznější nárůst hodnot E byl pozorován u kompozitu s obsahem 20 hm. % TC. U kompozitů s obsahem MS a TC byly zaznamenány podobné hodnoty mechanických charakteristik, pravděpodobně způsobené obdobnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi těchto polymerních plniv. Zvýšení hodnot E v kompozitech obsahujících WF se shoduje i s jiným výzkumem [124]. Výrazný pokles hodnot σ a ε u kompozitů s obsahem WF byl pravděpodobně způsoben větší velikostí částic WF, a zároveň určitou nekompatibilitou hydrofilní WF s hydrofobní polymerní matricí, což bylo již také potvrzeno mnoha studiemi [114, 125]. Výsledné mechanické vlastnosti kompozitů jsou tedy dány mírou kompatibility mezi pevným nosičem a polymerní matricí. Kompatibilita s LDPE byla v případě TC a MS vyšší v porovnání s WF, což také koresponduje s výsledky SEM analýzy.



Obr. 5 Relativní změna Youngova modulu kompozitů v porovnání s čistým LDPE. Směrodatná odchylka se pohybovala do 10 %



Obr. 6 Relativní změna pevnosti v tahu kompozitů v porovnání s čistým LDPE. Směrodatná odchylka se pohybovala do 10 %



Obr. 7 Relativní změna poměrného prodloužení při přetržení kompozitů v porovnání s čistým LDPE. Směrodatná odchylka se pohybovala do 10 %

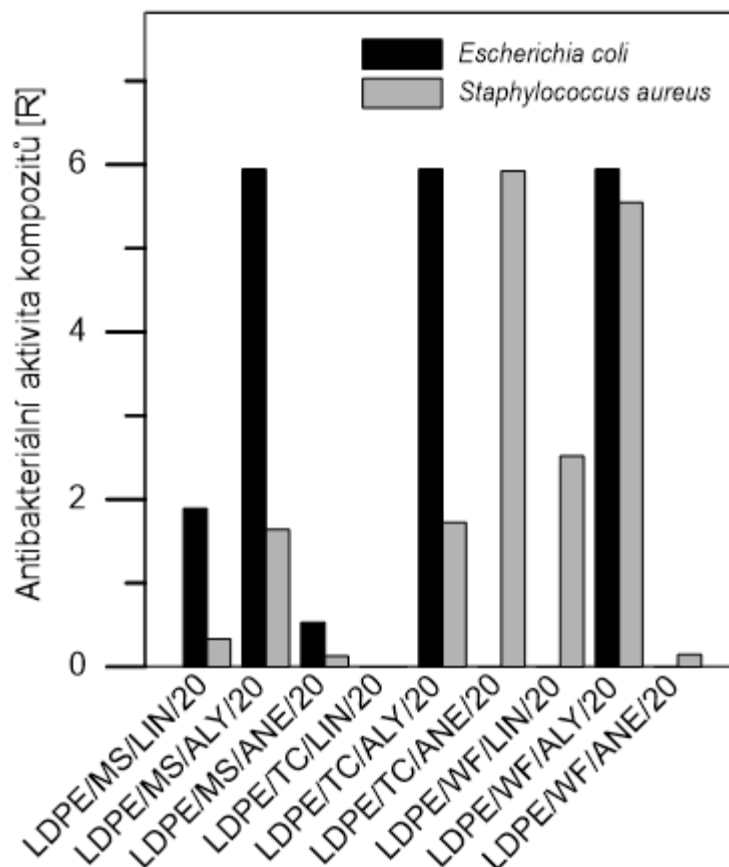
Antibakteriální vlastnosti kompozitů

Na obrázku 8 jsou graficky zobrazeny hodnoty antibakteriální aktivity připravených kompozitů, kde obsah aditiva činil 20 hm. %.

Při testování antibakteriální aktivity bylo zjištěno, že připravené kompozity lépe inhibovaly růst gramnegativní bakterie s výjimkami kompozitů LDPE/WF/ANE, LDPE/WF/LIN a LDPE/TC/ANE. To je v souladu se studií, kde byla sledována baktericidní aktivita EO bazalky (*Ocimum basilicum*) proti grampozitivním i gramnegativním bakteriím [126]. Avšak v jiném výzkumu bylo zjištěno, že gramnegativní bakterie byly proti působení EO bazalky více odolné ve srovnání s grampozitivními bakteriemi [127]. Joshi a kol. však pro antibakteriální testování využila odlišné zástupce grampozitivních a gramnegativních bakterií, než byly použity pro tento výzkum a výzkum popsany Kogou a kol. [126].

Nejvyšší antibakteriální účinek proti růstu *Escherichia coli* byl zaznamenán u kompozitů LDPE/WF/ALY, LDPE/TC/ALY a LDPE/MS/ALY. Tyto kompozity by pravděpodobně vykazovaly antibakteriální aktivitu i v nižších koncentracích, než je 20 hm. % aditiva. Naproti tomu kompozity obsahující TC/LIN, WF/LIN, TC/ANE a WF/ANE vykazovaly nulovou antibakteriální aktivitu proti růstu *Escherichia coli*. U kompozitů LDPE/TC/ANE a LDPE/WF/ALY byla pozorována vysoká antibakteriální aktivita proti růstu *Staphylococcus aureus*. Tato grampozitivní bakterie však byla rezistentní vůči působení kompozitu LDPE/TC/LIN, pravděpodobně z důvodu neúčinné imobilizace LIN na pevný nosič, což bylo potvrzeno kvantitativní analýzou (viz obr. 9).

Obecně nejvyšší hodnoty antibakteriální aktivity byly pozorovány u kompozitů obsahujících ALY, což koresponduje se studií Suppakula a kol. [40]. Složky EO s fenolickou strukturou, včetně ALY, jsou vysoce účinné proti růstu bakterií, a to i navzdory jejich relativně nízké rozpustnosti ve vodě [128]. Antibakteriální účinky EO a jejich složek úzce souvisejí s hydrofilními a lipofilními vlastnostmi daných komponent. Terpeny lipofilního charakteru inaktivují buněčné enzymy katalyzující vznik bakteriálních membrán. Zvýšená propustnost membrány je hlavním faktorem mechanismu antibakteriálního účinku. Antibakteriální sloučeniny mohou tuto membránu narušit a způsobit ztrátu buněčné integrity, a případně buněčnou smrt. [129–131].

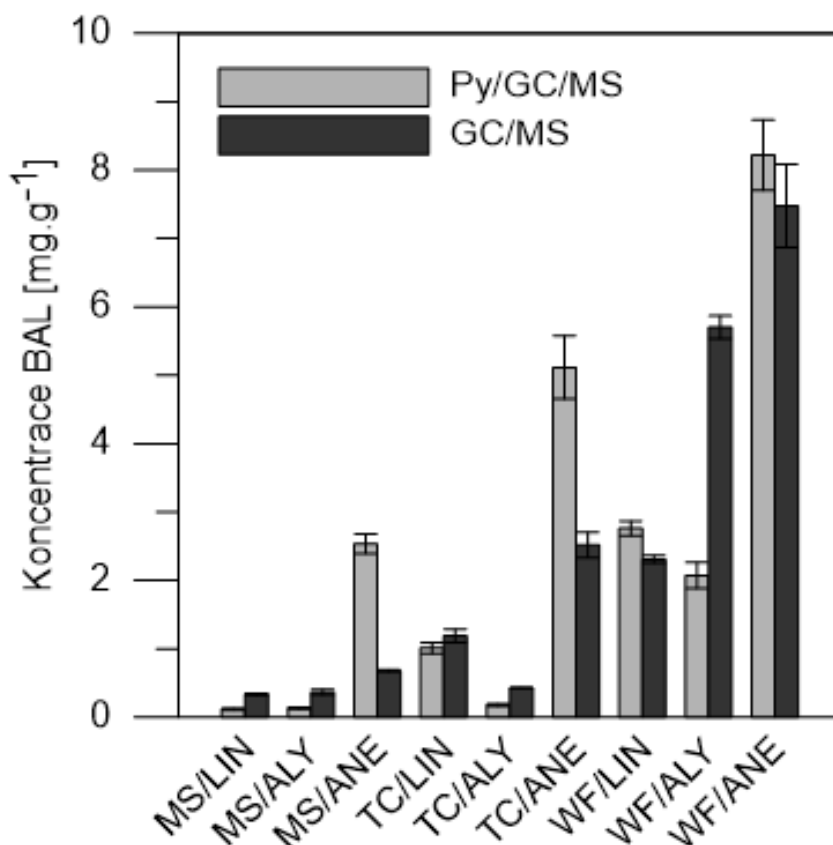


Obr. 8 Antibakteriální vlastnosti kompozitů

Kvantitativní analýza BAL na pevných nosičích a v kompozitech

Na obrázku 9 jsou zobrazena množství BAL imobilizovaných na různých pevných nosičích. Výsledky byly získány pomocí dvou metod: přímou analýzou vzorku pomocí Py/GC/MS a analýzou extrahovaného vzorku pomocí GC/MS. Výsledné koncentrace BAL v pevných nosičích naměřené pomocí Py/GC/MS byly srovnatelné nebo vyšší v porovnání s koncentracemi stanovenými pomocí GC/MS. Nejvyšší rozdíly v koncentracích BAL stanovené oběma metodami byly ve vzorcích WF/ALY, TC/ANE a MS/ANE.

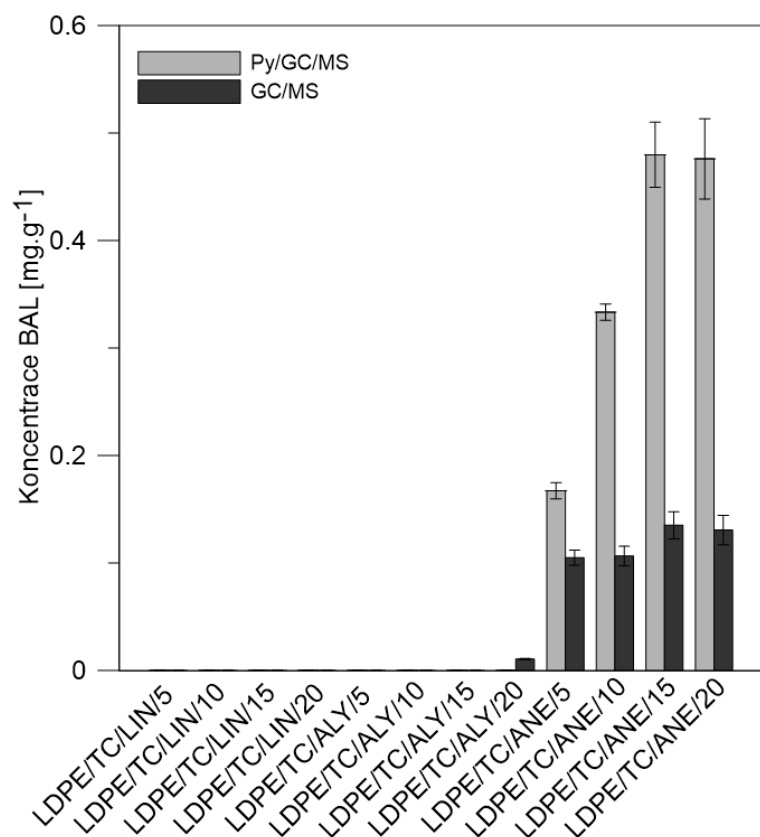
Kvantitativní analýzou byla stanovena koncentrace BAL na pevných nosičích, která se pohybovala v rozmezí $0,1-8,3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. Nejvyšší koncentrace všech BAL byla zaznamenána v případě jejich imobilizace na WF, zatímco nejnižší množství BAL bylo zaznamenáno u MS. Podle studie Willige a kol., je polarita BAL hlavním faktorem ovlivňujícím jejich sorpci. Autor zde porovnával sorpci LIN a limonenu na PE. Bylo zde zjištěno, že více polární LIN byl méně adsorbován na nepolární polymer [132]. Další studie rovněž potvrzují, že BAL jsou lépe adsorbovány na pevné nosiče, které vykazují podobnou polaritu [133, 134].



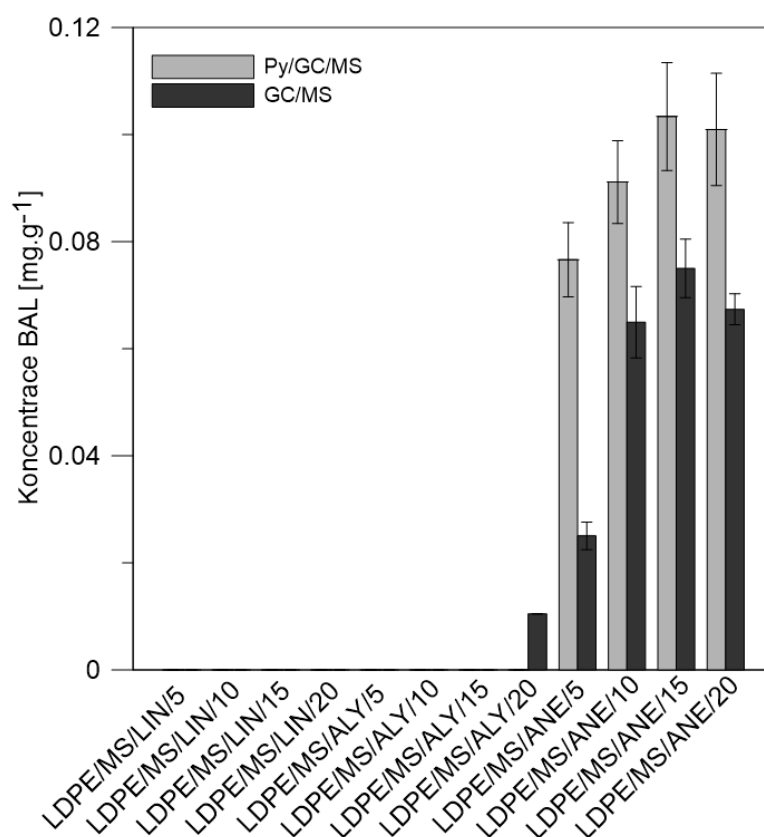
Obr. 9 Koncentrace BAL na pevných nosičích po procesu imobilizace

Obrázky 10, 11 a 12 zobrazují koncentraci BAL v LDPE naměřenou opět pomocí Py/GC/MS a GC/MS. Zbytková koncentrace BAL v polymerní matrici činila 0 až maximálně $1,1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, přičemž nejvyšší hodnoty byly zaznamenány v kompozitech s BAL imobilizovanými na WF (obr. 12). Obsah LIN a ALY byl na všech pevných nosičích i ve výsledných kompozitech velmi nízký až nulový. To mohlo být způsobeno jejich vyšší těkavostí při nižších teplotách ve srovnání s ANE. Tato BAL vykazovala nejvyšší schopnost adsorpce na všechny pevné nosiče, a také byla jedinou BAL, která byla detekována v kompozitech obsahujících MS a TC. Možným zdůvodněním tohoto jevu je pravděpodobně vyšší bod varu ANE. To také koresponduje s výzkumem, ve kterém byla porovnávána koncentrace různých BAL s rozdílnými body varu v polymerní matrici. Bylo zde potvrzeno, že BAL s vyšším bodem varu mají vyšší schopnost setrvávat v polymerní matrici [135].

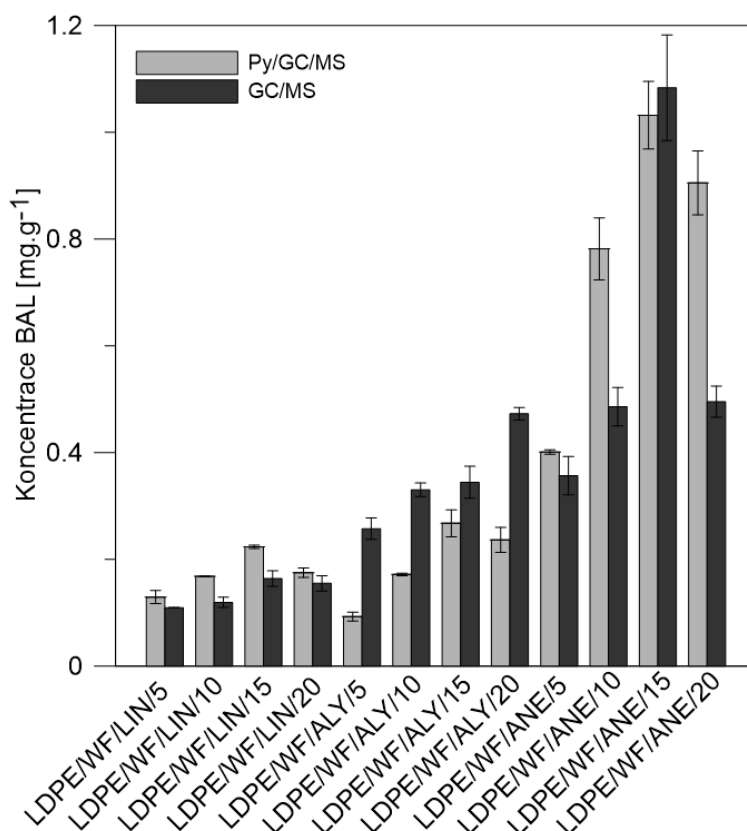
Dle výsledků antibakteriální aktivity však nebyla potvrzena nejvyšší účinnost ANE proti růstu testovaných bakterií, přestože jeho koncentrace v polymerním kompozitu byla podstatně vyšší než ALY, což je i v souladu s jinou studií [136].



Obr. 10 Koncentrace BAL v kompozitech obsahujících TC



Obr. 11 Koncentrace BAL v kompozitech obsahujících MS



Obr. 12 Koncentrace BAL v kompozitech obsahujících WF

Shrnutí okruhu I

Byly připraveny polymerní kompozity na bázi LDPE s termoplasticky inkorporovanými BAL (LIN, ALY, ANE). Stěžejním mezikrokem inkorporace těchto látek byla jejich imobilizace na pevné nosiče (WF, TC, MS).

U kompozitů byla sledována jejich antibakteriální aktivita proti patogenním bakteriím. Bylo zjištěno, že připravené filmy lépe inhibovaly růst gramnegativní bakterie *Escherichia coli* ve srovnání s grampozitivní bakterií *Staphylococcus aureus*. Nejvyšší antibakteriální aktivitu přitom vykazovaly kompozity s obsahem ALY imobilizovaného WF.

Byla také provedena kvantitativní analýza BAL v polymerním kompozitu i v pevných nosičích. Nejvyšší koncentrace BAL na pevných nosičích, i ve výsledných kompozitech, byla dosažena v případě ANE. Množství inkorporovaných BAL je dáno jejich fyzikálně-chemickými vlastnostmi (bod varu, polarita) a také polaritou pevných nosičů a polymeru.

Byl také hodnocen vliv pevných nosičů na mechanické vlastnosti kompozitů. Zvyšující se koncentrace pevných nosičů v polymerním kompozitu způsobila nárůst Youngova modulu, a zároveň pokles pevnosti v tahu a poměrného prodloužení při přetržení. SEM analýza prokázala nízkou kompatibilitu mezi WF a polymerní maticí.

2.2 Příprava mikrosfér na bázi PLA, PMMA a jejich směsí s obsahem BAL

Tato studie je zaměřena na přípravu a charakterizaci mikrosfér na bázi PLA, PMMA nebo jejich směsí s obsahem složek EO, které se díky svému přírodnímu původu, relativní bezpečnosti, širokému přijetí ze strany spotřebitelů a rozsáhlým možnostem jejich aplikace stávají předmětem zájmu mnoha vědeckých studií [137]. Využití složek EO je však v mnoha aplikacích limitováno jejich vysokou citlivostí vůči teplu, světlu, kyslíku či vlhku [138]. Možností, jak ochránit tyto látky před nežádoucími vlivy prostředí, je využití mikroenkapsulačního procesu, který spočívá v zapouzdření kapalin, tuhých látek nebo plynů do polymerního obalu [139]. Jednou z nejpoužívanějších metod přípravy mikročástic je metoda odpaření rozpouštědla, která je vhodná pro BAL, které mají omezenou rozpustnost ve vodě [66, 140]. Jako polymerní matrice byl zvolen PLA, jehož nespornými výhodami je jeho nízká cena, netoxičnost, biodegradovatelnost a biokompatibilita [141–143]. Nevýhodou PLA je jeho křehkost, omezená houževnatost, hydrofobicita a nízká tepelná odolnost [144, 145]. Možností, jak modifikovat některé fyzikálně-chemické vlastnosti PLA, je jeho smíchání s jinými polymery [82]. Zde se jako vhodný polymer jeví PMMA, který je vysoce chemicky stabilní, biokompatibilní, netoxický a má dobré mechanické vlastnosti [146, 147]. Hlavní důraz byl v této studii kladen na popis vzájemných vztahů mezi typem polymeru, složkami EO a výslednými vlastnostmi připravených mikrosfér, především antibakteriálních a termálních. Nedílnou součástí bylo také hodnocení morfologie mikrosfér, stanovení enkapsulační účinnosti a sledování kinetiky uvolňování BAL pomocí chromatografické metody.

Výsledky a diskuze okruhu II

Stanovení velikosti mikrosfér

V tabulce 2 jsou uvedeny velikosti připravených mikrosfér a hodnoty PDI. Průměrná velikost mikrosfér se pohybovala v rozmezí 1,5–9,5 μm a hodnoty PDI činily 1,6–2,7. PDI přesahující hodnotu 0,7 poukazují na širokou distribuci velikostí mikrosfér v daném vzorku [148]. Cardoso a kol. se zabývali přípravou mikrosfér na bázi PLA s olejovitou BAL pro systémy cíleného podávání léčiv, přičemž získali mikrosféry s PDI v rozmezí 1,0–2,7 [149]. To by mohlo souviset se zvýšenou viskozitou média. S rostoucí M_w polymeru roste viskozita vnitřní fáze emulze, což ztěžuje možnost desintegrace kapiček. Díky tomu pak dojde k formování větších mikrosfér [149, 150].

Při stanovení velikosti mikrosfér bylo zjištěno, že mikrosféry na bázi PLA vykazovaly nepatrně větší průměrnou velikost v porovnání s mikrosférami na bázi PMMA (viz tabulka 2). Ve studii Perese a kol., která zkoumala vliv zpracovatelských metod na vlastnosti nanočástic PLLA/PMMA, bylo zjištěno, že

zvýšení množství PMMA ve směsi PLLA/PMMA způsobuje větší velikost nanočástic, což je ovšem v rozporu s výsledky této studie. Je však třeba zmínit, že Peres a kol. použili při přípravě nanočástic PMMA s $M_w \sim 68\,000 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, což je téměř pětkrát vyšší M_w ve srovnání s použitým PLLA ($M_w \sim 13\,700 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) [151]. V naší studii však byl použit PLA s $M_w \sim 182\,000 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ a PMMA s $M_w \sim 159\,000 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, což by mohlo vysvětlovat rozdíly ve výsledcích obou studií. Přítomnost BAL v mikrosférách mírně ovlivnila jejich výslednou velikost. Tento jev je tedy pravděpodobně způsoben rozdílnými viskozitami polymerních roztoků s a bez obsahu BAL, což koresponduje s dříve publikovanými pracemi [149, 150].

Tabulka 2 Charakterizace připravených mikrosfér

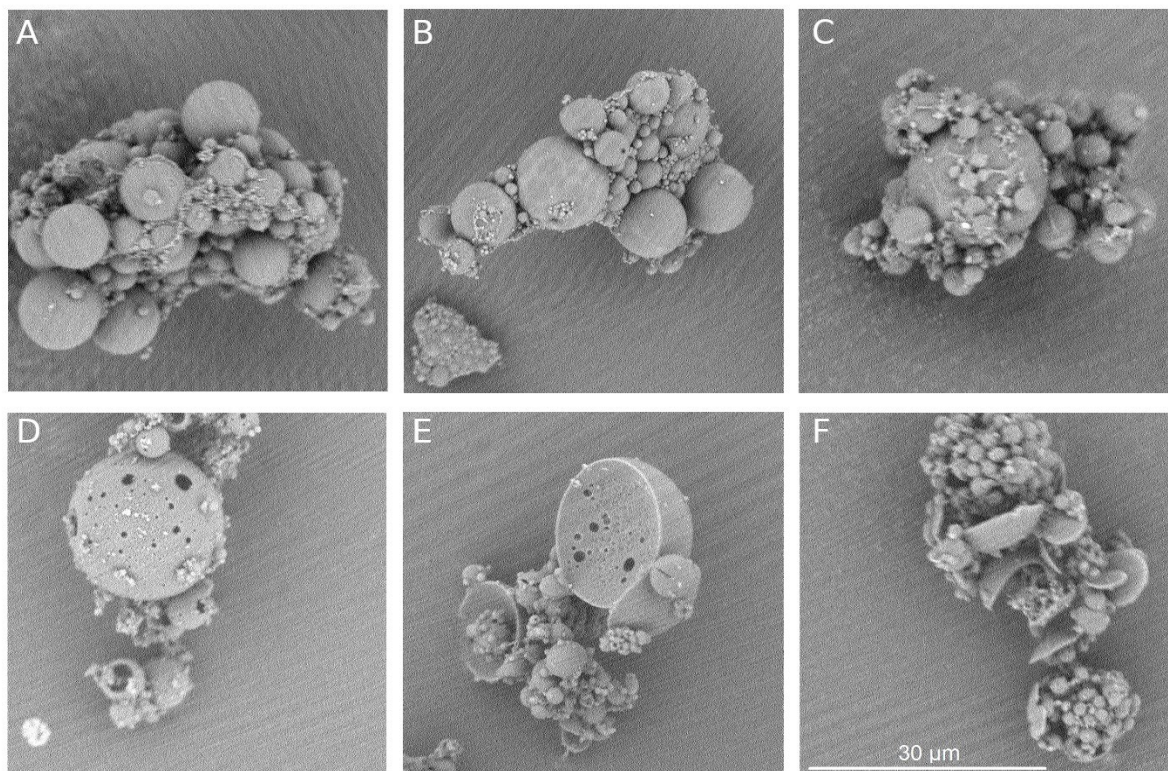
Vzorek	PDI	Dx50 (μm)	EE (%w/w)	Koncentrace BAL ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
PLA	2,14	$9,50 \pm 0,09$	-	-
PLA/LIN	2,41	$7,58 \pm 0,06$	$81,7 \pm 10,0$	$163,5 \pm 19,9$
PLA/ALY	2,12	$7,71 \pm 0,07$	$64,4 \pm 8,0$	$128,9 \pm 16,0$
PLA/ANE	2,10	$8,28 \pm 0,06$	$45,5 \pm 5,5$	$91,0 \pm 11,1$
PMMA	1,98	$1,47 \pm 0,01$	-	-
PMMA/LIN	2,08	$1,51 \pm 0,00$	$76,0 \pm 3,3$	$151,9 \pm 6,5$
PMMA/ALY	2,29	$1,66 \pm 0,01$	$69,7 \pm 9,2$	$139,3 \pm 18,4$
PMMA/ANE	1,99	$2,10 \pm 0,01$	$44,5 \pm 4,3$	$88,9 \pm 8,7$
PLA/PMMA 25:75	1,57	$2,51 \pm 0,01$	-	-
PLA/PMMA/ALY 25:75	2,67	$6,50 \pm 0,05$	$68,0 \pm 2,8$	$135,9 \pm 5,7$
PLA/PMMA 50:50	1,90	$4,91 \pm 0,02$	-	-
PLA/PMMA/ALY 50:50	1,91	$3,09 \pm 0,02$	$62,1 \pm 2,0$	$124,3 \pm 4,1$
PLA/PMMA 75:25	1,64	$3,97 \pm 0,02$	-	-
PLA/PMMA/ALY 75:25	2,21	$4,63 \pm 0,01$	$61,5 \pm 1,4$	$123,0 \pm 2,8$

Studium morfologie mikrosfér

Na obrázku 13 jsou zobrazeny snímky připravených mikrosfér před a po hydrolýze. Pomocí SEM bylo možno pozorovat sférický tvar a hladký povrch mikrosfér, nicméně u každého vzorku byla vidět určitá míra jejich aglomerace (viz obr. 13 A-F). U vzorků mikrosfér (obr. 13 A-C) nebyl pozorován významný vliv rozdílného poměru PLA/PMMA na jejich morfologii.

Na obrázku 13 D-F jsou zobrazeny mikrosféry po hydrolýze, která probíhala po dobu 96 hodin, při $37 \text{ }^\circ\text{C}$ v 1M NaOH. Bylo potvrzeno, že s rostoucím množstvím PLA v polymerní směsi dochází k vyššímu rozpadu mikrosfér, což je

viditelné zejména na obrázku 13 F. Tato skutečnost má významný vliv na kinetiku uvolňování enkapsulované BAL (viz diskuze níže).



Obr. 13 SEM snímky mikrosfér s různými poměry PLA a PMMA. Mikrosféry PLA/PMMA 25:75 (A), PLA/PMMA 50:50 (B) a PLA/PMMA 75:25 (C) a mikrosféry po hydrolyze v 1M NaOH, (PLA/PMMA 25:75 (D), PLA/PMMA 50:50 (E) a PLA/PMMA 75:25 (F)). Měřítka je shodné pro všechny snímky (viz F).

Termická analýza mikrosfér

Vzájemné interakce obou polymerů a ANE byly sledovány metodou DSC, pomocí které lze detekovat nadmolekulární změny v systému. Ty mohou mít významný dopad na výsledné chování mikrosfér (např. kinetiku uvolňování).

Pomocí DSC (tabulka 3) byla u PLA mikrosfér bez obsahu BAL zjištěna hodnota přechodové oblasti T_{g1} 55,29 °C, následovaná píkem studené krystalizace při 116,84 °C a rovněž byl pozorován maximální endotermický pík při 149,87 °C (T_m PLA). Naproti tomu mikrosféry PMMA bez obsahu BAL byly zcela amorfní a hodnota T_{g2} činila 104,79 °C.

Bylo rovněž zjištěno, že v důsledku přítomnosti ANE v mikrosférách došlo ke snížení hodnoty T_g u obou polymerů, přičemž u PMMA byl pozorován výraznější pokles této hodnoty (o 46,7 %), zatímco u PLA došlo k poklesu T_{g1} o 30,2 % (viz tabulka 3). Možným zdůvodněním může být fakt, že složky EO působí jako plastifikátor a zvyšují tak volný objem polymerních řetězců, což je v souladu

s jinou studií [141]. U vzorku s obsahem ANE byl rovněž zaznamenán posun nástupu studené krystalizace PLA směrem k nižší teplotě, což opět poukazuje na plastifikační efekt ANE, který umožňuje PLA snáze krystalizovat.

Při DSC analýze (viz tabulka 3) byly pozorovány hodnoty T_g PLA (T_{g1}) i PMMA (T_{g2}), což poukazuje na nemísitelnost obou polymerů. Tento závěr se koreluje s výsledky výzkumu Perese a kol. [151]. U vzorků PLA/PMMA 25:75, 50:50 a 75:25 lze pozorovat hodnoty T_m PLA, který se nepatrně posouval k vyšším teplotám spolu s rostoucím množstvím PLA v systému. Se zvyšujícím se poměrem PLA byl rovněž pozorován nárůst hodnoty entalpie ΔH_c a ΔH_m . Velikost ΔH_m je přímo úměrná obsahu krystalického podílu ve struktuře materiálu. Tyto hodnoty však byly výrazně nižší než u čistého PLA. U vzorků polymerních směsí je rovněž patrné zvýšení hodnot T_{g1} a T_{cc} v porovnání s čistým PLA. PMMA totiž mohl pravděpodobně iniciovat nukleační proces. Z výsledků DSC analýzy také vyplývá, že při zvyšující se koncentraci PMMA v polymerních směsí dochází ke zvýšení hodnot T_{g1} . PMMA má ve srovnání s PLA vyšší teplotu T_g a zvyšuje tak tuhost systému.

Tabulka 3 Termické vlastnosti mikrosfér (DSC analýza)

Vzorek	T_{g1} (°C)	T_{g2} (°C)	T_m (°C)	T_{cc} (°C)	ΔH_m (J·g ⁻¹)	ΔH_c (J·g ⁻¹)
PLA	55,29	-	149,87	116,84	-25,81	25,85
PLA/ANE	38,62	-	146,54	92,02	-28,54	20,79
PMMA	-	104,79	-	-	-	-
PMMA/ANE	-	55,87	-	-	-	-
PLA/PMMA 25:75	63,54	107,43	151,97	129,32	-1,97	2,48
PLA/PMMA 50:50	61,18	103,94	152,80	128,48	-3,33	3,45
PLA/PMMA 75:25	60,89	*	153,62	128,16	-5,82	6,16

* Nelze jednoznačně určit, jelikož T_g je pravděpodobně překryta T_{cc}

Stanovení účinnosti enkapsulačního procesu u připravených mikrosfér

Tabulka 2 zobrazuje koncentrace složek EO, a zároveň procentuální účinnost enkapsulačního procesu (EE) v polymerních mikrosférách, která se pohybovala mezi 44,5 a 81,7 hm. %. Nejvyšší hodnota EE byla pozorována u mikrosfér s obsahem LIN, zatímco nejnižší hodnotu EE vykazovaly mikrosféry s enkapsulovaným ANE. To je důsledkem rozdílných fyzikálně-chemických vlastností použitých EO. LIN vykazuje částečnou rozpustnost ve vodě (1,589 g.l⁻¹) oproti nerozpustným ANE a ALY [153, 154]. To ukazuje na zvýšenou polaritu LIN, a tedy i na potenciálně vyšší kompatibilitu s relativně polárními polymerními matricemi PLA a PMMA. Tyto výsledky korespondují se zjištěními uváděnými na straně 23-26 (obr. 10-12) této práce.

Z výsledků stanovení EE také vyplývá, že s rostoucím obsahem PLA ve směsi PLA/PMMA dochází k poklesu hodnot EE. Jednou z příčin tohoto jevu může být přítomnost krystalických oblastí PLA, které mohou snižovat sorpci BAL, nebo fungovat jako nepropustné bariéry pro difúzi skrze polymer [155]. Jak bylo publikováno v jiných výzkumech, míra sorpce pro danou látku často souvisí s množstvím amorfního polymeru ve směsi [134, 156].

Antibakteriální vlastnosti mikrosfér

V případě stanovení AA u mikrosfér byla zaznamenána 100% AA proti testovaným bakteriím pouze s výjimkou vzorku PLA/LIN. U tohoto vzorku nedošlo k inhibici růstu bakterie *Staphylococcus aureus*, což je v souladu se studií Suppakula a kol., kde byla také potvrzena vyšší AA kompozitu obsahujícího ALY ve srovnání s kompozitem obsahujícím LIN [40]. Tyto výsledky rovněž korespondují s výsledky z okruhu I a i s výsledky dalších studií [128, 157, 158].

Strukturní analýza mikrosfér

Pro studium struktury připravených mikrosfér byla použita metoda FTIR spektrometrie. Analyzovány byly mikrosféry: PLA, PLA/ALY, PMMA, PMMA/ALY, PLA/PMMA 25:75, PLA/PMMA 50:50, PLA/PMMA 75:25 a PLA/PMMA 25:75 (po hydrolyze). U mikrosfér na bázi PLA i u vzorků mikrosfér PMMA byly pomocí FTIR pozorovány charakteristické absorpční pásy. Po čtyřech dnech hydrolyzy se spektrum polymerních směsí shodovalo se spektrem čistého PMMA, což je v souladu s výsledky SEM analýzy (PLA byl zcela hydrolyzován). Ve vzorcích obsahujících ALY byla oproti vzorkům bez obsahu BAL pozorována přítomnost dalšího absorpčního pásu, které náleží vibraci aromatického kruhu [159].

Uvolňování BAL z polymerních mikrosfér

Na obrázcích 14 a 15 jsou zobrazeny grafy uvolňování BAL z mikrosfér.

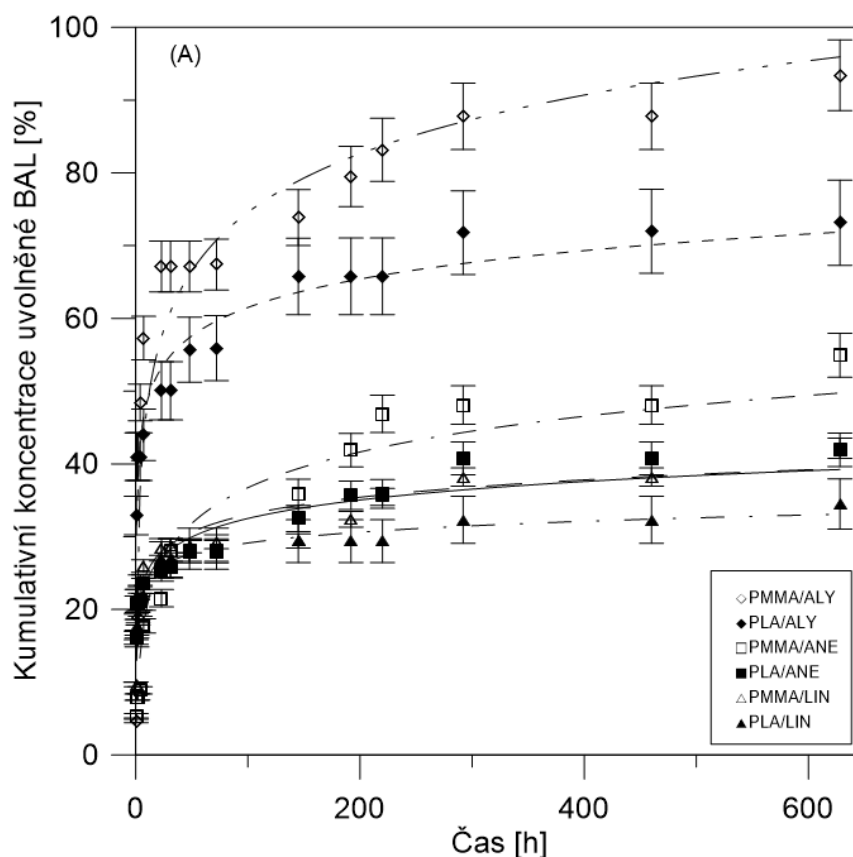
Během experimentu bylo pozorováno počáteční rychlé uvolnění BAL tzv. „burst“ efekt [160, 161], ke kterému došlo v důsledku absorpce BAL na povrchu mikrosfér a v jeho blízkosti (obr. 14 a 15). Nicméně ve druhé fázi již bylo zaznamenáno pomalé pozvolné uvolňování BAL rozptýlených v matrici polymeru, které může být způsobováno obecně několika mechanismy: difúzí BAL skrz polymer, botnáním polymeru nebo degradací polymeru [162–164].

Porovnáváním uvolňovacích profilů BAL (viz obr. 14) bylo zjištěno, že mikrosféry s nižší EE (viz tabulka 2) uvolňují tyto látky rychleji než mikrosféry s vyšší EE (mikrosféry s obsahem LIN). U mikrosfér PMMA/ALY došlo po 7 hodinách k uvolnění zhruba 57 hm. % enkapsulovaného ALY. Naproti tomu za stejný čas bylo ze vzorku PMMA/LIN uvolněno 25 hm. % enkapsulovaného LIN.

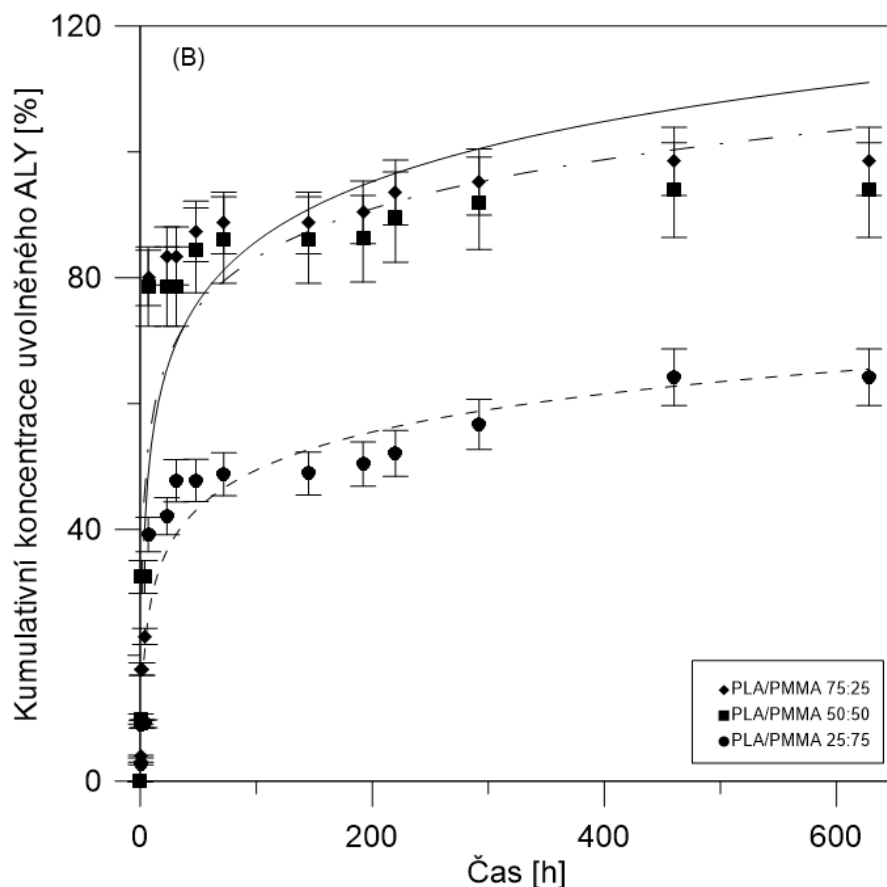
Hosseiny a kol. publikovali ve své studii obdobné výsledky [165]. V případě polymerní směsi PLA/PMMA byla rychlost uvolňování ALY pomalejší u mikrosfér s vyšší koncentrací enkapsulovaného ALY (vyšší EE) (viz obr. 15).

Bylo rovněž zřejmé, že BAL byly rychleji uvolňovány z PMMA mikrosfér. V případě migrace BAL z polymeru do vodného média hrají zásadní roli parametry zahrnující afinitu BAL k matrici polymeru a afinitu BAL k vodnému médiu. Hildebrandovy parametry rozpustnosti poskytují odhad stupně interakce mezi jednotlivými materiály. Materiály s podobnými hodnotami vykazují vyšší míru interakce. Avšak porovnáváním parametrů rozpustnosti dle Hildebranda nebyl shledán významný vliv chemické struktury BAL a polymerní matrice [166, 167].

Rychlost uvolňování BAL mohla být také ovlivněna fyzikálními faktory, mezi které lze zařadit např. podmínky při vlastní přípravě mikrosfér, a nebo jejich velikost. Obecně totiž platí, že menší mikrosféry uvolňují enkapsulovanou BAL rychleji a v kratším čase, a to z důvodu jejich většího poměru povrch:objem. Podobný výsledek byl popsán i jinou studií [162]. Kompletní uvolnění BAL však nebylo zaznamenáno u žádného vzorku, což naznačuje silnou interakci mezi složkami EO a polymerní matricí. Stejný závěr byl prezentován ve studii zabývající se enkapsulací thymolu do PLA [168].



Obr. 14 Uvolňování BAL z PLA a PMMA mikrosfér do vodného média



Obr. 15 Uvolňování ALY z PLA/PMMA mikrosfér do vodného média

Shrnutí okruhu II

Byly připraveny mikrosféry na bázi PLA, PMMA a jejich směsí s obsahem BAL (LIN, ALY, ANE) přírodního původu.

Metodou laserové difrakce byla určena velikost mikrosfér, která se pohybovala v rozmezí 1,5 až 9,5 μm . Vyšší velikost byla pozorována v případě PLA, což mohlo být způsobeno jeho vyšší molární hmotností v porovnání s PMMA.

Pomocí SEM byl pozorován sférický tvar a hladký povrch mikrosfér. S rostoucím množstvím PLA v PLA/PMMA směsi byl pomocí SEM pozorován také vyšší stupeň rozpadu mikrosfér, což mělo za následek rychlejší uvolňování BAL z polymerní směsi. Tyto výsledky se shodují s výsledky FTIR analýzy.

Pomocí metody GC/MS byly zjištěny hodnoty EE v rozmezí 44,5–81,7 hm. %, přičemž nejvyšší hodnoty byly pozorovány v případě mikrosfér s obsahem LIN. Bylo potvrzeno, že EE může být ovlivněna krystalizačními oblastmi polymeru.

DSC analýza potvrdila přítomnost dvou přechodových oblastí T_g , což poukazuje na nemísitelnost PLA s PMMA. Rovněž byl pozorován pokles hodnot T_g a T_m u mikrosfér s obsahem BAL, která zde zřejmě působila jako plastifikátor.

Z výsledků mikrobiologického testování byla zjištěna vysoká AA připravených mikrosfér proti růstu *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*.

ZÁVĚR

Disertační práce byla zaměřena na přípravu a charakterizaci materiálových systémů a procesů pro efektivní modifikaci vybraných polymerů pomocí přírodních složek EO (linalool, *trans*-anethol, estragol) za použití konvenčních zpracovatelských technik (termoplastické zpracování, enkapsulace v polymerním roztoku) s cílem získání nových a aplikačně relevantních polymerních systémů vykazujících antibakteriální a senzorycky přijatelné vlastnosti. Experimentální aktivity byly zaměřeny na dvě stěžejní oblasti zahrnující využití polyolefinické matrice (LDPE) a polymerů na bázi biorozložitelného polyesteru (PLA) a polymeru akrylátového typu (PMMA). Materiálová nekompatibilita složek EO a jejich nízká odolnost vůči vysokým teplotám a vůči oxidaci byla vyřešena pomocí zpracovatelského mezikroku jejich imobilizace na pevné nosiče a popřípadě jejich enkapsulací.

V rámci dílčích experimentálních aktivit bylo dosaženo následujících výstupů:

- byla vyvinuta a optimalizována metoda GC/MS a Py/GC/MS pro analytické stanovení BAL v polymerním systému,
- byly imobilizovány tři složky EO (LIN, ANE, ALY) na tři různá plniva (MS, TC, WF), přičemž byly popsány faktory, které tuto imobilizaci ovlivňují a dále byly termoplastickým způsobem inkorporovány do LDPE,
- byla provedena technika enkapsulace složek EO do matric PLA, PMMA a jejich směsí,
- pro účely popisu kinetiky uvolňování složek EO (LIN, ANE, ALY) z polymerních mikrosfér do vodného prostředí byla vyvinuta metoda jejich stanovení pomocí metody GC v kombinaci s metodou SPME,
- u připravených BPS byla stanovena antibakteriální aktivita proti grampozitivním (*Staphylococcus aureus*) i gramnegativním bakteriálním (*Escherichia coli*) kmenům,
- vliv modifikace polymerních matric pomocí složek EO byl hodnocen mechanickou, termickou, morfologickou a strukturní analýzou.

Získané výsledky byly publikovány v impaktovaných časopisech a využity pro návazné projekty aplikovaného výzkumu.

PŘÍNOS PRO VĚDU A PRAXI

Předložená disertační práce přináší možné přístupy k antibakteriální modifikaci polymerů za využití v současnosti preferovaných BAL přírodního původu. Tato práce představuje multidisciplinárně orientovanou výzkumnou práci zasahující obory makromolekulární a analytické chemie, materiálové inženýrství a mikrobiologie.

Připravené polymerní systémy mají vysoký potenciál pro různé oblasti průmyslu, především však pro obalový průmysl. Obalové systémy s vysokou užitnou hodnotou umožní efektivnější a delší uskladnění např. potravin a kosmetických produktů.

Praktický přínos této práce lze nalézt v metodě a popisu imobilizace složek EO na pevné nosiče. Poznatky z této metody přispěly k dosažení výstupů aplikovaného výzkumu, který vznikl v rámci projektu TAČR TG03010052. V průběhu dílčího projektu 04/1/2016/GAMA s názvem “Adiviva pro hygienizaci zpracovatelských procesů polymerních recyklátů a pryží“, byl získán užitný vzor i funkční vzorek. V roce 2018 byla k danému výsledku uzavřena licenční smlouva s průmyslovým partnerem.

Dalším projektem, ve kterém byla využita metoda adsorpce BAL na pevné nosiče, byl projekt ZÉTA TJ01000329 zabývající se přípravou sensoricky aktivních polymerních koncentrátů obsahujících produkty pokročilých extrakcí vybraných rostlin.

V rámci projektu ZÉTA TJ01000330 s názvem “Nové stabilizátory pro plasty na bázi přírodních bioaktivních látek“ byly využity poznatky publikované v rámci této disertační práce. Projekt byl zaměřen na využití BAL betainu izolovaného z červené řepy, který má po jeho imobilizaci na pevný nosič sloužit k antioxidační ochraně elastomerů a polyesterů.

Další přínos lze nalézt také v zavedení metodiky stanovení použitých BAL pomocí metody Py/GC/MS, díky které není nutno podrobit vzorky časově velmi náročné extrakci.

Díky současné zvýšené poptávce po biodegradovatelných polymerech se PLA stává jednou z velmi zajímavých alternativ plastů na bázi ropy. Vylepšení vlastností PLA pomocí antibakteriální přísady, popř. jeho smísením s dalším polymerem (PMMA) může dále zvýšit jeho použitelnost na trhu. Lze tedy konstatovat, že připravené mikrosféry s antibakteriální aktivitou a možností dosažení řízeného uvolňování mohou být potenciálně aplikovatelné např. ve farmaceutickém průmyslu nebo i ve zdravotnictví.

Přínosem pro školitelské pracoviště jsou i publikační aktivity vzniklé v rámci této práce a prezentace dosažených výsledků na odborných konferencích.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Martins, I. M.; Rodrigues, S. N.; Barreiro, M. F.; aj.: Release of thyme oil from polylactide microcapsules. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, ročník 50, č. 24, 2011, ISSN 08885885, doi:10.1021/ie200791r.
- [2] Ahvenainen, R.: *Novel Food Packaging Techniques*. Cambridge: Elsevier, jun 2003, ISBN 9781855737020, 379–379 s.
- [3] Kenawy, E. R.; Worley, S. D.; Broughton, R.: The chemistry and applications of antimicrobial polymers: A state-of-the-art review. *Biomacromolecules*, ročník 8, č. 5, 2007, ISSN 15257797, doi:10.1021/bm061150q.
- [4] West, J. L.; Hubbell, J. A.: Bioactive Polymers. In *Synthetic Biodegradable Polymer Scaffolds*, editace A. Atala; D. J. Mooney, Boston: Birkhäuser Boston, 1997, ISBN 9781461241546, s. 83–95.
- [5] Bagamboula, C. F.; Uyttendaele, M.; Debevere, J.: Inhibitory effect of thyme and basil essential oils, carvacrol, thymol, estragol, linalool and p-cymene towards *Shigella sonnei* and *S. flexneri*. *Food Microbiology*, ročník 21, č. 1, 2004, ISSN 07400020, doi:10.1016/S0740-0020(03)00046-7.
- [6] Beier, R. C.; Allen Byrd, J.; Kubena, L. F.; aj.: Evaluation of linalool, a natural antimicrobial and insecticidal essential oil from basil: Effects on poultry. *Poultry Science*, ročník 93, č. 2, 2014, ISSN 00325791, doi: 10.3382/ps.2013-03254.
- [7] Dini, I.: Use of Essential Oils in Food Packaging. In *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, editace V. R. Preedy, London: Elsevier, 2016, ISBN 9780124166448, s. 139–147.
- [8] Jana, S.; Patra, K.; Sarkar, S.; aj.: Antitumorigenic potential of linalool is accompanied by modulation of oxidative stress: An in vivo study in sarcoma-180 solid tumor model. *Nutrition and Cancer*, ročník 66, č. 5, 2014, ISSN 15327914, doi:10.1080/01635581.2014.904906.
- [9] More, T. A.; Kulkarni, B. R.; Nalawade, M. L.; aj.: Antidiabetic activity of linalool and limonene in streptozotocin- induced diabetic rat: A combinatorial therapy approach. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, ročník 6, č. 8, 2014, ISSN 09751491.
- [10] Peana, A. T.; D'Aquila, P. S.; Panin, F.; aj.: Anti-inflammatory activity of linalool and linalyl acetate constituents of essential oils. *Phytomedicine*, ročník 9, č. 8, 2002, ISSN 09447113, doi:10.1078/094471102321621322.
- [11] Re, L.; Barocci, S.; Sonnino, S.; aj.: Linalool modifies the nicotinic receptor-ion channel kinetics at the mouse neuromuscular junction. *Pharmacological Research*, ročník 42, č. 2, 2000, ISSN 10436618, doi:10.1006/phrs.2000.0671.

- [12] Urbánková, M.: *Imobilizace přírodních biologicky aktivních látek v matrici polymeru pro obalové aplikace*. Diplomová práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín, 2012.
- [13] Li, M.; Rouaud, O.; Poncelet, D.: Microencapsulation by solvent evaporation: State of the art for process engineering approaches. *International Journal of Pharmaceutics*, ročník 363, č. 1-2, 2008, ISSN 03785173, doi: 10.1016/j.ijpharm.2008.07.018.
- [14] Biesalski, H. K.; Dragsted, L. O.; Elmadfa, I.; aj.: Bioactive compounds: Definition and assessment of activity. *Nutrition*, ročník 25, č. 11-12, 2009, ISSN 08999007, doi:10.1016/j.nut.2009.04.023.
- [15] Dřimalová, D.: Růstové regulátory v řasách. *Czech Phycology*, ročník 5, č. 1, 2005: s. 101–112, ISSN 1805-4927.
- [16] Yi, Z.; Yin-shan, C.; Hai-sheng, L.: Screening for antibacterial and antifungal activities in some marine algae from the Fujian coast of China with three different solvents. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, ročník 19, č. 4, 2001, ISSN 0254-4059, doi:10.1007/bf02850736.
- [17] Guaadaoui, A.; Benaicha, S.; Elmajdoub, N.; aj.: What is a bioactive compound? A combined definition for a preliminary consensus. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, ročník 3, č. 3, 2014, ISSN 14653478, doi:10.11648/j.ijnfs.20140303.16.
- [18] Segura Campos, M. R.: *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing, dec 2018, ISBN 9780128147757.
- [19] Bakkali, F.; Averbeck, S.; Averbeck, D.; aj.: Biological effects of essential oils - A review. *Food and Chemical Toxicology*, ročník 46, č. 2, 2008, ISSN 02786915, doi:10.1016/j.fct.2007.09.106.
- [20] Burt, S.: Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. *International Journal of Food Microbiology*, ročník 94, č. 3, 2004, ISSN 01681605, doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022.
- [21] Damian, P.; Damian, K.: *Aromatherapy: Scent and Psyche: Using Essential Oils for Physical and Emotional Well-Being*. Rochester: Healing Arts Press, sep 1995, ISBN 9780892815302.
- [22] Aumeeruddy-Elalfi, Z.; Lall, N.; Fibrich, B.; aj.: Selected essential oils inhibit key physiological enzymes and possess intracellular and extracellular antimelanogenic properties in vitro. *Journal of Food and Drug Analysis*, ročník 26, č. 1, 2018, ISSN 10219498, doi:10.1016/j.jfda.2017.03.002.

- [23] Kamatou, G. P.; Viljoen, A. M.: A review of the application and pharmacological properties of α -bisabolol and α -bisabolol-rich oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, ročník 87, č. 1, 2010, ISSN 0003021X, doi:10.1007/s11746-009-1483-3.
- [24] Mahomoodally, F.; Aumeeruddy-Elalfi, Z.; Venugopala, K. N.; aj.: Antiglycation, comparative antioxidant potential, phenolic content and yield variation of essential oils from 19 exotic and endemic medicinal plants. *Saudi Journal of Biological Sciences*, ročník 26, č. 7, 2019, ISSN 1319562X, doi:10.1016/j.sjbs.2018.05.002.
- [25] Asgher, M.; Qamar, S. A.; Bilal, M.; aj.: Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemicalbased packaging materials. *Food Research International*, ročník 137, 2020, ISSN 18737145, doi:10.1016/j.foodres.2020.109625.
- [26] Burdock, G. A.: *Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients*. Boca Raton: CRC Press, páté vydání, dec 2004, ISBN 9780429124976.
- [27] Li, S.: *Manufacture of Fine Chemicals from Acetylene*. 2021, doi:10.1515/9783110714999.
- [28] Jugreet, B. S.; Suroowan, S.; Rengasamy, R. R.; aj.: Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils. *Trends in Food Science and Technology*, ročník 101, 2020, ISSN 09242244, doi:10.1016/j.tifs.2020.04.025.
- [29] Elisabetsky, E.; Marschner, J.; Onofre Souza, D.: Effects of linalool on glutamatergic system in the rat cerebral cortex. *Neurochemical Research*, ročník 20, č. 4, 1995, ISSN 03643190, doi:10.1007/BF00973103.
- [30] Peana, A. T.; Moretti, M. D. L.: Linalool in essential plant oils: pharmacological effects. In *Botanical medicine in clinical practice*, editace R. R. Watson; V. R. Preedy, Wallingford: CABI, nov 2008, ISBN 9781845934132, s. 716–724.
- [31] Peana, A. T.; Marzocco, S.; Popolo, A.; aj.: (-)-Linalool inhibits in vitro NO formation: Probable involvement in the antinociceptive activity of this monoterpene compound. *Life Sciences*, ročník 78, č. 7, 2006, ISSN 00243205, doi:10.1016/j.lfs.2005.05.065.
- [32] Sarkar, A. K.: *Emerging Trends of Bioscience Researches*. Dwarka: Educreation Publishing, sep 2019, ISBN 9788193308172.
- [33] Weaver, D. K.; Dunkel, F. V.; Ntezurubanza, L.; aj.: The efficacy of linalool, a major component of freshly-milled *Ocimum canum* Sims (Lamiaceae), for protection against postharvest damage by certain stored product Coleoptera.

Journal of Stored Products Research, ročník 27, č. 4, 1991, ISSN 0022474X, doi:10.1016/0022-474X(91)90003-U.

[34] Yang, F.; Long, E.; Wen, J.; aj.: Linalool, derived from *Cinnamomum camphora* (L.) Presl leaf extracts, possesses molluscicidal activity against *Oncomelania hupensis* and inhibits infection of *Schistosoma japonicum*. *Parasites and Vectors*, ročník 7, č. 1, 2014, ISSN 17563305, doi:10.1186/1756-3305-7-407.

[35] Burdock, G. A.: *Encyclopedia of Food & Color Additives*. Boca Raton: CRC Press, jul 2014, ISBN 9781498711081.

[36] De Vincenzi, M.; Silano, M.; Maialetti, F.; aj.: Constituents of aromatic plants: II. Estragole. *Fitoterapia*, ročník 71, č. 6, 2000, ISSN 0367326X, doi:10.1016/S0367-326X(00)00153-2.

[37] De Siqueira, R. J. B.; Magalhães, P. J. C.; Leal-Cardoso, J. H.; aj.: Cardiovascular effects of the essential oil of *Croton zehntneri* leaves and its main constituents, anethole and estragole, in normotensive conscious rats. *Life Sciences*, ročník 78, č. 20, 2006, ISSN 00243205, doi: 10.1016/j.lfs.2005.09.042.

[38] Smith, R. L.; Adams, T. B.; Doull, J.; aj.: Safety assessment of allylalkoxybenzene derivatives used as flavouring substances - Methyl eugenol and estragole. *Food and Chemical Toxicology*, ročník 40, č. 7, 2002, ISSN 02786915, doi:10.1016/S0278-6915(02)00012-1.

[39] Soares, P. M. G.; Lima, R. F.; de Freitas Pires, A.; aj.: Effects of anethole and structural analogues on the contractility of rat isolated aorta: Involvement of voltage-dependent Ca²⁺-channels. *Life Sciences*, ročník 81, č. 13, 2007, ISSN 00243205, doi:10.1016/j.lfs.2007.08.027.

[40] Suppakul, P.; Sonneveld, K.; Bigger, S. W.; aj.: Efficacy of polyethylenebased antimicrobial films containing principal constituents of basil. *LWT - Food Science and Technology*, ročník 41, č. 5, 2008: s. 779–788, ISSN 00236438, doi:10.1016/j.lwt.2007.06.006.

[41] De, M.; De, A. K.; Sen, P.; aj.: Antimicrobial properties of Star anise (*Illicium verum* Hook f). *Phytotherapy Research*, ročník 16, č. 1, 2002, ISSN 0951418X, doi:10.1002/ptr.989.

[42] Knio, K. M.; Usta, J.; Dagher, S.; aj.: Larvicidal activity of essential oils extracted from commonly used herbs in Lebanon against the seaside mosquito, *Ochlerotatus caspius*. *Bioresource Technology*, ročník 99, č. 4, 2008, ISSN 09608524, doi:10.1016/j.biortech.2007.01.026.

[43] Marinov, V.; Valcheva-Kuzmanova, S.: Review on the pharmacological activities of anethole. *Scripta Scientifica Pharmaceutica*, ročník 2, č. 2, 2015, ISSN 2367-6000, doi:10.14748/ssp.v2i2.1141.

- [44] Oktay, M.; Gülçin, I.; Küfrevioğlu, Ö. I.: Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. *LWT Food Science and Technology*, ročník 36, č. 2, 2003, ISSN 00236438, doi: 10.1016/S0023-6438(02)00226-8.
- [45] *CFR - Code of Federal Regulations Title 21 - Part 172 Food and additives permitted for direct addition to food for human consumption* [online]. [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fr=172.515>
- [46] *CFR - Code of Federal Regulations Title 21 - Part 182 Substances Generally Recognized as Safe* [online]. © [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fr=182.60>
- [47] Otgonzul, O.: *Bioactive polymeric systems for food and medical packaging applications*. Doctoral thesis, Tomas Bata University, Zlin, 2010.
- [48] Steven, M. D.; Hotchkiss, J. H.: Non-migratory bioactive polymers (NMBP) in food packaging. In *Novel Food Packaging Techniques*, editace R. Ahvenainen, Boca Raton: Woodhead Publishing, jun 2003, ISBN 9781855737020, s. 71–102.
- [49] Sun, Y.; Sun, G.: Surface modification of poly(styrene) by the attachment of an antimicrobial peptide. *Journal of Applied Polymer Science*, ročník 81, č. 3, 2001, ISSN 00218995, doi:10.1002/app.1476.
- [50] Han, J.: Antimicrobial packaging systems. In *Innovations in Food Packaging*, editace J. H. Han, Winnipeg: Elsevier, jul 2005, ISBN 9780080455174, s. 80–101.
- [51] Coma, V.; Sebti, I.; Pardon, P.; aj.: Antimicrobial edible packaging based on cellulosic ethers, fatty acids, and nisin incorporation to inhibit *Listeria innocua* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Food Protection*, ročník 64, č. 4, 2001, ISSN 0362028X, doi:10.4315/0362-028X-64.4.470.
- [52] Ishitani, T.: Active packaging for food quality preservation in Japan. In *Food and food packaging materials—chemical interactions*, editace P. Ackerman; M. Jägerstad; T. Oglsson, Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1995, ISBN 9780854047208, s. 177–188.
- [53] Sedlařík, V.: *Antimicrobial modifications of polymers*. Habilitation theses, Tomas Bata University, Zlin, 2011.
- [54] Bílek, F.; Sulovská, K.; Lehocký, M.; aj.: Preparation of active antibacterial LDPE surface through multistep physicochemical approach II: Graft type effect on antibacterial properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, ročník 102, 2013, ISSN 09277765, doi:10.1016/j.colsurfb.2012.08.026.

- [55] Gollwitzer, H.; Ibrahim, K.; Meyer, H.; aj.: Antibacterial poly(D,L-lactic acid) coating of medical implants using a biodegradable drug delivery technology. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, ročník 51, č. 3, 2003, ISSN 03057453, doi:10.1093/jac/dkg105.
- [56] Mokrejš, P.; Langmaier, F.: *Aplikace přírodních polymerů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008, ISBN 9788073186746.
- [57] Slabotinský, J.: *Studium difúzních pochodů otravných látek vrstvenými polymerními materiály prostředků ochrany kůže*. Kandidátská disertační práce, Vojenská akademie Antonína Zápotockého, Brno, 1981.
- [58] Dvořáková, J.: *Využití plynové chromatografie ke studiu permeace toxických látek bariérovými materiály*. Disertační práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno, jun 2009.
- [59] Bhunia, K.; Sablani, S. S.; Tang, J.; aj.: Migration of chemical compounds from packaging polymers during microwave, conventional heat treatment, and storage. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, ročník 12, č. 5, 2013, ISSN 15414337, doi:10.1111/1541-4337.12028.
- [60] da Silva, P. T.; Fries, L. L. M.; de Menezes, C. R.; aj.: Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. *Ciência Rural*, ročník 44, č. 7, 2014, ISSN 0103-8478, doi: 10.1590/0103-8478cr20130971.
- [61] Vysloužil, J.; Dvořáčková, K.; Kejdušová, M.; aj.: Příprava léčivých mikročástic metodou odpařování rozpouštědla. *Chemické Listy*, ročník 107, č. 1, 2013, ISSN 00092770.
- [62] Lengyel, M.; Kállai-Szabó, N.; Antal, V.; aj.: Microparticles, microspheres, and microcapsules for advanced drug delivery. 2019, doi:10.3390/scipharm87030020.
- [63] Martins, I. M.; Barreiro, M. F.; Coelho, M.; aj.: Microencapsulation of essential oils with biodegradable polymeric carriers for cosmetic applications. 2014, doi:10.1016/j.cej.2014.02.024.
- [64] Martins, I. M.; Rodrigues, S. N.; Barreiro, M. F.; aj.: Release studies of thymol and p -cymene from polylactide microcapsules. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, ročník 51, č. 35, 2012, ISSN 08885885, doi: 10.1021/ie301406f.
- [65] Ghosh, S. K.: Functional Coatings and Microencapsulation: A General Perspective. In *Functional Coatings*, editace S. K. Ghosh, Weinheim: John Wiley & Sons, jul 2006, ISBN 9783527312962, s. 1–28, doi:10.1002/3527608478.ch1.

- [66] Freitas, S.; Merkle, H. P.; Gander, B.: Microencapsulation by solvent extraction/evaporation: Reviewing the state of the art of microsphere preparation process technology. *Journal of Controlled Release*, ročník 102, č. 2, 2005, ISSN 01683659, doi:10.1016/j.jconrel.2004.10.015.
- [67] Tabata, Y.; Gutta, S.; Langer, R.: Controlled Delivery Systems for Proteins Using Polyanhydride Microspheres. *Pharmaceutical Research: An Official Journal of the American Association of Pharmaceutical Scientists*, ročník 10, č. 4, 1993, ISSN 1573904X, doi:10.1023/A:1018929531410.
- [68] Alagusundaram, M.; Madhu Sudana Chetty, C.; Umashankari, K.; aj.: Microspheres as a novel drug delivery system - A review. *International Journal of ChemTech Research*, ročník 1, č. 3, 2009, ISSN 09744290.
- [69] Brannon-Peppas, L.: Polymers in controlled drug delivery. *Medical Plastic and Biomaterials*, ročník 2, č. 4, 1997.
- [70] Strbak, O.; Antal, I.; Gogola, D.; aj.: Measurement of the magnetite nanoparticles' relaxivity during encapsulation into polylactide carriers. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, ročník 104, 2017, ISSN 02632241, doi:10.1016/j.measurement.2017.03.019.
- [71] Costa Lima, S.; Rodrigues, V.; Garrido, J.; aj.: In vitro evaluation of bisnaphthalimidopropyl derivatives loaded into pegylated nanoparticles against *Leishmania infantum* protozoa. *International Journal of Antimicrobial Agents*, ročník 39, č. 5, 2012, ISSN 09248579, doi:10.1016/j.ijantimicag.2012.01.003.
- [72] Lee, W. C.; Li, Y. C.; Chu, I. M.: Amphiphilic poly(D,L-lactic acid)/poly(ethylene glycol)/poly(D,L-lactic acid) nanogels for controlled release of hydrophobic drugs. *Macromolecular Bioscience*, ročník 6, č. 10, 2006, ISSN 16165187, doi:10.1002/mabi.200600101.
- [73] Gorrasi, G.; Pantani, R.: Hydrolysis and Biodegradation of Poly(lactic acid). *Advances in Polymer Science*, ročník 279, 2018: s. 119–151, ISSN 00653195.
- [74] Lee, B. K.; Yun, Y.; Park, K.: PLA micro- and nano-particles. *Advanced Drug Delivery Reviews*, ročník 107, 2016, ISSN 18728294, doi:10.1016/j.addr.2016.05.020.
- [75] Castro-Aguirre, E.; Iñiguez-Franco, F.; Samsudin, H.; aj.: Poly(lactic acid)—Mass production, processing, industrial applications, and end of life. *Advanced Drug Delivery Reviews*, ročník 107, 2016, ISSN 18728294, doi:10.1016/j.addr.2016.03.010.
- [76] Hamad, K.; Kaseem, M.; Deri, F.: Effect of recycling on rheological and mechanical properties of poly(lactic acid)/polystyrene polymer blend. *Journal of Materials Science*, ročník 46, č. 9, 2011, ISSN 00222461, doi: 10.1007/s10853-010-5179-8.

- [77] Lim, L. T.; Auras, R.; Rubino, M.: Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science*, ročník 33, č. 8, 2008, ISSN 00796700, doi:10.1016/j.progpolymsci.2008.05.004.
- [78] Murariu, M.; Dubois, P.: PLA composites: From production to properties. *Advanced Drug Delivery Reviews*, ročník 107, 2016, ISSN 18728294, doi: 10.1016/j.addr.2016.04.003.
- [79] Rasal, R. M.; Janorkar, A. V.; Hirt, D. E.: Poly(lactic acid) modifications. *Progress in Polymer Science*, ročník 35, č. 3, 2010, ISSN 00796700, doi: 10.1016/j.progpolymsci.2009.12.003.
- [80] Vano-Herrera, K.; Misiun, A.; Vogt, C.: Preparation and characterization of poly(lactic acid)/poly(methyl methacrylate) blend tablets for application in quantitative analysis by micro Raman spectroscopy. *Journal of Raman Spectroscopy*, ročník 46, č. 2, 2015, ISSN 10974555, doi: 10.1002/jrs.4603.
- [81] Yu, L.; Dean, K.; Li, L.: Polymer blends and composites from renewable resources. *Progress in Polymer Science*, ročník 31, č. 6, 2006, ISSN 00796700, doi:10.1016/j.progpolymsci.2006.03.002.
- [82] Imre, B.; Pukánszky, B.: Compatibilization in bio-based and biodegradable polymer blends. *European Polymer Journal*, ročník 49, č. 6, 2013, ISSN 00143057, doi:10.1016/j.eurpolymj.2013.01.019.
- [83] Auras, R.; Lim, L. T.; Selke, S. E.; aj.: *Poly(lactic acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications*. Hoboken: John Wiley & Sons, sep 2010, ISBN 9780470293669.
- [84] Ferreira, S. A.; Gama, F. M.; Vilanova, M.: Polymeric nanogels as vaccine delivery systems. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, ročník 9, č. 2, 2013, ISSN 15499634, doi:10.1016/j.nano.2012.06.001.
- [85] Shimko, D. A.; Nauman, E. A.: Development and characterization of a porous poly(methyl methacrylate) scaffold with controllable modulus and permeability. *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials*, ročník 80, č. 2, 2007, ISSN 15524973, doi:10.1002/jbm.b. 30605.
- [86] Shirahase, T.; Komatsu, Y.; Tominaga, Y.; aj.: Miscibility and hydrolytic degradation in alkaline solution of poly(l-lactide) and poly(methyl methacrylate) blends. *Polymer*, ročník 47, č. 13, 2006, ISSN 00323861, doi: 10.1016/j.polymer.2006.04.012.
- [87] Mleziva, J.; Šňupárek, J.: *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha: Sobotáles, druhé vydání, 2000, ISBN 80-85920-72-7.
- [88] Hao, X.; Kaschta, J.; Pan, Y.; aj.: Intermolecular cooperativity and entanglement network in a miscible PLA/PMMA blend in the presence of

nanosilica. *Polymer*, ročník 82, 2016, ISSN 00323861, doi:10.1016/j.polymer.2015.11.029.

[89] Samuel, C.; Barrau, S.; Lefebvre, J. M.; aj.: Designing multiple-shape memory polymers with miscible polymer blends: Evidence and origins of a triple-shape memory effect for miscible PLLA/PMMA blends. *Macromolecules*, ročník 47, č. 19, 2014, ISSN 15205835, doi:10.1021/ma500846x.

[90] Velasco, D.; Benito, L.; Fernández-Gutiérrez, M.; aj.: Preparation in supercritical CO₂ of porous poly(methyl methacrylate)-poly(l-lactic acid) (PMMA-PLA) scaffolds incorporating ibuprofen. *Journal of Supercritical Fluids*, ročník 54, č. 3, 2010, ISSN 08968446, doi:10.1016/j.supflu.2010.05.012.

[91] Cossement, D.; Gouttebaron, R.; Cornet, V.; aj.: PLA-PMMA blends: A study by XPS and ToF-SIMS. *Applied Surface Science*, ročník 252, č. 19, 2006, ISSN 01694332, doi:10.1016/j.apsusc.2006.02.225.

[92] Eguiburu, J. L.; Iruin, J. J.; Fernandez-Berridi, M. J.; aj.: Blends of amorphous and crystalline polylactides with poly(methyl methacrylate) and poly(methyl acrylate): A miscibility study. *Polymer*, ročník 39, č. 26, 1998, ISSN 00323861, doi:10.1016/S0032-3861(98)00182-7.

[93] Zhang, G.; Zhang, J.; Wang, S.; aj.: Miscibility and phase structure of binary blends of polylactide and poly(methyl methacrylate). *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, ročník 41, č. 1, 2002, ISSN 08876266, doi:10.1002/polb.10353.

[94] Gavara, R.; López Carballo, G.; Hernández Munoz, P.; aj.: *Practical Guide to Antimicrobial Active Packaging*. Shawbury: Smithers Pira, oct 2015, ISBN 9781910242100.

[95] Ziyat, H.; Naciri Bennani, M.; Hajjaj, H.; aj.: Adsorption of Thymol onto Natural Clays of Morocco: Kinetic and Isotherm Studies. *Journal of Chemistry*, ročník 2020, 2020, ISSN 20909071, doi:10.1155/2020/4926809.

[96] Keller, J. U.; Staudt, R.: *Gas Adsorption Equilibria*. New York: SpringerVerlag, jan 2005, ISBN 978-0387235974.

[97] Xanthos, M.: Polymers and Polymer Composites. In *Functional Fillers for Plastics*, editace M. Xanthos, Weinheim: John Wiley & Sons, druhé vydání, sep 2010, ISBN 9783527629855, s. 1–18.

[98] Gunjal, J.; Aggarwal, P.; Chauhan, S.: Changes in colour and mechanical properties of wood polypropylene composites on natural weathering. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, ročník 22, č. 3, 2020, ISSN 0718221X, doi:10.4067/S0718-221X2020005000307.

- [99] Rothon, R.: *Fillers for Polymer Applications - Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series*. Chester: Springer International Publishing, mar 2017, ISBN 9783319281162, – s.
- [100] Ahmadi, B.; Shekarchi, M.: Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material. *Cement and Concrete Composites*, ročník 32, č. 2, 2010, ISSN 09589465, doi:10.1016/j.cemconcomp.2009.10.006.
- [101] Auerbach, S. M.; Carrado, K. A.; Dutta, P. K.: *Handbook of Zeolite Science and Technology*. New York: CRC Press, jul 2003, ISBN 9780203911167.
- [102] Lee, J. Y.; Shim, M. J.; Kim, S. W.: Effect of natural zeolite on the mechanical properties of epoxy matrix. *Polymer Engineering and Science*, ročník 39, č. 10, 1999, ISSN 00323888, doi:10.1002/pen.11592.
- [103] Calo, J. R.; Crandall, P. G.; O'Bryan, C. A.; aj.: Essential oils as antimicrobials in food systems - A review. *Food Control*, ročník 54, 2015, ISSN 09567135, doi:10.1016/j.foodcont.2014.12.040.
- [104] Hyldgaard, M.; Mygind, T.; Meyer, R. L.: Essential oils in food preservation: Mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, ročník 3, č. JAN, 2012, ISSN 1664302X, doi:10.3389/fmicb.2012.00012.
- [105] Bassolé, I. H. N.; Juliani, H. R.: Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*, ročník 17, č. 4, 2012, ISSN 14203049, doi:10.3390/molecules17043989.
- [106] Aguirre, A.; Borneo, R.; Leon, A. E.: Antimicrobial, mechanical and barrier properties of triticale protein films incorporated with oregano essential oil. *Food Bioscience*, ročník 1, 2013, ISSN 22124292, doi:10.1016/j.fbio.2012.12.001.
- [107] Atsumi, T.; Tonosaki, K.: Smelling lavender and rosemary increases free radical scavenging activity and decreases cortisol level in saliva. *Psychiatry Research*, ročník 150, č. 1, 2007, ISSN 01651781, doi:10.1016/j.psychres.2005.12.012.
- [108] Park, S. N.; Lim, Y. K.; Freire, M. O.; aj.: Antimicrobial effect of linalool and α -terpineol against periodontopathic and cariogenic bacteria. *Anaerobe*, ročník 18, č. 3, 2012, ISSN 10759964, doi:10.1016/j.anaerobe.2012.04.001.
- [109] Gharib, R.; Haydar, S.; Charcosset, C.; aj.: First study on the release of a natural antimicrobial agent, estragole, from freeze-dried delivery systems based on cyclodextrins and liposomes. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, ročník 52, 2019, ISSN 17732247, doi:10.1016/j.jddst.2019.05.032.
- [110] Domiciano, T. P.; Dalalio, M. M. H. D. O.; Silva, E. L.; aj.: Inhibitory effect of anethole in nonimmune acute inflammation. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives*

of Pharmacology, ročník 386, č. 4, 2013, ISSN 00281298, doi: 10.1007/s00210-012-0820-5.

[111] Newberne, P.; Smith, R. L.; Doull, J.; aj.: The FEMA GRAS assessment of trans-anethole used as a flavouring substance. 1999, doi:10.1016/S0278-6915(99)00037-X.

[112] Bickers, D.; Calow, P.; Greim, H.; aj.: A toxicologic and dermatologic assessment of linalool and related esters when used as fragrance ingredients. *Food and Chemical Toxicology*, ročník 41, č. 7, 2003, ISSN 02786915, doi: 10.1016/S0278-6915(03)00016-4.

[113] Cohen, S. M.; Eisenbrand, G.; Fukushima, S.; aj.: GRAS 28 flavoring substances. *Food Technology*, ročník 72, č. 7, 2018, ISSN 00156639.

[114] Yang, H. S.; Kim, H. J.; Park, H. J.; aj.: Water absorption behavior and mechanical properties of lignocellulosic filler-polyolefin bio-composites. *Composite Structures*, ročník 72, č. 4, 2006, ISSN 02638223, doi:10.1016/j.compstruct.2005.01.013.

[115] Lee, S. Y.; Yang, H. S.; Kim, H. J.; aj.: Creep behavior and manufacturing parameters of wood flour filled polypropylene composites. *Composite Structures*, ročník 65, č. 3-4, 2004, ISSN 02638223, doi:10.1016/j.compstruct.2003.12.007.

[116] Colom, X.; Carrasco, F.; Pagès, P.; aj.: Effects of different treatments on the interface of HDPE/lignocellulosic fiber composites. *Composites Science and Technology*, ročník 63, č. 2, 2003, ISSN 02663538, doi: 10.1016/S0266-3538(02)00248-8.

[117] Alshabanat, M.: Characterization and Mechanical Properties Study of Intercalated Talc/Polypropylene Nanocomposites. *Journal of American Science*, ročník 9, 2013: s. 322–326.

[118] Huang, R.; Kim, B. J.; Lee, S.; aj.: Co-extruded wood-plastic composites with talc-filled shells: Morphology, mechanical, and thermal expansion performance. *BioResources*, ročník 8, č. 2, 2013, ISSN 19302126, doi: 10.15376/biores.8.2.2283-2299.

[119] Ndiaye, D.; Verney, V.; Askanian, H.; aj.: Morphology, Thermal Behavior and Dynamic Rheological Properties of Wood Polypropylene Composites. *Materials Sciences and Applications*, ročník 04, č. 11, 2013, ISSN 2153117X, doi:10.4236/msa.2013.411092.

[120] Singh, A. P.; Anderson, R.; Park, B. D.; aj.: A novel approach for FESEM imaging of wood-matrix polymer interface in a biocomposite. *Micron*, ročník 54-55, 2013, ISSN 09684328, doi:10.1016/j.micron.2013.08.011.

- [121] Bhaskar, J.; Haq, S.; Pandey, A. K.; aj.: Evaluation of properties of propylene-pine wood plastic composite. *Journal of Materials and Environmental Science*, ročník 3, č. 3, 2012, ISSN 20282508.
- [122] Mallik, A.; Barik, A. K.; Pal, B.: Comparative studies on physicomechanical properties of composite materials of low density polyethylene and raw/calcined kaolin. *Journal of Asian Ceramic Societies*, ročník 3, č. 2, 2015, ISSN 21870764, doi:10.1016/j.jascer.2015.03.001.
- [123] Parvin, N.; Ullah, M. S.; Mina, M. F.; aj.: Structures and mechanical properties of talc and carbon black reinforced high density polyethylene composites : Effects of organic and inorganic fillers. *Journal of Bangladesh Academy of Sciences*, ročník 37, č. 1, 2013, ISSN 0378-8121, doi:10.3329/jbas.v37i1.15675.
- [124] Marcovich, N. E.; Villar, M. A.: Thermal and mechanical characterization of linear low-density polyethylene/wood flour composites. *Journal of Applied Polymer Science*, ročník 90, č. 10, 2003, ISSN 00218995, doi: 10.1002/app.12934.
- [125] Zaini, M. J.; Ismail, Z.; Fuad, M. Y.; aj.: Application of oil palm wood flour as fillers in polypropylene. *Polymer Journal*, ročník 26, č. 5, 1994, ISSN 13490540, doi:10.1295/polymj.26.637.
- [126] Koga, T.; Hirota, N.; Takumi, K.: Bactericidal activities of essential oils of basil and sage against a range of bacteria and the effect of these essential oils on *Vibrio parahaemolyticus*. *Microbiological research*, ročník 154, č. 3, dec 1999: s. 267–73, ISSN 0944-5013, doi:10.1016/S0944-5013(99)80024-X. URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10652788>
- [224] Joshi, R.: Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Ocimum basilicum* L. (sweet basil) from Western Ghats of North West Karnataka, India. *Ancient Science of Life*, ročník 33, č. 3, 2014, ISSN 0257-7941, doi:10.4103/0257-7941.144618.
- [128] Kim, J.; Marshall, M. R.; Wei, C. i.: Antibacterial Activity of Some Essential Oil Components against Five Foodborne Pathogens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, ročník 43, č. 11, 1995, ISSN 15205118, doi: 10.1021/jf00059a013.
- [129] Moreno, S.; Scheyer, T.; Romano, C. S.; aj.: Antioxidant and antimicrobial activities of rosemary extracts linked to their polyphenol composition. *Free Radical Research*, ročník 40, č. 2, 2006, ISSN 10715762, doi: 10.1080/10715760500473834.
- [130] Hassan, S. T. S.; Majerová, M.; Šudomová, M.; aj.: Antibacterial activity of natural compounds - essential oils. *Ceska a Slovenska farmacie : casopis Ceske*

farmaceuticke spolocnosti a Slovenske farmaceuticke spolocnosti, ročník 64, č. 6, 2015: s. 243–253, ISSN 1210-7816.

[131] Naksang, P.; Tongchitpakdee, S.; Thumanu, K.; aj.: Assessment of antimicrobial activity, mode of action and volatile compounds of *Etilingera pavieana* essential oil. *Molecules*, ročník 25, č. 14, 2020, ISSN 14203049, doi:10.3390/molecules25143245.

[132] van Willige, R.: *Effects of flavour absorption on foods and their packaging materials*. Dissertation, Wageningen University, May 2002.

[133] Arora, D. K.; Hansen, A. P.; Armagost, M.: Sorption of flavor compounds by polypropylene. In *Food and Packaging Interactions II; ACS Symposium Series 473*, editace S. J. Risch; J. H. Hotchkiss, kapitola 17, Washington: American Chemical Society, 1991, ISBN 978-0841221222, s. 203–211.

[134] CHARARA, Z. N.; WILLIAMS, J. W.; SCHMIDT, R. H.; aj.: Orange Flavor Absorption Into Various Polymeric Packaging Materials. *Journal of Food Science*, ročník 57, č. 4, 1992, ISSN 17503841, doi:10.1111/j. 1365-2621.1992.tb14334.x.

[135] Roland, A. M.; Hotchkiss, J. H.: Determination of Flavor—Polymer Interactions by Vacuum-Microgravimetric Method. In *Food and Packaging Interactions II; ACS Symposium Series 473*, editace S. Risch; J. H. Hotchkiss, Washington: American Chemical Society, 1991, ISBN 978-0841221222, s. 149–160, doi:10.1021/bk-1991-0473.ch013.

[136] Osei-Safo, D.; Addae-Mensah, I.; Garneau, F. X.; aj.: A comparative study of the antimicrobial activity of the leaf essential oils of chemo-varieties of *Clausena anisata* (Willd.) Hook. f. ex Benth. *Industrial Crops and Products*, ročník 32, č. 3, 2010, ISSN 09266690, doi:10.1016/j.indcrop.2010.07.016.

[137] Bakry, A. M.; Abbas, S.; Ali, B.; aj.: Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, ročník 15, č. 1, 2016, ISSN 15414337, doi:10.1111/1541-4337.12179.

[138] Turek, C.; Stintzing, F. C.: Stability of essential oils: A review. 2013, doi:10.1111/1541-4337.12006.

[139] Jang, I. B.; Sung, J. H.; Choi, H. J.: Synthesis of microcapsule containing oil phase via in-situ polymerization. *Journal of Materials Science*, ročník 40, č. 4, 2005: s. 1031–1033, ISSN 00222461, doi:10.1007/ s10853-005-6527-y.

[140] Kumar Das, S.; Rajabalaya, R.; Rani David, S.: Microencapsulation techniques and its practices. *International Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, ročník 6, č. 2, 2011: s. 1–23.

- [141] de Oliveira Mori, C. L. S.; dos Passos, N. A.; Oliveira, J. E.; aj.: Nanostructured Polylactic Acid/Candeia Essential Oil Mats Obtained by Electrospinning. *Journal of Nanomaterials*, ročník 16, č. 1, 2015, doi: 10.1155/2015/439253
- [142] Sin, L. T.; Rahmat, R. R.; Rahman, W. A. W. A.: *Polylactic Acid: PLA Biopolymer Technology and Applications*. 2012, doi:10.1016/ C2010-0-65966-9.
- [143] Pistner, H.; Gutwald, R.; Ordnung, R.; aj.: Poly(l-lactide): a long-term degradation study in vivo. I. Biological results. *Biomaterials*, ročník 14, č. 9, 1993, ISSN 01429612, doi:10.1016/0142-9612(93)90066-B.
- [144] Nagarajan, V.; Mohanty, A. K.; Misra, M.: Perspective on Polylactic Acid (PLA) based Sustainable Materials for Durable Applications: Focus on Toughness and Heat Resistance. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, ročník 4, č. 6, 2016, ISSN 21680485, doi:10.1021/acssuschemeng. 6b00321.
- [145] Farah, S.; Anderson, D. G.; Langer, R.: Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, ročník 107, 2016, ISSN 18728294, doi:10.1016/j.addr.2016.06.012.
- [146] Ali, U.; Karim, K. J. B. A.; Buang, N. A.: A Review of the Properties and Applications of Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA). *Polymer Reviews*, ročník 55, č. 4, 2015, ISSN 15583716, doi:10.1080/15583724.2015.1031377.
- [147] Ahangaran, F.; Navarchian, A. H.; Picchioni, F.: Material encapsulation in poly(methyl methacrylate) shell: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, ročník 136, č. 41, 2019, ISSN 10974628, doi:10.1002/app.48039.
- [148] dos Santos, P. P.; Andrade, L. d. A.; Flôres, S. H.; aj.: Nanoencapsulation of carotenoids: a focus on different delivery systems and evaluation parameters. *Journal of Food Science and Technology*, ročník 55, č. 10, 2018, ISSN 09758402, doi:10.1007/s13197-018-3316-6.
- [149] Cardoso, J. J.; Ricci-Júnior, E.; Gentili, D.; aj.: Influence of cardanol encapsulated on the properties of poly(lactic acid) microparticles. *Quimica Nova*, ročník 41, č. 3, 2018, ISSN 16787064, doi:10.21577/0100-4042. 20170165.
- [150] Ding, A.; Teng, L.; Zhou, Y.; aj.: Synthesis and characterization of bovine serum albumin-loaded microspheres based on star-shaped PLLA with a xylitol core and their drug release behaviors. *Polymer Bulletin*, ročník 75, č. 7, 2018, ISSN 01700839, doi:10.1007/s00289-017-2197-6.
- [151] Peres, L. B.; Peres, L. B.; De Araújo, P. H. H.; aj.: Preparation of PLLA/PMMA and PLLA/PS binary blend nanoparticles by incorporation of PLLA in methyl methacrylate or styrene miniemulsion homopolymerization. *Polimeros*, ročník 25, č. 1, 2015, ISSN 01041428, doi: 10.1590/0104-1428.1707.

- [152] Song, Y.; Shang, M.; Zhang, H.; aj.: Process Characteristics and Rheological Properties of Free Radical Polymerization in Microreactors. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, ročník 57, č. 32, 2018, ISSN 15205045, doi:10.1021/acs.iecr.8b02314.
- [153] Rodríguez-López, M. I.; Mercader-Ros, M. T. ; Lucas-Abellán, C.; Pellicer, J. A.; aj.: Comprehensive Characterization of Linalool-HP- β -Cyclodextrin Inclusion Complexes. *Molecules*, ročník 25, č. 21, 2020, doi: 10.3390/molekuly25215069.
- [154] Kfoury, M.; Landy, D.; Auezov, L.; aj.: Effect of cyclodextrin complexation on phenylpropanoids' solubility and antioxidant activity. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, ročník 10, 2014, doi: 10.3762/bjoc.10.241.
- [155] Kim, S.; Chen, J.; Cheng, T.; aj.: PubChem 2019 update: Improved access to chemical data. *Nucleic Acids Research*, ročník 47, č. D1, 2019, ISSN 13624962, doi:10.1093/nar/gky1033.
- [156] Letinski, J.; Halek, G. W.: Interactions of Citrus Flavor Compounds with Polypropylene Films of Varying Crystallinities. *Journal of Food Science*, ročník 57, č. 2, 1992, ISSN 17503841, doi:10.1111/j.1365-2621.1992.tb05521.x.
- [157] Urbánková, M.; Hrabalíková, M.; Poljanšek, I.; aj.: Antibacterial polymer composites based on low-density polyethylene and essential oils immobilized on various solid carriers. *Journal of Applied Polymer Science*, ročník 132, č. 47, 2015, ISSN 10974628, doi:10.1002/app.42816.
- [158] Knobloch, K.; Pauli, A.; Iberl, B.; aj.: Antibacterial and antifungal properties of essential oil components. *Journal of Essential Oil Research*, ročník 1, č. 3, 1989, ISSN 10412905, doi:10.1080/10412905.1989.9697767.
- [159] Yang, Z.; Huang, L.; Yao, X.; aj.: Host-guest complexes of estragole with β -cyclodextrin: an experimental and theoretical investigation. *Flavour and Fragrance Journal*, ročník 32, č. 2, 2017, ISSN 10991026, doi:10.1002/ffj. 3358.
- [160] Herrmann, J.; Bodmeier, R.: The effect of particle microstructure on the somatostatin release from poly(lactide) microspheres prepared by a W/O/W solvent evaporation method. *Journal of Controlled Release*, ročník 36, č. 1-2, 1995, ISSN 01683659, doi:10.1016/0168-3659(95)00051-9.
- [161] Jain, A. K.; Jain, C. P.; Tanwar, Y. S.; aj.: Formulation, characterization and in vitro evaluation of floating microspheres of famotidine as a gastro retentive dosage form. *Asian Journal of Pharmaceutics*, ročník 3, č. 3, 2009, ISSN 09738398, doi:10.4103/0973-8398.56302.
- [162] Hosseini, S. F.; Zandi, M.; Rezaei, M.; aj.: Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: Preparation,

characterization and in vitro release study. *Carbohydrate Polymers*, ročník 95, č. 1, 2013, ISSN 01448617, doi:10.1016/j.carbpol.2013.02.031.

[163] Gomes, C.; Moreira, R. G.; Castell-Perez, E.: Poly (DL-lactide-coglycolide) (PLGA) Nanoparticles with Entrapped trans-Cinnamaldehyde and Eugenol for Antimicrobial Delivery Applications. *Journal of Food Science*, ročník 76, č. 2, 2011, ISSN 00221147, doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01985.x.

[164] Faisant, N.; Siepmann, J.; Richard, J.; aj.: Mathematical modeling of drug release from bioerodible microparticles: Effect of gamma-irradiation. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, ročník 56, č. 2, 2003, ISSN 09396411, doi:10.1016/S0939-6411(03)00104-8.

[165] Hosseini, S. M.; Hosseini, H.; Mohammadifar, M. A.; aj.: Incorporation of essential oil in alginate microparticles by multiple emulsion/ionic gelation process. *International Journal of Biological Macromolecules*, ročník 62, 2013, ISSN 01418130, doi:10.1016/j.ijbiomac.2013.09.054.

[166] Li, Y.; Fabiano-Tixier, A. S.; Ginies, C.; aj.: Direct green extraction of volatile aroma compounds using vegetable oils as solvents: Theoretical and experimental solubility study. *LWT - Food Science and Technology*, ročník 59, č. 2P1, 2014, ISSN 00236438, doi:10.1016/j.lwt.2014.05.064.

[167] Hansen, C. M.: *Hansen solubility parameters: A user's handbook: Second edition*. 2007, doi:10.1201/9781420006834.

[168] Biswal, A. K.; Vashisht, I.; Khan, A.; aj.: Synthesis, characterization and antibacterial activity of thymol-loaded polylactic acid microparticles entrapped with essential oils of varying viscosity. *Journal of Materials Science*, ročník 54, č. 13, 2019, ISSN 15734803, doi:10.1007/s10853-019-03593-7.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Strukturní vzorec (-)-LIN (vlevo) a (+)-LIN (vpravo).....	9
Obr. 2	Strukturní vzorec ALY	9
Obr. 3	Strukturní vzorec ANE	10
Obr. 4	Schéma permeace a difúzního procesu	13
Obr. 5	Relativní změna Youngova modulu kompozitů v porovnání s čistým LDPE. Směrodatná odchylka se pohybovala do 10 %.....	20
Obr. 6	Relativní změna pevnosti v tahu kompozitů v porovnání s čistým LDPE. Směrodatná odchylka se pohybovala do 10 %.....	21
Obr. 7	Relativní změna poměrného prodloužení při přetržení kompozitů v porovnání s čistým LDPE. Směrodatná odchylka se pohybovala do 10 %	21
Obr. 8	Antibakteriální vlastnosti kompozitů	23
Obr. 9	Koncentrace BAL na pevných nosičích po procesu imobilizace.....	24
Obr. 10	Koncentrace BAL v kompozitech obsahujících TC.....	25
Obr. 11	Koncentrace BAL v kompozitech obsahujících MS.....	25
Obr. 12	Koncentrace BAL v kompozitech obsahujících WF.....	26
Obr. 13	SEM snímky mikrosfér s různými poměry PLA a PMMA. Mikrosféry PLA/PMMA 25:75 (A), PLA/PMMA 50:50 (B) a PLA/PMMA 75:25 (C) a mikrosféry po hydrolýze v 1M NaOH, (PLA/PMMA 25:75 (D), PLA/PMMA 50:50 (E) a PLA/PMMA 75:25 (F)). Měřítka je shodné pro všechny snímky (viz F).....	29
Obr. 14	Uvolňování BAL z PLA a PMMA mikrosfér do vodného média	32
Obr. 15	Uvolňování ALY z PLA/PMMA mikrosfér do vodného média.....	33

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Fyzikálně-chemické vlastnosti použitých BAL	8
Tabulka 2	Charakterizace připravených mikrosfér	28
Tabulka 3	Termické vlastnosti mikrosfér (DSC analýza).....	30

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ΔH_m	Entalpie tání
ΔH_c	Entalpie studené krystalizace
ε	Poměrné prodloužení při přetržení
σ	Pevnost v tahu
AA	Antibakteriální aktivita
BAL	Biologicky aktivní látky
BPS	Biologicky aktivní polymerní systémy
DSC	Diferenciální skenovací kalorimetrie
E	Youngův modul pružnosti
EE	Enkapsulační účinnost
EO	Esenciální oleje
FDA	Food and Drug Administration (Úřad pro kontrolu potravin a léčiv)
FTIR	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
GC/MS	Plynová chromatografie s hmotnostní detekcí
GRAS	Generally Recognized As Safe (Všeobecně považovaný za bezpečný)
LDPE	Nízkohustotní polyethylen
MO	Mikroorganismy
MS	Molekulová síta
PDI	Index polydisperzity
PE	Polyethylen
PLA	Polymer kyseliny mléčné
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
PVA	Polyvinylalkohol
Py/GC/MS	Pyrolyzní plynová chromatografie s hmotnostní detekcí
R	Antimikrobiální aktivita (dle normy ISO 22196)
SD	Směrodatná odchylka

SEM	Skenovací elektronová mikroskopie
SPME	Mikroextrakce tuhou fází
TC	Talek
T_{cc}	Teplota studené krystalizace
T_g	Teplota skelného přechodu
T_{g1}	Teplota skelného přechodu PLA
T_{g2}	Teplota skelného přechodu PMMA
T_m	Teplota tání
WF	Dřevní moučka

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

Příspěvky v mezinárodních časopisech s impakt faktorem

Dušánková, M., Pummerová, M. and Sedlařík, V. Microspheres of essential oil in polylactic acid and poly(methyl methacrylate) matrices and their blends. *Journal of Microencapsulation*. 2019, 36, 3. ISSN 14645246.

Urbánková, M., Hrabalíková, M., Poljanšek, I., Miskolczi, N. and Sedlařík, V. Antibacterial polymer composites based on low-density polyethylene and essential oils immobilized on various solid carriers. *Journal of Applied Polymer Science*. 2015, 132, 47. ISSN 10974628.

Kucharczyk, P., **Urbánková, M.**, Stloukal, P., Koutný, M. and Sedlařík, V. Influence of natural inorganic impurity on the synthesis of poly(L -lactic acid), properties and nanofabrication. *Journal of Applied Polymer Science*. 2013, 130, 1. ISSN 10974628.

Duřpeková, S., Martino, A. Di, **Dušánková, M.**, Dröhsler, P., Sedlařík, V. Biopolymer hydrogel based on acid whey and cellulose derivatives for enhancement water retention capacity of soil and slow release of fertilizers. *Polymers*. 2021, 13. ISSN 2073-4360.

Příspěvky v časopisech bez impakt faktoru

Hrabalíková, M., Valášek, P., **Urbánková, M.** and Sedlařík, V. Antibacterial modification of plastics with natural bioactive compounds. *Plasty a kaučuk*, Zlín, Česká republika, 2012. ISSN 0322-7340.

Příspěvky ve sbornících z konferencí

Hurajová, A., **Urbánková, M.** and Sedlařík, V. Aditivum pro hygienizaci zpracovatelských procesů polymerních recyklátů. *Plastko*, Zlín, Česká republika, 2018. ISBN 978-80-7454-727-0.

Urbánková, M., Hrabalíková, M., Poljanšek, I. and Sedlařík, V. Imobilizace biologicky aktivních látek esenciálních olejů na inertních nosičích pro antimikrobiální modifikaci polymerů. *Plastko*, Zlín, Česká republika, 2014. ISBN 978-80-7454-335-7.

Urbánková, M. Využití pyrolýzní plynové chromatografie s hmotnostní detekcí při kvantitativní analýze polymerních přísad, *Chemické listy*, 2014, Česká republika. ISSN 0009-2770.

Urbánková, M., Sedlařík, V., Valášek, P. and Hrabalíková, M. Antimikrobiální vlastnosti aromatických látek zabudovaných v polymerní matici. *Plastko*, Zlín, Česká republika, 2012. ISBN 978-80-7454-137-7.

Urbánková, M. Antimikrobiální modifikátory plastů: Studium imobilizace biologicky aktivních látek na inertních nosičích a jejich vliv na bariérové vlastnosti. Studentská vědecká konference Fakulty technologické, Zlín, Česká republika, 2012. ISBN 978-80-7454-152-0.

Užitný vzor

Hurajová, A., **Urbánková, M.** and Sedlařík, V. Termoplastická předsměs k aromatizaci a antibakteriální modifikaci polymerních recyklátů, užitný vzor č. 31894, 2. července 2018.

ŽIVOTOPIS

OSOBNÍ ÚDAJE

Jméno a příjmení: Miroslava Dušánková (roz. Urbánková)
Datum narození: 20. 05. 1988
Místo narození: Zlín, Česká republika
Bydliště: Kvítková 690, 760 01 Zlín
Mobil: +420 602 594 567
E-mail: dusankova@utb.cz
Národnost: Česká

VZDĚLÁNÍ

2012 – dosud Doktorské studium, Ph.D.
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Studijní program: Chemie a technologie materiálů
(2015 – dosud – mateřská a rodičovská dovolená, péče o děti)
2010 – 2012 Magisterské studium, Ing.
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Studijní program: Technologie, hygiena a ekonomika výroby
potravin
2007 – 2010 Bakalářské studium, Bc.
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Studijní program: Chemie a technologie potravin

JAZYKOVÉ ZNALOSTI

Anglický jazyk Aktivní znalost

ZAHRANIČNÍ STUDIUM

2013 (2 měsíce) Slovinsko, univerzita v Lublani, Biotechnologická fakulta

ODBORNÉ KURZY

2012 Absolvování semináře Systémy managementu bezpečnosti
potravin se zaměřením na požadavky referenčních norem:
HACCP (Věstník Mze č. 2/2010), ČSN EN ISO 22000:2006,
IFS, BRC, PAS 220:2008, ČSN EN 15593:2008

- 2012 Absolvování semináře Systémy managementu se zaměřením na normy: ČSN EN ISO 9001:2009, ČSN EN ISO 14001:2005, ČSN OHSAS 18001:2008
- 2012 Absolvování kurzu: Interní auditor systému managementu bezpečnosti potravin se zaměřením na požadavky referenčních norem: HACCP (Věstník Mze č. 2/2010), ČSN EN ISO 22000:2006, IFS, BRC a ČSN EN ISO 19011:2003
- 2013, 2014 Absolvování Odborného semináře instrumentace firmy Shimadzu, Praha
- 2014 Absolvování Kurzu hmotnostní spektrometrie, Pragolab, Praha

SPOLUPRÁCE NA PROJEKTECH

Interní grantová agentura UTB

- 2012 Grant UTB IGA/2012/005
Vývoj a aplikace metodiky pro výzkum vlastností mikrosfér na bázi nově syntetizovaných biorozložitelných blokových kopolymerů
- 2013 Grant UTB IGA/2013/004
Příprava a charakterizace nových biologicky aktivních polymerních systémů na bázi přírodních látek
- 2014 Grant UTB IGA/2014/012
Výzkum biologicky rozložitelných a antimikrobiálních polymerních systémů

Projekty externích poskytovatelů

- 2013-2015 Projekt Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR LE12002 – „Centrum pro podporu mezinárodní spolupráce v oblasti výzkumu a vývoje v technických oborech“
- 2014-2015 Projekt Centrum polymerních systémů CZ.1.05/2.1.00/03.0111
- 2014-2015 Projekt Centra kompetence TE02000006 - “Centrum alternativních ekologicky šetrných vysoce účinných

antimikrobiálních prostředků pro průmyslové aplikace“ v konsorciu UTB a 7 partnerů (SYNPO, akciová společnost, Centrum organické chemie s.r.o., Fatra, a.s., Státní zdravotní ústav, Univerzita Palackého v Olomouci – Přírodovědecká fakulta, INOTEX spol. s r.o., Biomedica, spol. s r.o.)

2017-2018

Projekt Technologické Agentury České Republiky-04/1/2016/GAMA – Aditivum pro hygienizaci zpracovatelských procesů polymerních recyklátů a pryží

Miroslava Dušánková

Příprava a charakterizace polymerních systémů pro speciální aplikace s využitím biologicky aktivních látek přírodního původu

Preparation and characterization of polymer systems for special application
utilizing natural biologically active compounds

Teze disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: Miroslava Dušánková

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2022

Pořadí vydání: první

ISBN 978-80-7678-065-1

