

Studium filmů a nanovláknenných vrstev na bázi polyvinyl butyralu

Bc. Denisa Zimková

Diplomová práce
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Denisa Zimková**
Osobní číslo: **T19860**
Studijní program: **N0711A130011 Biomateriály a kosmetika**
Studijní obor: **Biomateriály a kosmetika**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Studium filmů a nanovlákných vrstev na bázi polyvinyl butyralu**

Zásady pro vypracování

I. Teoretická část

1. Zpracujte literární rešerši zabývající se polymerními nanovláknými a možnostmi přípravy.
2. Věnujte se významu a využití antimikrobiálních nanovláken, typům aktivních látek.

II. Praktická část

1. Připravte polymerní roztoky, filmy a nanovlákné vrstvy na bázi polyvinyl butyralu bez a s obsahem aktivních látek.
 2. Charakterizujte fyzikální a antimikrobiální vlastnosti těchto systémů.
 3. Dosažené výsledky diskutujte a vyvoďte závěry.
-

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] RAMAKRISHNA, K. et al. An introduction to electrospinning and nanofibers, 2005, World Scientific Publishing Co. ISBN: 978-981-256-415-3.
- [2] ANDRADY, A. L. Science and technology of polymer nanofibers, Wiley-Blackwell 2008, ISBN: 978-0-471-79059-4.
- [3] THORMAR, H. Lipids and Essential Oils as Antimicrobial Agents, John Willey Sons, 2011, ISBN: 978-0-470-74178-8.
- [4] KURTZ, I.S., Schiffman, J. D. Current and emerging approaches to engineer antibacterial and antifouling electrospun nanofibers. Materials 2018, 11, 1059.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Sedlářiková, Ph.D.**
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Marián Lehocký, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 20. února 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou antimikrobiálních filmů a nanovláknenných vrstev na bázi polyvinyl butyralu. První část je zaměřena na materiály a procesy přípravy, používané pro výrobu nanovláken. Pozornost je také věnována významu a aplikacím nanovláknenných struktur v praxi. Druhá část práce se zaměřuje na přípravu polymerních filmů a nanovláken, jak bez, tak s obsahem různých aktivních látek. Kromě esenciálních olejů byly testovány kvartérní amoniové sloučeniny, a monoacylglyceroly kyseliny kaprinové a laurové. U připravených systémů byly charakterizovány fyzikálně chemické a antimikrobiální vlastnosti.

Klíčová slova: polyvinyl butyral, esenciální oleje, kvartérní amoniové sloučeniny, monoacylglyceroly, nanovláknena, elektrostatické zvlákňování.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the issue of antimicrobial films and nanofiber layers based on polyvinyl butyral. The first part is focused on materials and preparation processes used for the production of nanofibers. Attention is also paid to the importance and applications of nanofibrous structures in practice. The second part of the work focuses on the preparation of polymer films and nanofibrous membranes, both without and with the content of various active substances. In addition to essential oils, quaternary ammonium compounds and monoacylglycerols of capric and lauric acid were tested. Physicochemical and antimicrobial properties of the prepared systems were characterized.

Keywords: polyvinyl butyral, essential oils, quaternary ammonium compounds, monoacylglycerols, nanofibers, electrospinning.

Ráda bych tímto poděkovala vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Janě Sedlaříkové Ph.D. za obrovskou trpělivost, ochotu, odborné a cenné rady, a za čas, který mi při této práci věnovala. Poděkování patří také mé rodině a příteli, kteří mě během celého studia finančně i psychicky podporovali.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 NANOVLÁKNA	11
1.1 TYPY NANOVLÁKEN.....	11
1.1.1 Lineární nanovláknno	11
1.1.2 Nanovláknenné vrstvy	12
1.1.3 Nanovláknna v objemových strukturách	12
1.1.4 Další formy nanovláken.....	12
1.2 PŘÍPRAVA NANOVLÁKEN A NANOVLÁKENNÝCH VRSTEV	13
1.2.1 Tažení.....	13
1.2.2 Využití šablony	13
1.2.3 Foukání taveniny.....	14
1.3 ELEKTROSTATICKÉ ZVLÁKŇOVÁNÍ	14
1.3.1 Faktory ovlivňující proces zvláknování.....	16
1.3.1.1 Koncentrace a viskozita polymerního roztoku	16
1.3.1.2 Rozpouštědlo	17
1.3.1.3 Vodivost.....	17
1.3.1.4 Molekulová hmotnost	17
1.3.1.5 Aplikované napětí	17
1.3.1.6 Vzdálenost elektrod	18
1.3.1.7 Rychlost průtoku.....	18
1.3.1.8 Vnější podmínky.....	18
1.3.1.9 Tlak	19
1.3.2 Elektrobloving.....	20
1.3.3 Elektrospraying	20
2 POLYMERY PRO VÝROBU NANOVLÁKEN	22
2.1 POLYVINYL BUTYRAL	24
2.1.1 Aplikace PVB	24
3 ANTIMIKROBIÁLNÍ NANOVLÁKNA	26
3.1 NANOSTŘÍBRO	26
3.2 ESENCIÁLNÍ OLEJE	27
3.2.1 Oregano (Dobromysl).....	28
3.2.2 Tymián	29
3.3 MONOACYLGLYCEROLY	30
3.4 KVARTÉRNÍ KATIONICKÉ SLOUČENINY	31
4 VÝZNAM A VYUŽITÍ NANOVLÁKEN	33
4.1 ZDRAVOTNICTVÍ	33
4.1.1 Tkáňové inženýrství.....	33
4.1.2 Obvazové materiály	34
4.1.3 Řízené uvolňování léčiv.....	36
4.1.4 Nanoroušky	36
4.2 KOSMETIKA	37

4.3	FILTRACE.....	38
4.3.1	Filtrace vzduchu.....	38
4.3.2	Filtrace vody	38
5	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST	43
6	CÍLE PRÁCE	44
7	POUŽITÉ CHEMIKÁLIE, PŘÍSTROJE A POSTUP	45
7.1	CHEMIKÁLIE	45
7.2	POMŮCKY A ZAŘÍZENÍ.....	46
7.3	PŘÍPRAVA MONOACYLGLYCEROLŮ	47
7.4	PŘÍPRAVA PVB ROZTOKŮ FILMŮ	51
7.4.1	Příprava PVB filmů	51
7.4.2	Příprava PVB vláken	53
7.5	CHARAKTERIZACE PŘIPRAVENÝCH PVB ROZTOKŮ.....	55
7.5.1	Povrchové napětí.....	55
7.5.2	Měření pH.....	55
7.5.3	Velikost částic a zeta potenciál.....	56
7.6	CHARAKTERIZACE PŘIPRAVENÝCH FILMŮ A NANOVLÁKENNÝCH VRSTEV	56
7.6.1	Měření kontaktního úhlu.....	56
7.6.2	Stanovení antimikrobiální účinnosti připravených filmů a vláken.....	57
7.6.2.1	Příprava živné půdy a fyziologického roztoku	57
7.6.2.2	Příprava suspenzi testovaných mikroorganismů.....	57
7.6.3	SEM analýza vláken filmů.....	58
8	VÝSLEDKY A DISKUZE	59
8.1	CHARAKTERIZACE PŘIPRAVENÝCH PVB ROZTOKŮ.....	59
8.1.1	Vizuální hodnocení PVB roztoků	59
8.1.2	Velikost částic	60
8.1.3	Zeta potenciál.....	63
8.1.4	Povrchové napětí.....	67
8.2	CHARAKTERIZACE PŘIPRAVENÝCH FILMŮ A NANOVLÁKENNÝCH VRSTEV	69
8.2.1	Vizuální hodnocení PVB filmů.....	69
8.2.2	Antibakteriální vlastnosti PVB filmů	73
8.2.3	SEM analýza PVB filmů.....	77
8.2.4	Smáčivost PVB vláken	79
8.2.5	Antibakteriální vlastnosti PVB vláken	82
8.2.6	SEM analýza PVB vláken.....	85
	ZÁVĚR	86
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	88
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	100
	SEZNAM OBRÁZKŮ	102
	SEZNAM TABULEK.....	104

ÚVOD

Nanotechnologiím a nanomateriálům je v posledních letech věnována značná pozornost. Jde o obor, zabývající se problematikou materiálů, které jsou v řádu nanometrů, obvykle tedy v rozmezí 1 až 100 nm. Nanomateriály nacházejí široké uplatnění v mnoha oblastech, jako je například zdravotnický průmysl, výroba elektroniky, optiky, nebo v oblasti ochrany životního prostředí, při procesech úpravy vody apod.

Nanovláknenné materiály lze připravit pomocí různých technologických postupů, z nichž jedním z nejběžnějších je metoda elektrostatického zvlákňování. Tento proces je ovlivněn řadou faktorů, jako je například viskozita a vodivost polymerního roztoku, nebo vnější podmínky, tj. teplota a vlhkost. Polymerní vrstvy a vláknenné struktury lze modifikovat prostřednictvím různých funkčních aktivních látek, které zlepšují antimikrobiální, případně proti nánosové vlastnosti. Tyto funkční materiály mohou být pak s výhodou aplikovány v oblasti biomedicíny, krytí ran, ochranného oblečení, tkáňového inženýrství, nebo filtrace vody.

V rámci teoretické části této diplomové práce byly, formou rešerše, shrnuty poznatky související s problematikou nanovláken. Cílem experimentální části pak bylo připravit polymerní vrstvy a vlákna na bázi polyvinyl butyralu s přídavkem různých organických aktivních látek a zhodnotit vliv jejich inkorporace na fyzikálně-chemické a antimikrobiální vlastnosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NANOVLÁKNA

Nanovlákná se řadí mezi nanomateriály, které se vyznačují tím, že mají alespoň jeden ze tří rozměrů <100 nm [1, str. 524]. Konkrétně pro nanovlákná je typická tloušťka právě okolo 100 nm, délka bývá okolo dvou a víc řádů výše. V podstatě se hovoří o jakési struktuře, která díky svým specifickým rozměrům propojuje charakter nanočástic s oblastí běžných mikronů. V praktických aplikacích se nanovlákná málokdy vyskytují samostatně, naopak jsou spíše organizovány do vyšších struktur [2].

Nanovlákná se vyznačují celou řadou výjimečných vlastností, k nimž patří velký měrný povrch, vysoký stupeň porozity, tuhosti, houževnatosti. Povrch nanovláken může být modifikován pomocí různých fyzikálních a chemických procesů a mohou být na něj navázány různé látky a funkční skupiny jako jsou katalyzátory, aditiva, antibiotika, antimikrobiální nanočástice a další [2].

Problematika nanomateriálů přitahuje pozornost jak ve výzkumných, tak průmyslových odvětvích, a to právě díky jejich specifickým vlastnostem jako jsou: velký objemový povrch, vysoká pórovitost, odlišné fyzikálně-chemické vlastnosti [3].

1.1 Typy nanovláken

Morfologie nanomateriálů ovlivňuje jejich vlastnosti, a to mohou být: mechanické (pevnost v tahu), fyzikálně-chemické (velikost povrchu, biodegradabilita, uvolnění léčiv) a biologické (infiltrace buněk, orientace buněčného růstu) [3]. Morfologie vlákná závisí na typu polymeru, konformaci polymerního řetězce, systémových a procesních parametrech [4, str. 15]

Nanovlákná se mohou objevovat v různých formách, jako jsou například lineární nitě a příze, nanovrstvy, nanovlákná v objemových formách (vaty) a další (Obr. 1) [2].

1.1.1 Lineární nanovlákná

Do této skupiny se řadí nitě a příze, jejichž celý objem je na bázi nanovláken. Jde o materiály s velmi dobrými mechanickými vlastnostmi, s širokým potenciálem využití. Nevýhodou je obtížnější proces technologického zpracování [2].

1.1.2 Nanovláknenné vrstvy

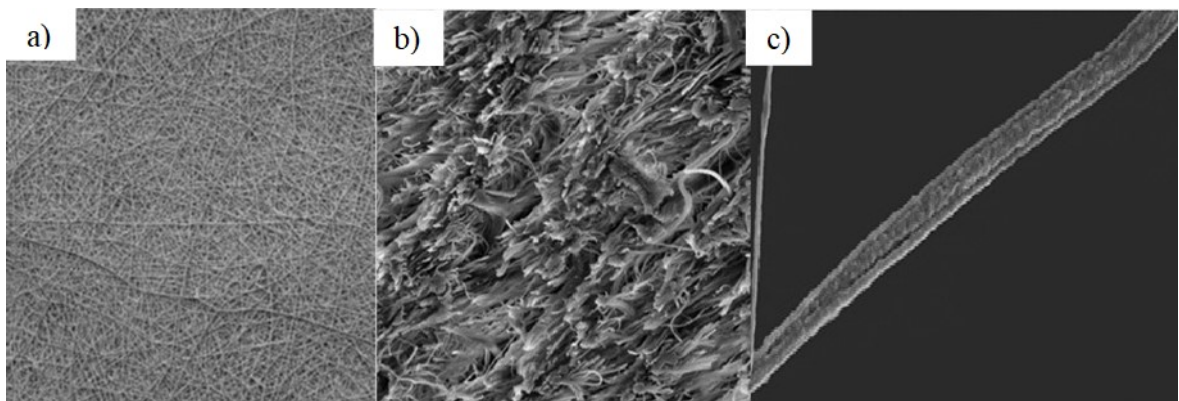
Nanovláknna v plošných strukturách, tzv. vrstvy, existují buď ve formě netkané, nebo tkané textilie. V případě první varianty vlákna nemají přesně daný směr, přičemž jsou roztroušena kdekoliv, např. i přes sebe. Na druhou stranu, v případě tkaného textilního materiálu, jsou vlákna organizována do vyšších struktur, podobně jako u textilií v tkané formě. Výroba nanovláknenných textilií ve tkané formě je velmi obtížná, zatímco netkané nanovláknenné vrstvy lze připravit poměrně snadno, a lze je využít v mnoha průmyslových oblastech. Příkladem jsou filtrační technologie, materiály v oblasti medicíny pro krytí ran, které lze aplikovat také v regenerativní medicíně nebo elektrotechnice [2].

1.1.3 Nanovláknna v objemových strukturách

Tyto struktury se podobají nanovláknenným vrstvám, mohou se vyskytovat jak ve formě uspořádaných, tak neuspořádaných vláken, přičemž druhý uvedený typ je běžnější. Nanovláknna v objemových strukturách lze využít při separačních procesech, v chemické katalýze a v tkáňovém inženýrství [2, str. 1010].

1.1.4 Další formy nanovláken

Jednou z dalších forem nanovláken jsou povrchové nánosy těsně u sebe uspořádaných vláken, kolmých k podkladovému materiálu. Nanovláknna mohou být také dispergována v matici z různých materiálů, tyto produkty se používají výhradně v laboratořích [2].



Obrázek 1. Vybrané formy nanovláken: a) nanovláknenná vrstva, b) objemová struktura, c) lineární sktruktura [2]

1.2 Příprava nanovláken a nanovláčkových vrstev

Existuje mnoho metod přípravy nanovláken a nanovláčkových forem (Obr. 2). Jako příklad lze uvést tažení z kapek roztoků, protlačování zvlákňovací tryskou, dále pak foukání taveniny nebo elektrostatické zvlákňování. Při přípravě nanovláken je důležité zhodnotit tloušťku a průměrnou délku vlákna, plošnou nebo objemovou hmotnost, porozitu, distribuci pórů a měrný povrch [2].



Obrázek 2. Způsoby přípravy nanovláken [5]

1.2.1 Tažení

Tažení, nebo také dloužení je metoda spočívající v přenosu kapky polymerního roztoku, případně taveniny, z povrchu prostřednictvím mikropipety nebo kapiláry, procesem odtahování vlákna o rozměru submikronu. Během tohoto procesu dochází za zvýšené teploty ke strojovému prodlužování vláken. Metoda dloužení je jednoduchá, ovšem z důvodu horší kontroly průměrů vláken se nedoporučuje pro průmyslové využití [6, str. 46] [7].

1.2.2 Využití šablony

Při tomto postupu je aplikována speciální pórovitá forma (šablona), přes níž je protlačován roztok polymeru do srážecí lázně. Připravená vlákna mají většinou průměr pórů o velikosti nanometrů, odpovídající použité formě šablony. Výhodou je vysoká reprodukovatelnost, avšak na rozdíl od procesu dloužení, je tato metoda technologicky velmi náročná na přípravu [6, str. 46] [7].

1.2.3 Foukání taveniny

Metoda foukání taveniny (z ang. melt blowing), patří v současnosti mezi často využívané postupy přípravy vláken z polymerních roztoků. V principu, polymerní tavenina prochází trysek s několika otvory za současného proudění ohřátého stlačeného vzduchu. Poté jsou tato vlákna pomocí vzduchu postupně unášena a prodlužována. Charakter připravených vláken je ovlivněn řadou parametrů, jako jsou konstrukce zařízení (typ trysek a jejich vzdálenost), a také vlastnostmi taveniny polymeru (především její teplotou tání). Mezi pozitiva této techniky patří variabilita produkovaných vlákenných struktur, které mohou být jak plošné, tak i objemové [6, str. 47] [7].

1.3 Elektrostatické zvlákňování

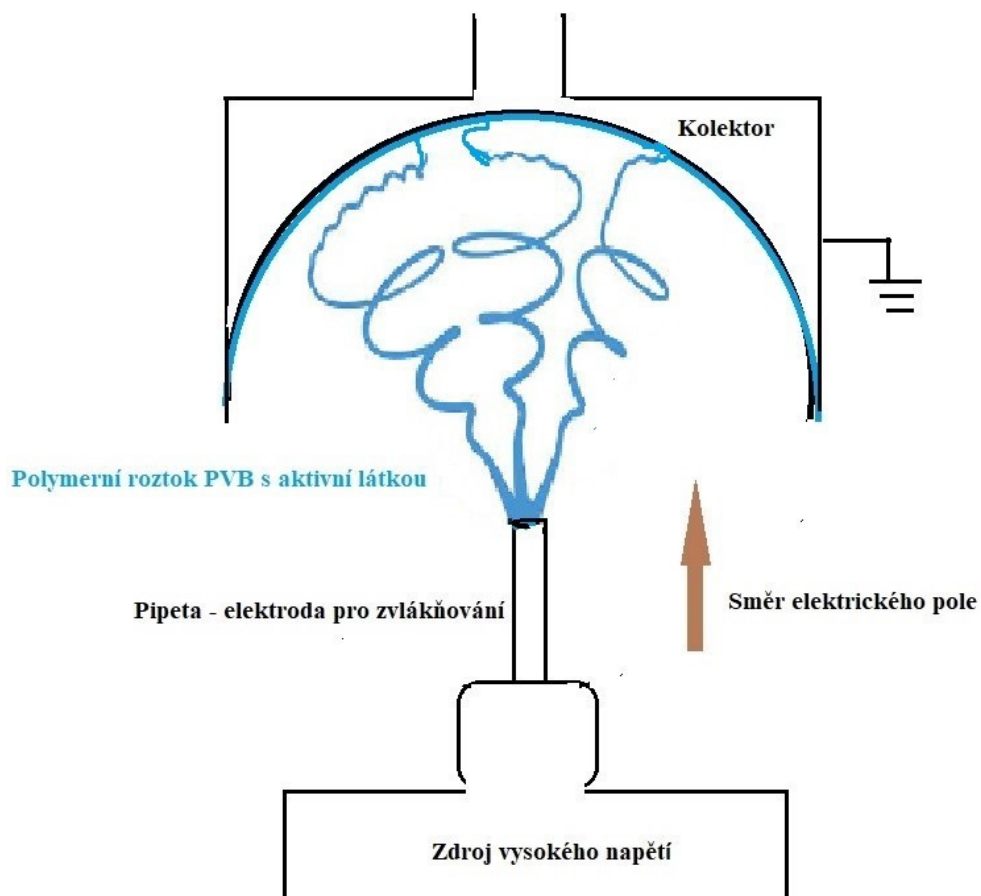
Polymerní nanovlákná jsou nejčastěji průmyslově vyráběna právě metodou elektrostatického zvlákňování. Jak bylo již zmíněno, nanovlákná představují spojení mezi nano a makro světem, protože jejich průměry jsou v řádu nanometrů, zatímco jejich délky mohou narůstat až do stovek metrů nebo více. Aby byla splněna oficiální definice, musí mít nanovlákná průměr vlákna menší než 100 nm, ačkoli komerční sektor umožňuje rozsah horních průměrů vláken přibližně 300 nm až 500 nm [3].

Při elektrostatickém zvlákňování se k výrobě polymerních vláken z polymerních roztoků nebo tavenin s průměry v rozmezí od 2 nm do několika mikrometrů využívá elektrická energie. Hlavní přednosti této metody spočívají v její univerzálnosti, a možnosti snadné kontinuální produkce nanovláken, v porovnání s ostatními standardními technologiemi.

Základní myšlenka elektrostatického zvlákňování sahá do 30. let 20. století, kdy byla publikována řada patentů popisujících experimentální uspořádání výroby polymerních vláken pomocí elektrostatické síly. V roce 1966 bylo patentováno zařízení na výrobu lehkých a ultratenkých netkaných textilií. Pomocí elektrického zvlákňování byla z roztoků s nízkou viskozitou vytvořena krátká a jemná vlákna, zatímco kontinuální vlákna byla získána z viskóznějších roztoků [8, str. 2]. V roce 1971 vyrobila společnost Baumgarten zařízení pro elektrospinnování akrylových vláken o průměru v rozmezí 500–1100 nm, přičemž byla prokázána přímá úměra mezi průměrem vláken a koncentrací. V roce 1987 Hayati et al. [8, str. 2] studovali faktory ovlivňující stabilitu trysky a proces elektrostatického zvlákňování. Bylo zjištěno, že následkem zvyšujícího se napětí dochází ke vzniku vysoce vodivých tekutin, a produkci velmi nestabilních proudů, které se nahodile obtáčejí ve všech směrech.

Přístroj používaný k elektrostatickému zvlákňování se skládá ze tří částí: zdroje vysokého napětí, zvlákňovací trysky a uzemněné desky, kolektoru (Obr. 3). Princip této metody je následující: na konec kapilárního kapalného roztoku je připojeno vysoké napětí (desítky kW), jakmile se intenzita elektrického pole zvýší, hemisférický povrch kapaliny na konci kapiláry se prodlouží a vytvoří kuželovitý tvar známý jako Taylorův kužel.

Dalším zvětšením elektrického pole je dosaženo kritické hodnoty, při které odpudivá elektrostatická síla překonává povrchové napětí, a dojde k emitaci z konce Taylorova kuželu. Vlákno polymerního roztoku podléhá procesu nestability a prodlužování, během kterého se odpařuje rozpouštědlo. Vlákna se potom ukládají na kolektor a výsledným produktem je netkaná vláknitá vrstva. V klasickém uspořádání elektrostatického zvlákňování se nanovlákna ukládají na kolektor náhodně. Pro některé aplikace je však vhodnější uspořádaná struktura. Metoda použitá k uspořádání nanovláken může být ovlivněna typem kolektoru [9].



Obrázek 3. Schéma aparatury elektrospinneru [Upraveno dle 10]

1.3.1 Faktory ovlivňující proces zvlákňování

Proces elektrostatického zvlákňování je ovlivněn řadou parametrů, ať už vlastnostmi samotného polymerního roztoku, nebo procesními či okolními podmínkami [9]. Změna kteréhokoliv z parametrů pak může způsobit celkovou změnu vlastností tohoto materiálu [11, str. 528].

- Vlastnosti roztoku:
 - Viskozita
 - Koncentrace roztoku
 - Molekulová hmotnost polymeru
 - Konduktivita
 - Povrchové napětí
 - Vlastnosti rozpouštědla
- Procesní parametry:
 - Aplikované napětí
 - Vzdálenost elektrod od kolektoru
 - Kapilární geometrie
 - Průtok
- Vnější podmínky:
 - Teplota
 - Relativní vlhkost [9]

1.3.1.1 Koncentrace a viskozita polymerního roztoku

Jedním z mnoha důležitých parametrů, který je třeba vzít v úvahu, je koncentrace polymerního roztoku. Pro proces elektrostatického zvlákňování je důležité dosáhnout kritické minimální koncentrace (c_e), umožňující zapletení molekulového řetězce a tvorbu vláken. Hodnota kritické minimální koncentrace je závislá na délce molekulového řetězce, chemické povaze polymeru a použitém rozpouštědle. Koncentrace roztoku polymeru přímo souvisí s jeho viskozitou. Z roztoků o vyšší viskozitě jsou připravována vlákna s větším průměrem [12] [5].

1.3.1.2 Rozpouštědlo

Volba vhodného rozpouštědla je dalším klíčovým parametrem pro efektivní průběh procesu zvlákňování. Při výběru jsou využívány parametry rozpustnosti a různé ternární diagramy (např. Teasův graf). Vlastnosti použitého rozpouštědla, jako je hustota, bod varu, dielektrická konstanta, vodivost, povrchové napětí a viskozita, ovlivňují morfologii výsledných vláken. Význam hraje i těkavost rozpouštědel. Zatímco méně těkavá rozpouštědla mohou zůstat součástí vlákenné struktury, což vede k následným deformacím, těkavější rozpouštědla napomáhají rychlejšímu odpařování rozpouštědla, a tím i zvýšenému napětí na elektrodách [12] [6].

Struktura polymeru má vliv na jeho rozpustnost. Obecně polymer s vyšší molekulovou hmotností je méně rozpustný, a jeho rozpuštění trvá mnohem déle než u nižší molekulové hmotnosti, za použití stejného rozpouštědla. Zesíťované polymery se nerozpouštějí, protože kovalentní vazby mezi molekulami jsou mnohem silnější než sekundární síly vyvíjené z polymerního rozpouštědla. Krystalinita polymeru určuje stupeň uspořádanosti polymerního řetězce. Polymer s vyšší krystalinitou má nižší rozpustnost, protože je ztížena propustnost molekul rozpouštědla do jeho vnitřní struktury [7, str. 66].

1.3.1.3 Vodivost

Polymerní roztoky s nízkou viskozitou jsou hůře zvlákňitelné. Řešením může být přídavek různých aditiv, např. ve formě solí, které snižují defekty na vláknech [13].

1.3.1.4 Molekulová hmotnost

Molekulová hmotnost polymeru má podstatný vliv viskozitu polymerního roztoku a následně na výkon při elektrostatickém zvlákňování. Obecně s rostoucí molekulovou hmotností dochází k výskytu vyššího stupně fyzikálních zapletenin řetězců, což zvyšuje stabilitu vláken [14, str. 8].

1.3.1.5 Aplikované napětí

Polymerní roztoky vykazují, podobně jako ostatní kapaliny, určité povrchové napětí. Během elektrostatického zvlákňování je nutno vynaložit dostatečné napětí k překonání tohoto povrchového napětí. V případě nízkého aplikovaného napětí by nedošlo k uvolnění polymerní kapky z elektrody. Naopak se zvyšujícím se aplikovaným napětím se zvyšuje i elektrostatická síla, což nakonec vede k iniciaci trysky a procesu elektrostatického zvlákňování.

Obecně lze říct, že průměr vlákna klesá s rostoucím napětím. Aplikované napětí hraje mnohem důležitější roli při bezjehlovém elektrostatickém zvlákňování než v případě použití trysky. Aplikací vysokého napětí může dojít ke snížení průměru vlákna a zvýšení rychlosti jeho výroby [14, str. 6].

1.3.1.6 Vzdálenost elektrod

Vzdálenost elektrod je definována jako vzdálenost hrotu jehly od bodu nejbližšího kolektoru. Čím je delší, tím se intenzita elektrického pole snižuje [15].

Optimální vzdálenost elektrod pro elektrostatické zvlákňování by měla být dostatečná na to, aby byla umožněna roztažnost vláken, a zároveň aby byl zajištěn dostatečný čas k odpaření rozpouštědla. Za těchto okolností je aplikované napětí konstantní, změna vzdálenosti mezi tryskou (elektrodou) a kolektorem pak ovlivní elektrické pole a průměr vlákna. Změny vzdálenosti elektrod se projevují i na morfologii a struktuře vlákna. Pokud je sběrná vzdálenost velmi krátká, často se shromažďují vzájemně propojená nanovlákna. K tomuto jevu dochází častěji při elektrostatickém zvlákňování bez jehly, kvůli okamžitému generování velkého počtu trysek [14, str. 7].

1.3.1.7 Rychlost průtoku

Rychlost toku při procesu zvlákňování má přímý dopad na rychlost výroby vláken a následně jejich vlastnosti. V závislosti na rychlosti průtoku lze zaznamenat čtyři typy elektrostatického zvlákňování, a to diskontinuální, kontinuální (stabilní), přerušované a kapkové. Když průtok překročí kritickou hodnotu, může dojít k nahromadění roztoku na špičce trysky, což vede ke tvorbě nestabilních paprsků, případně korálkových vláken, a dalších defektů (rozvětvení, rozdělení, zploštění) [14, str. 7-8].

1.3.1.8 Vnější podmínky

Vnější podmínky, jako je teplota a relativní vlhkost, jsou dalšími faktory, které ovlivňují proces zvlákňování. Vlhkost může ovlivnit průměr a morfologii nanovláken. Čím je vyšší vlhkost vzduchu, tím pomaleji se rozpouštědlo odpařuje, což vede k větším průměrům vláken. Např. polystyrenová nanovlákna, připravená v prostředí s vysokou vlhkostí, vykazovala porézní morfologii, z důvodu kondenzace vlhkosti na jejich povrchu. Teplota má vliv na rychlost odpařování a následně na průměr připravených vláken [14, str. 8] [15].

1.3.1.9 Tlak

Obecně platí, že snížení okolního tlaku má negativní účinek na proces elektrostatického zvlákňování. Když je tlak nižší než atmosférický, polymerní roztok má větší tendenci vytékat z pipety a následkem je snížená stabilita při iniciaci trysky [7, Str. 116].

Nejdůležitější faktory, které ovlivňují proces elektrostatického zvlákňování, jsou shrnuty v Tabulce 1.

Tabulka 1. Parametry ovlivňující elektrostatické zvlákňování [16, str. 3]

Parametr	Dopad na elektrostatické zvlákňování
Vodivost	Zvýšení vodivosti roztoku může usnadnit roztažení paprsku, čímž je snížena tendence tvorby defektů, a tak zlepšena kvalita vláken.
Viskozita	Vysoká viskozita roztoku vede k nedostatečné roztažnosti proudů, které se rozpadnou na kapky; při nízké viskozitě se vlákna netvoří.
Povrchové napětí	Snížení povrchového napětí přispívá k lepší morfologii vláken, která jsou hladší.
Těkavost rozpouštědla	Těkavé rozpouštědlo se může rychle odpařit a usnadnit tak tuhnutí proudů; naopak příliš vysoká těkavost rozpouštědla může vést k rychlému zablokování hrotu jehly.
Vlhkost vzduchu	Vysoká vlhkost prostředí může zabránit odpařování rozpouštědla během procesu tuhnutí a zhoršovat morfologii vláken.
Teplota	Zvýšení okolní teploty způsobí rychlejší odpařování rozpouštědla, vede ke snížení viskozity roztoku a současně ke zmenšení průměru vláken.

1.3.2 Elektroblowing

Elektroblowing je technika kombinující přípravu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním s prouděním vzduchu kolem zvlákňovací trysky. Výhoda této metody spočívá v možnosti sprádní velmi tenkých nanovláken <100 nm [17].

Tangenciální síly proudícího vzduchu působícího na kapku směsi přispívají k tvorbě Taylorova kužele a tvorbě nanovláken. V okolí emitoru se vytvářejí optimální klimatické podmínky příznivě ovlivňující proces zvlákňování [9].

Ve srovnání s konvenčním elektrostatickým zvlákňováním má tato technika čtyři významné výhody. V první řadě kombinace aplikovaných sil elektrického pole a proudění vzduchu zvyšuje účinnost procesu elektrostatického zvlákňování, dále zvýšená teplota proudu vzduchu snižuje viskozitu roztoku, proud vzduchu urychluje odpařování rozpouštědla z roztoku a v neposlední řadě rychlost a teplota proudění vzduchu ovlivňují morfologii nanovláken. Metodou elektroblowingu lze efektivně zvlákňovat roztoky bez použití povrchově aktivních látek nebo jiných systémů rozpouštědel, které mohou být toxické a nevhodné pro lékařské aplikace. Jde o jediný způsob, jak může být kyselina hyaluronová zvlákňována ve své nativní formě [9]. Mimo jiné se využívá pro směsi, které nelze zpracovat standardními metodami například kvůli vysoké viskozitě některých polymerních roztoků, nebo z důvodu nízkých koncentrací [17].

1.3.3 Elektrospraying

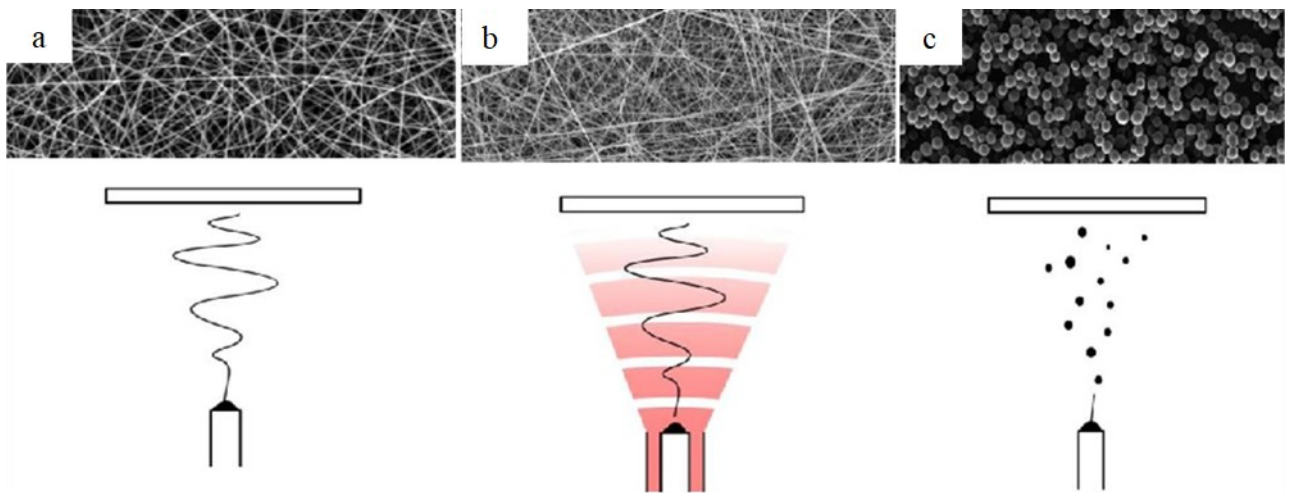
Principy elektrosprejové techniky neboli elektrostatického rozprašování, jsou založeny na schopnosti elektrického pole působit na kapku kapaliny [18]. Touto metodou je možno produkovat malé kapičky o velikosti submikronu pomocí elektrického pole. Lze ji také využít k výrobě jemných polymerních částic, které se široce aplikují pro biomedicínské aplikace, zejména pro zapouzdření léčiv [18].

Mechanismus vytváření takových nanostruktur je podobný principu elektrostatického zvlákňování. Roztok, ovlivněný elektrostatickými silami, tvoří Taylorův kužel, z něhož nejsou tažena vlákna, ale kapalná směs se rozpadá na malé kapičky. Následně se rozpouštědlo odpaří z povrchu těchto kapek, které se zmenšují v průměru, dokud nedosáhnou nanorozměrů [9].

Kapky vznikají důsledkem Rayleighovy nestability existující při použití nízkých koncentrací roztoků. Technika elektrospaying se používá k nanášení tenkých vrstev biologických, organických a anorganických materiálů [9].

Proces elektrosprejování lze provádět za běžných okolních podmínek (teplota a tlak), které jsou vhodné pro citlivé biomolekuly, a dokonce i živé buňky. Navíc, lze touto technikou získat nano/mikročástice s enkapsulovaným léčivem s úzkou distribucí velikostí [19].

Rozdíl mezi různými typy nanovláken v závislosti na použité metodě lze vidět na Obr. 4.



Obrázek 4. Technika (a) elektrospinning (b) elektrobloving (c) elektrospaying [9]

2 POLYMERY PRO VÝROBU NANOVLÁKEN

Nanovlákná mohou být vyráběna z široké škály polymerů, které lze rozdělit do tří kategorií: syntetické, přírodní a hybridní (syntetické/přírodní).

Syntetické polymery nabízejí vynikající mechanické vlastnosti, tepelnou stabilitu a degrační profil. Některé příklady těchto syntetických polymerů jsou kyselina polylactonová (PLA), polyvinylalkohol (PVA), polyethylenoxid (PEO), poly (kyselina mléčná – glykolová (PLGA), polyuretan (PUR), polystyren (PS) a polyglycerol (PG). Syntetické polymery nejsou nákladné na výrobu a snadno se elektrostaticky zvláknují [11, str. 1528].

Alternativu syntetických polymerů představují přírodní materiály, které byly navrženy pro hojení ran. Tyto materiály jsou biokompatibilní a netoxické, což je s výhodou využíváno v biomedicínských aplikacích. Protože většina přírodních polymerů může být degradována přirozeně se vyskytujícími enzymy, lze je použít pro dočasné implantáty nebo pro systémy s řízeným uvolňováním léčiva. Rychlost degradace, lze regulovat pomocí chemického zasíťování nebo jiné modifikace, které dále zvyšuje univerzálnost využití těchto materiálů [7, str. 52]. Nevýhodou přírodních polymerů jsou horší mechanické vlastnosti, proto jsou často kombinovány s polymery syntetickými [11, str. 1528].

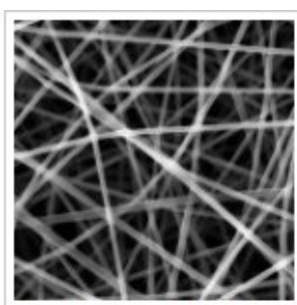
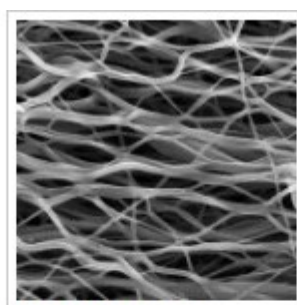
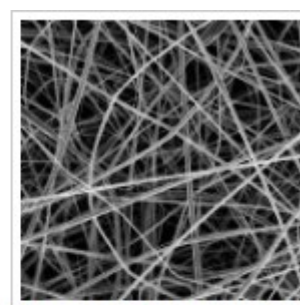
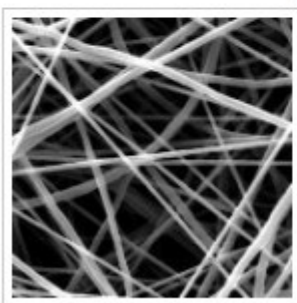
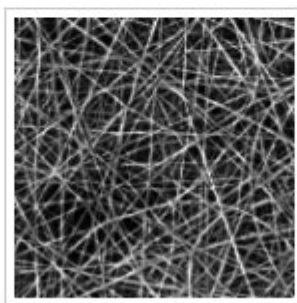
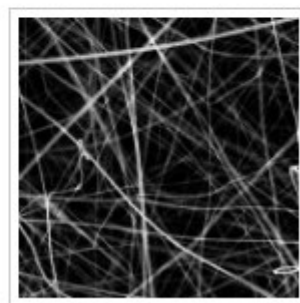
Příklady polymerů aplikovaných pro elektrostatické zvláknování jsou kolagen, fibroin, elastin nebo chitosan. [11, str. 1528].

Hybridní polymery (přírodní / syntetické) se používají pro překonání omezení syntetických a přírodních polymerů. Tyto materiály kombinují pevnost a trvanlivost syntetických polymerů s biokompatibilitou, a bioaktivitou polymerů přírodních. Například chitosan je často kombinován s jinými polymery, jako je PEO [11, str. 1528].

Vybrané polymerní materiály, včetně jejich vlastností a aplikací, jsou shrnuty v Tabulce 2. Příklady některých zmíněných polymerů po zvláknění lze vidět na Obr. 5.

Tabulka 2. Přehled jednotlivých materiálů pro výrobu nanovláken [20][21] [22, str. 20]

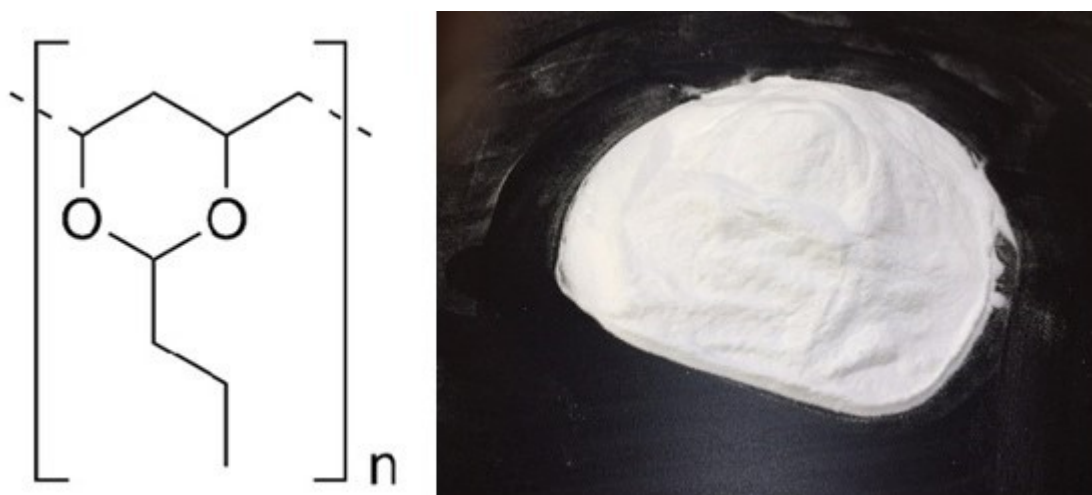
Materiál	Vlastnosti a použití
Acetát celulózy	Biodegradabilní celulózní nanovláčna. Textilní průmysl, filtrace, kosmetika.
Alginát sodný	Přírodní biodegradabilní polysacharid. Tkáňové inženýrství, potravinářský průmysl (zvýšení viskozity), emulgátor.
Kolagen	Hlavní strukturální protein pojivových tkání. Tkáňové inženýrství, náhrady kůže a srdeční chlopně, dodávání léčiv.
Kyselina polymléčná	Termostatický polyester. Tkáňové inženýrství, dodávání léčiv.
Kyselina hyaluronová	Nerostupný polysacharid, v pojivové a epiteliální tkáni. Hydratace pokožky, tkáňové inženýrství, kosmetický a farmaceutický průmysl.
Polyethylenoxid	Syntetický biokompatibilní polyether. Povrchová funkcionalizace, tkáňové inženýrství, dodávání léčiv, technika.
Polykaprolakton	Biodegradabilní a biokompatibilní polyester. Biomedicínské aplikace, filtrace, dodávání léčiv.
Polyuretan	Termosetový polymer. Tkáňové inženýrství, dodávání léčiv, ochranné oděvy, filtrace.
Polyvinyl alkohol	Syntetický rozpustný polymer s pomalou degradací. Tkané a netkané textilie, enkapsulace, chirurgické stehy.
Želatina	Rozpustný protein. Tkáňové inženýrství, kosmetika, hydrogely.

**Polyvinylalkohol****Polyuretan****Polymléčná kyselina****Polykaprolakton****Hyaluronová kyselina****Želatina**

Obrázek 5. Nazvlákněné vybrané druhy polymerů [3]

2.1 Polyvinyl butyral

Polyvinyl butyral (PVB) je bezbarvý, netoxický, environmentálně příznivý materiál, který je získáván kondenzační reakcí polyvinylalkoholu a butyraldehydu (Obr. 6). Jeho fyzikálně-chemické vlastnosti závisí na stupni acetalizace, a polymerizace, a také na obsahu změkčovadel [23] [24]. PVB vykazuje dobrou kompatibilitu s plastifikátory, fenolickými, epoxidovými a melaminovými pryskyřicemi [25]. Mezi další příznivé vlastnosti PVB, lze zařadit dobrou odolnost proti vodě, vynikající adhezní, filmotvorné a optické vlastnosti, elasticitu, velmi dobrou kompatibilitu jak s organickými rozpouštědly, tak s ostatními polymery a velmi výhodné zpracovatelské charakteristiky [26].



Obrázek 6. Struktura a vzhled PVB [27] [28]

2.1.1 Aplikace PVB

Jak bylo zmíněno, PVB vykazuje celou řadu výjimečných vlastností, díky nimž je využíván v mnoha průmyslových oblastech.

Nejvýznamnější aplikací jsou PVB bezpečnostní fólie na skla do automobilů. V případě rozbití skla většina jeho úlomků přilne k povrchu PVB fólie, čímž se zabrání úrazu. PVB laminátové sklo také nabízí lepší zvukovou bariéru, dobrou odolnost proti nárazu a téměř 100 % absorpci UV záření, což má význam především pro ochranu interiérů před vyblednutím kvůli expozici UV záření [25]. PVB laminátové bezpečnostní fólie mohou být kromě automobilového průmyslu využívány i ve stavebnictví. PVB filmy jsou dále aplikovány ve fotovoltaickém průmyslu za účelem zlepšení dlouhodobé životnosti solárních modulů. PVB je dále využíván pro výrobu obalových materiálů, jelikož nabízí dostatečnou flexibilitu, optickou čistotu a přilnavost k mnoha povrchům. Navíc je netoxický, takže některé typy byly schváleny pro kontakt s potravinami [25].

Filmy na bázi PVB vykazují nízkou viskozitu, dobrou přilnavost ke sklu a kovům, pevnost a elasticitu, která je ovlivněna molekulovou hmotností. Významnou aplikaci představují PVB nanovlákná, které lze využít pro čištění odpadních vod. PVB lze také využít pro usnadnění procesu zvlákňování jiných polymerů, kde se mimo jiné může podílet na úpravě morfologie vláken [29] [30].

3 ANTIMIKROBIÁLNÍ NANOVLÁKNA

Antimikrobiální nanovlákná nacházejí uplatnění v mnoha oblastech průmyslu. Například jsou aplikovány při hojení ran, kdy hlavním důvodem je prevence infekce a následných negativních účinků na proces hojení. V oblasti úpravy vody jsou využívány speciální nanovláknenné filtry, zajišťující zpomalení či prevenci tvorby biofilmu, a tím i prodloužení účinku filtru. Antimikrobiální nanovlákná lze připravit inkorporací různých typů antimikrobiálních látek, jak anorganického, tak organického původu. Jako příklad lze uvést esenciální oleje, monoacylglyceroly, nanostříbro, nebo kvartérní kationické povrchově aktivní látky (př. cetyltrimethyl amonium bromid (CTAB) a cetyl pyridinium bromid (CPB)). Některé skupiny budou zmíněny v následujících kapitolách.

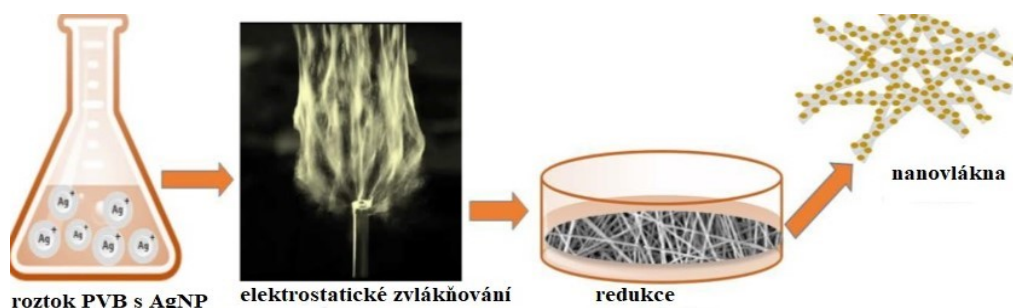
3.1 Nanostříbro

V posledním desetiletí došlo ve světě k exponenciálnímu nárůstu ve vývoji v oblasti nanotechnologií, a aplikacích nových nanomateriálů a nanočástic. Tento trend je do značné míry důsledkem vlastností vedoucích ke zlepšení mechanických, elektrických, magnetických, fotochemických a katalytických vlastností [31, str. 2].

Nanočástice jsou často aplikovány právě do nanovláken, která lze využít pro výrobu paměťových zařízení, systémů dodávání léčiv a tkáňového inženýrství, membránových separátorů baterií, solárních článků, nebo biosenzorů. Lze je také využít v procesech čištění odpadních vod, nebo pro obalové materiály v potravinářství [29] [31, str. 3]. Nanočástice stříbra (AgNP) jsou známé díky své antibakteriální a antimikrobiální aktivitě. Z tohoto důvodu jsou v současnosti aplikovány do formulací detergentů, textilu, dezinfekčních prostředků, antimikrobiálních zdravotnických pomůcek, gelů a dalších produktů (viz Tabulka 3) [31, str. 4] [32]. V textilním průmyslu jsou nanočástice stříbra inkorporovány do tkanin, které získávají antibakteriální vlastnosti, a lze je využít jako ochranný oděv pro práci ve vlhkém prostředí [31, str. 5]. Stříbrné nanočástice byly využity ve studii autorů Yalcinkaya a kol. [29] pro přípravu nanovláknenných struktur na bázi PVB, který byl stěžejním polymerním materiálem využívaným v experimentální části naší práce (Obr. 7). Výsledný systém prokázal potenciál pro aplikaci při čištění odpadních vod.

Tabulka 3. Využití nanostříbra v různých oblastech průmyslu [Upraveno dle 31]

Odvětví	Aplikace
Textilní průmysl	Ochrana před UV zářením, skvrnám. lékařské oděvy.
Zdravotnictví	Řízené uvolňování léčiv, diagnostické metody, lokální masti, krémy.
Potravinářství	Balení potravin.
Úprava vody	Dezinfekce vody, filtrace, čištění odpadních vod.



Obrázek 7. Schéma výroby Ag NPs-polymerních nanovláknenných kompozitů pomocí tyčového elektrostatického zvlákňování [Upraveno dle 29]

3.2 Esenciální oleje

Esenciální oleje jsou přírodní, těkavé, rostlinné sloučeniny, olejovité nebo lipidové povahy, a často se vyznačují silnou vůní. Mají nízkou rozpustnost ve vodě, ale jsou rozpustné v tučích, alkoholu, organických rozpouštědlech a jiných hydrofobních látkách. Při pokojové teplotě jsou obvykle kapalné. Mohou být extrahovány z listů, květů, pupenů, semen, plodů, kořenů, dřeva nebo kůry rostlin různými metodami, jako je například extrakce rozpouštědlem a superkritická fluidní extrakce, exprese pod tlakem, nízkotlaká nebo vysokotlaká fermentace, či hydro-destilace. Esenciální oleje jsou komplexní sloučeniny, které mohou obsahovat až 100 složek. V podstatě se jedná o všechny uhlovodíky a jejich okysličené deriváty, případně mohou také obsahovat dusík nebo síru [33, str. 224]. Přestože patří mezi sekundární, neesenciální rostlinné metabolity, jejich složky mají specifické biologické funkce, z nichž mnohé jsou vhodné ke komerčnímu využití. Vzhledem k rozsahu a složení sloučenin

přítomných v esenciálních olejích není překvapením, že mají schopnost ovlivnit mnoho biologických systémů. Největší zájem o biologické aktivity se soustředí na aplikace ve zdravotnictví, zemědělství, kosmetickém a potravinářském průmyslu. V oblasti zdravotnictví nyní existuje rozmanitá škála biologických vlastností, zahrnujících antimikrobiální, protirakovinné, analgetické, antioxidační, protizánětlivé, imunomodulační, antiagregační a antitrombotické aktivity [33, str. 226] [34]

Další text obsahuje informace o esenciálních olejích použitých v praktické části této diplomové práce.

3.2.1 Oregano (Dobromysl)

- Název: esenciální olej oregano
- INCI: Origanum Vulgare Oil
- Botanický název: Origanum vulgare (hirtum)
- Způsob výroby: parní destilace

Tabulka 4. Fyzikální vlastnosti oreganového esenciálního oleje [35]

Vlastnost	Specifikace
Barva	Žlutohnědá
Vůně	Charakteristická
Konzistence	Čirá kapalina
Hustota (20 °C)	0,925 – 0,955 (g/cm ³)
Index lomu (20 °C)	1,490 – 1,515
Optická rotace (20 °C)	(-5°) – (5°)
Bod vzplanutí	76 °C

Tabulka 5. Chemické složení oreganového esenciálního oleje [35]

Látka	Zastoupení (%)
Carvacrol	60,0 – 83,0
Borneol	0,5 – 3,2
p-Cymene	0,5 – 2,3
Terpin-1-en-4-ol	0,5 – 1,5
γ -Terpinene	0,1 – 0,9
Camphene	0,1 – 0,3

Esenciální olej z oregana má antiseptické, protiplísňové, protizánětlivé vlastnosti, využívá se k posílení imunity, při léčbě infekcí dýchacích cest, bolestí v krku, také jako přírodní antibiotikum [36] [37, Str. 174]. Jeho fyzikální vlastnosti a chemické složení jsou uvedeny v Tabulce 4 a 5.

3.2.2 Tymián

- Název: esenciální olej tymián
- INCI: Thymus Vulgaris Oil
- Botanický název: Thymus vulgaris
- Způsob výroby: parní destilace

Tabulka 6. Fyzikální vlastnosti tymiánového esenciálního oleje [38]

Vlastnost	Specifikace
Barva	Žlutá až červenohnědá
Vůně	Charakteristická
Konzistence	Čirá kapalina
Hustota (20 °C)	0,915 – 0,937 (g/cm ³)
Index lomu (20 °C)	1,490 – 1,505
Optická rotace (20 °C)	(-10°) – (10°)
Bod vzplanutí	52 °C

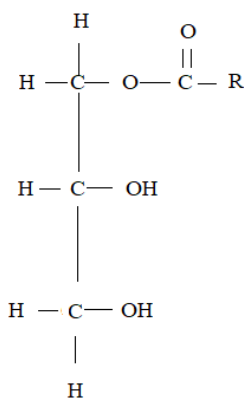
Tabulka 7. Chemické složení tymiánového esenciálního oleje [38]

Látka	Zastoupení (%)
Thymol	40,0 – 60,0
p-Cymen	20,0 – 30,0
α -Pinen	2,0 – 5,0
Terpinen-4-ol	1,0 – 5,0
Myrcene	1,0 – 5,0
Linalool	1,0 – 5,0
γ -Terpinene	1,0 – 5,0
Carvacrol	1,0 – 3,0

Tymiánový olej vykazuje protiinfekční, antibakteriální, protiplísňové, antiseptické, protikřečové účinky, využívá se k posílení imunity organismu, léčbě zánětů močových cest, revmatismu [37, Str. 211]. Fyzikální a chemické vlastnosti tymiánového oleje jsou shrnuty v Tabulce 6 a 7.

3.3 Monoacylglyceroly

Monoacylglyceroly (MAG) patří mezi monoestery glycerolu a mastných kyselin (Obr. 8) [39].



Obrázek 8. Strukturní vzorec monoacylglycerolů
[Upraveno dle 40]

Jedná se o nejpolárnější složky jednoduchých lipidů (obsahují pouze jeden uhlovodíkový řetězec a dvě OH skupiny) [39]. Monoacylglyceroly jsou připravovány interesterifikací (glycerolýzou) triacylglycerolů s glycerolem, za vysoké teploty (200–250°C) a přítomnosti alkalického katalyzátoru. Komerční monoacylglyceroly obvykle obsahují 45–55 % monoacylglycerolů, 38–45 % diacylglycerolů, 8–12 % triacylglycerolů a 1–7 % volného glycerolu. Dále lze MAG připravit přímou esterifikací glycerolu s mastnou kyselinou. Reakce probíhá při vysoké teplotě (200–250°C) v přítomnosti alkalického katalyzátoru, obvykle hydroxidu sodného [41, str. 75]. Další možností přípravy monoacylglycerolů je adice mastné kyseliny na glycidol, která byla využita v experimentální části diplomové práce a bude popsána v příslušné kapitole (7.3).

Monoacylglyceroly jsou polymorfní a mohou existovat v závislosti na teplotě v různých krystalických formách. Mají lipofilní charakter a nízkou hodnotu HLB (3 – 6). Rozpouštějí se v oleji a ve stabilizovaných emulzích voda v oleji (w / o) za vzniku reverzních micel [41, str. 75]. V potravinářském průmyslu se používají k přípravě a stabilizaci potravinářských emulzí. Monoacylglyceroly s kratšími řetězci vykazují antimikrobiální účinky, a jsou proto běžně využívány ve farmaceutickém průmyslu, ochraně textilu atd. MAG vykazují aktivitu proti grampozitivním i gramnegativním bakteriím, kvasinkám a houbám. Jejich antimikrobiální vlastnosti jsou způsobeny interakcí s mikrobiálními buněčnými membránami, kde mohou inhibovat buněčné metabolismy, nebo způsobit lýzu buněk [30].

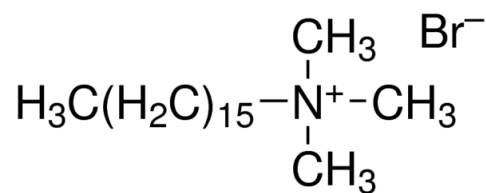
3.4 Kvartérní kationické sloučeniny

Kvartérní amoniové sloučeniny (KAS) patří do skupiny kationických amfifilních látek, obvykle s jedním delším alkylovým řetězcem (C16) [42, str. 182].

Dusík v amonických solích obsahuje pozitivní náboj, který způsobuje ztrátu různých fyziologických funkcí bakteriálních buněk, včetně osmoregulace, prostřednictvím své interakce se záporně nabitými kyselými fosfolipidy v buněčné membráně. Kvartérní amoniové kationity vykazují antibakteriální účinky vůči grampozitivním i gramnegativním bakteriím, v závislosti na počtu uhlíků ve svém alkylovém řetězci [43, str. 5].

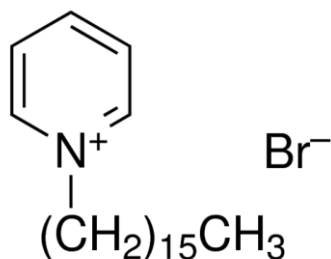
Cetyltrimethyl amonium bromid (CTAB) (Obr. 9) je dodáván ve formě bílého sypkého prášku, který se snadno rozpouští ve vodě a alkoholu. Je znám pro své antiseptické účinky, vykazuje širokospektrální účinnost jak proti plísním, tak bakteriím. Používá se proto v čistících a dezinfekčních prostředcích. Dále pak v produktech pro péči o dutinu ústní, jako jsou

zubní pasty a ústní vody [44]. Ve vlasové kosmetice se CTAB používá jako součást speciálních šamponů proti různým kožním onemocněním (lupénka, seborea) [45, str. 33].



Obrázek 9. Strukturální vzorec Cetyltrimethyl amonium bromidu [46]

Cetyl pyridinium bromide (CPB) (Obr. 10) se nachází ve formě bílého prášku, který je rozpustný v acetonu, chloroformu, etanolu a horké vodě. Patří mezi kvartérní amoniové sloučeniny se širokospektrálními antiseptickými vlastnostmi. Obvykle se nachází jako účinná složka v ústních vodách, zubních pastách, pastilkách, krčních sprejích, dechových sprejích a nazálních sprejích, kde zajišťuje ochranný účinek proti tvorbě zubního plaku a eliminuje zánětlivost dásní [47] [48]. Rychle a účinně odstraňuje ionty kovů z roztoků. Sloučenina odstraňuje kationty z roztoku prostřednictvím komplexu kation / surfaktant, který se vysráží z vodné fáze na fázi organickou a může být následně extrahován [49].



Obrázek 10. Strukturální vzorec Cetyl pyridinium bromidu [50]

4 VÝZNAM A VYUŽITÍ NANOVLÁKEN

Nanovlákná vykazují celou řadu zajímavých vlastností, jako je velký poměr plochy povrchu vztažený k objemu, vysoce porézní struktura, relativně nízká pórovitost a nízká hustota. Z těchto důvodů jsou nanovlákná aplikována v mnoha oblastech, jako například filtrace odpadních vod, destilace, odsolování, filtrace vzduchu, různé biomedicínské aplikace, výroba plynových senzorů, baterií, zařízení k ukládání dat a solárních článků. Na druhou stranu mezi jejich nevýhody patří horší mechanické vlastnosti, které omezují jejich použití v širším spektru.

4.1 Zdravotnictví

Ve zdravotnictví lze polymerní nanovlákná využít např. pro výrobu ochranných obleků, krytí ran, nebo pro systémy sloužící ke kontrolovanému uvolňování léčiv.

4.1.1 Tkáňové inženýrství

Poškození orgánů a tkání v lidském těle, například z důvodu úrazů a zranění, bývá často nevratné, kvůli nízké schopnosti regenerace. V závislosti na povaze poškození se jako řešení nabízejí chirurgické zákroky, a transplantace poškozených orgánů, které ovšem nejsou vždy zcela uspokojující s ohledem na plnou obnovu funkce z dlouhodobého hlediska [51]. Tkáňové inženýrství představuje perspektivní přístup, který využívá vývoj biologicky ekvivalentních náhrad tkání a orgánů, které jsou konstruovány přímo pro potřeby konkrétního pacienta [52, str. 215].

Z biologického hlediska má většina tkání a orgánů podobnou strukturu, a formu jako nanovlákná. Jako příklad lze uvést kost, dentin, kolagen, chrupavku nebo kůži, které jsou charakterizovány hierarchicky uspořádanými vláknitými strukturami v měřítku nanometrů. Z těchto důvodů mají polymerní nanovlákná velký potenciál pro uplatnění právě v oblasti tkáňového inženýrství [3] [53].

Lidské buňky se mohou na tyto nanovlákná s průměrem menším, než je průměr buněk, navázat. V tomto ohledu poskytují nanovláknenné struktury a scaffoldy, optimální podmínky pro vznik, migraci a růst buněk [53].

Polymerní nanovláknna, mohou být také nanosena ve formě tenkého porézního filmu na pevné protetické zařízení, určené k implantaci do lidského těla. Tento film s vláknitou strukturou, pak funguje jako určitá mezifáze mezi protézou, a hostitelskými tkáněmi, která slouží ke zvýšení vzájemné kompatibility, a tím i prevenci selhání zařízení po implantaci [53].

4.1.2 Obvazové materiály

Výběr typu obvazu aplikovaného na rány závisí na různých faktorech, jako je místo, rozsah a hloubka zranění. Tradiční obvazy absorbují velké množství vlhkosti, což způsobuje rychlé vysušení povrchu rány, a vede tak ke snížení rychlosti hojení, a následně bolestivosti při odstranění obvazu. V dnešní době je proto již využívána široká škála obvazových materiálů ve formě filmů, pěn, gelů a nanovláknenných membrán, které eliminují výše uvedené nedostatky a optimalizují proces hojení [54].

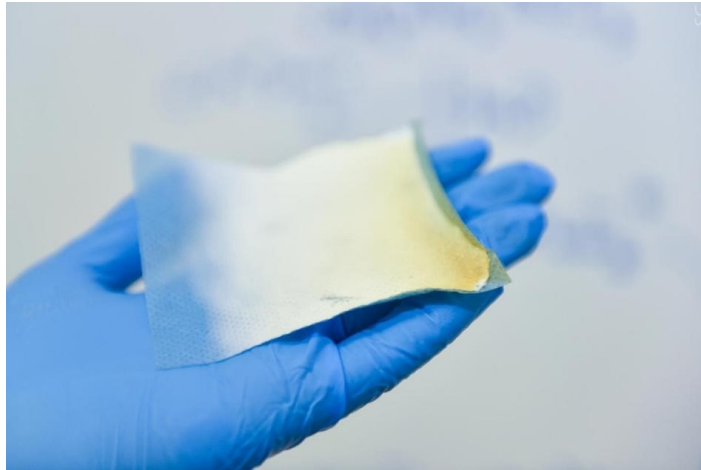
Ideální obvaz (krytí rány) by měl umožnit regulaci vlhkosti kolem rány, dostatečnou prodyšnost, eliminaci přebytečných výpotků, ochranu rány před infekcí, snižovat povrchovou nekrózu rány, měl by zajistit snadné odstranění a výměnu, měl by být biokompatibilní, biologicky rozložitelný, elastický a netoxický.

Na základě funkce jsou obvazy klasifikovány na antimikrobiální, absorpční, okluzivní a adhezní. Vzhledem k původu materiálu lze obvazy rozdělit na živočišné, bylinné a syntetické [54].

Z živočišných materiálů jsou nejznámější kolagenové houby s vysokou pórovitostí a vysokou absorpcí vody. Nevýhodou jsou vyšší výrobní náklady, horší stabilita a skladovatelnost. Zhou et al. [55] testovali kolagenová nanovláknna vyrobená metodou elektrostatického zvláknování, která vykazovala velkou tepelnou stabilitu a bobtnání. Bylo prokázáno, že připravená kolagenová nanovláknna mohou být využita pro regeneraci a urychlení hojení rán [54].

Z důvodu nižších výrobních nákladů jsou hojně využívány obvazové materiály na bázi syntetických polymerů. Například polyuretan (PUR) se používá díky své dobré biokompatibilitě, mechanickým vlastnostem, nízké cytotoxicitě, flexibilitě a permeabilitě pro plyny [54] [5].

Obvazy na bázi nanovláken mají vysoce porézní strukturu, která napomáhá odsávání tekutiny z rány, a jsou proto vhodným kandidátem pro aplikaci na ošetření ran nebo popálenin (Obr. 11) [53].



Obrázek 11. Obvazový materiál na bázi nanovláken z polykaprolaktonu [56]

Pomocí elektrického pole lze dokonce jemná vlákna z biologicky rozložitelných polymerů, přímo nazvláknit na poraněné místo na kůži, a vytvořit tak speciální membránu, která napomáhá hojení rány a eliminuje tvorbu jizev, ke kterým by došlo při tradičním ošetření (Obr. 12) [53]. Netkané nanovláknenné membrány využívané pro hojení ran mají obvykle velikosti pórů v rozmezí od 500 nm do 1 μm , aby bylo zamezeno průniku bakterií. Vysoká povrchová plocha 5–100 m^2/g je mimořádně účinná pro absorpci tekutin a transdermální absorpci aktivní látky [53].



Obrázek 12. Aplikace nanovláken pro hojení ran [53]

4.1.3 Řízené uvolňování léčiv

Problematika doručování léčiv ve fyziologicky nejpříjemnějším stavu, je ve zdravotnictví již dlouhodobě studována. Obecně platí, že čím menší jsou rozměry léčiva a potahového materiálu potřebného k zapouzdření, tím lépe je tato léčivá látka pacientem absorbována. Systémy dodávání léčiv na bázi polymerních nanovláken jsou založeny na principu, že rychlost rozpouštění léčivé látky se zvyšuje s rostoucí plochou povrchu léčiva i příslušného nosiče. Výsledné nanovláknenné systémy se mohou vyskytovat v různých formách:

- částice léčiva mohou být připojeny k povrchu nosiče, který je ve formě nanovláken,
- léčivo i nosič jsou ve formě nanovláken, tedy výsledným produktem budou dva druhy vzájemně propletených nanovláken,
- směs léčiva a nosných materiálů je integrována do jednoho druhu vláken obsahujících obě složky,
- nosný materiál je elektrostaticky zvlákněn a do jeho struktury jsou enkapsulovány částice léčiva [53].

Výhodou systémů pro dodávání léčiv ve formě nanovláken je velký měrný povrch s krátkou difúzní délkou, což zajišťuje vyšší uvolňování léčiva. Kinetika uvolňování z nanovláknenných může být regulována pomocí různých parametrů, jako jsou degradace polymeru, morfologie, nebo porozita [5].

4.1.4 Nanoroušky

Nanovláknenné struktury lze využít i při výrobě nanoroušek nebo respirátorů (Obr. 13), které jsou schopny až s 99,9 % účinností zachytit velmi malé částice, jako jsou například viry, bakterie, nebo alergeny. Výhodou je i velmi nízká hmotnost, flexibilita a zároveň prodyšnost [57]. Prodyšnost a filtrovatelnost roušek závisí na porozitě a povrchové ploše vláken, které lze regulovat během procesu elektrostatického zvláknování. Porozitu lze ovlivnit změnou typu zvláknovacích trysek, polymerních roztoků a geometrií sběru nanovláken, která definuje výsledné průměry vláken, a jejich hustotu sbalení. Prodyšnost filtrační vrstvy v elektrostaticky zvláknovaných nanovláknenech lze také kontrolovat změnou doby a geometrie sběru vláken, jelikož oba tyto parametry mají vliv na konečnou tloušťku vrstvy a plošnou hmotnost [58, str. 163].



Obrázek 13. Nanoroušky typu N 95/N 99 [57]

4.2 Kosmetika

Nanovláknna mají pro použití v kosmetice velký potenciál. Mohou být využita ve formě přípravků s terapeutickým účinkem, pro hojení a čištění pokožky, pleťové masky, různá krytí nebo nosné systémy pro aktivní látky využívané pro péči o pokožku. Díky malým pórům a velkému plošnému povrchu nanovláknenné masky je usnadněn průchod aktivních látek do pokožky, a zvyšuje se tak potenciál jejich účinku. Kosmetická maska na bázi nanovláken může být aplikována jemně a bezbolestně, navíc přímo kopíruje trojrozměrnou topografii kůže, což zajistí rychlejší hojení pokožky [53] [59, str. 137].

Fathi-Azarbayjani a kol. [60] připravili v rámci své studie antioxidační pleťovou masku proti vráskám na bázi nanovláken s obsahem kyseliny askorbové, retinové, zlatých nanočástic a kolagenu. Při aplikaci masky na pokožku dojde k jejímu navlhčení a následnému postupnému uvolňování aktivních látek, čímž je zajištěna efektivní transdermální penetrace.

Česká firma Nanopharma, a.s. uvedla na trh nanovláknenné masky [n]fibrecare s obsahem kombinace vitaminů a antioxidantů, která se aktivuje při kontaktu s navlhčenou pleť, což umožňuje vysoce účinný transport aktivních složek (Obr. 14) [61].



Obrázek 14. Pleťová maska [n]fibrecare [61]

Aplikace nanovlákných masek v kosmetice zahrnuje řadu výhod, které lze shrnout následovně:

- díky nanovlákné struktuře dochází k dopravení účinné látky přímo do kožních buněk, bez narušení struktury buněčné stěny,
- při aplikaci je zachována fyziologická mikroflóra a přirozené pH pokožky, je také zabráněno výskytu dalších patogenů (bakterií a hub) na kůži,
- není narušena kontinuita pohybu, dýchání a vytváření nových buněk (proliferace),
- není narušena přirozená vlhkost pokožky [59].

4.3 Filtrace

Filtrace představuje významný technologický proces využívaný v mnoha technických oborech. Filtry se v domácnostech a průmyslu používají k separaci a odstranění nežádoucích částic, zejména ve vzduchu nebo kapalinách. V armádě se filtry aplikují do oděvů za účelem dekontaminace aerosolového prachu a bakterií, přičemž souběžně je zajištěna prodyšnost [4, str. 45]. Filtrace je také využívána při výrobě respirátorů a zdravotnického textilu. Při filtračních procesech jsou využívány různé mechanismy, při nichž je zásadní velikost částic [4, str. 46].

4.3.1 Filtrace vzduchu

Pro filtrační proces je klíčový výběr materiálu filtru, který by měl zajistit vysokou účinnost a nízký odpor vzduchu. Účinnost filtrace úzce souvisí s jemností vláken. Vlákná o velikosti nanometrů, představují perspektivní materiál pro efektivní proces filtrace. Díky velmi vysokému poměru povrchové plochy k objemu a výsledné vysoké povrchové soudržnosti mohou být v nanovlákné struktuře snadno zachyceny velmi malé částice.

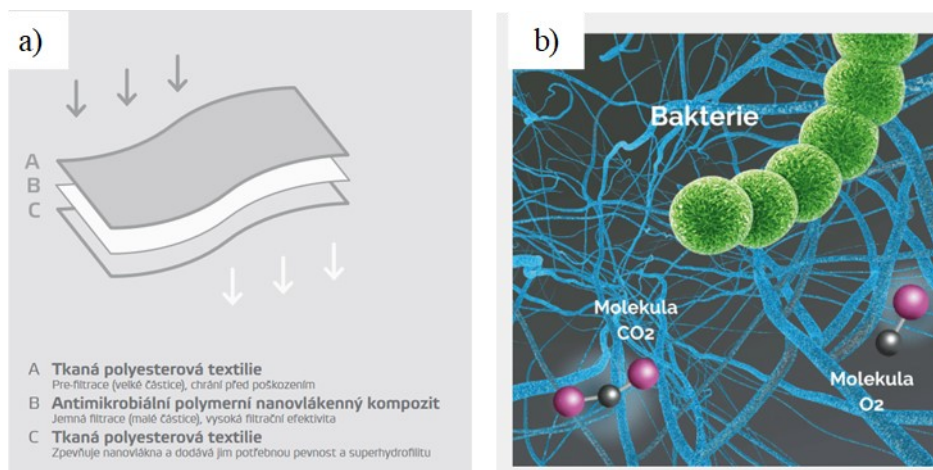
Byly také vyvinuty nanovlákné membrány vyrobené z několika specifických polymerů, nebo potažené některými selektivními činidly, jako jsou například molekulární filtry. Tyto lze využít pro detekci a filtraci činidel chemických a biologických zbraní [53] [62].

4.3.2 Filtrace vody

Znečištění a znehodnocení zdrojů vody představuje v současnosti závažný celosvětový problém. Z toho důvodu je problematice čištění vod a odstranění nežádoucích kontaminantů

věnována velká pozornost. Jednou z možností je právě využití nanovláken s velmi malými velikostmi pórů jako filtračních zařízení [62] [63].

Jako příklad lze uvést nanovláknennou membránu Ecobrane, vyrobenou pomocí elektrostatického zvlákňování, kterou vyvinula společnost Nafigate Corporation (ČR). Tato nanovláknna mají superhydrofilní povrch a jsou určena jako membrány pro filtraci vody, které jsou schopny zachytit i velmi malé částice jako jsou bakterie a prachové částice. Schéma této membrány včetně rozdělení jednotlivých vrstev a srovnání velikosti vláken s nečistotami a mikroorganismy jsou znázorněny na Obr. 15. Mezi hlavní výhody patří mechanická pevnost, objem filtrace (cca 100 l vody), snadná aplikace bez nutnosti využití elektrické energie, minimální zátěž pro životní prostředí [62].



Obrázek 15. a) Kompozitní membrána Ecobrane, b) srovnání s velikostí bakterií a molekul [62]

5 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROLEMATIKY

Nanovlákná díky svým ojedinělým vlastnostem v současné době plní svou nezastupitelnou funkci v mnoha aplikačních odvětvích. Technika elektrostatického zvlákňování jako způsob výroby mikro a nanovláken v posledních letech přitahuje pozornost řady vědeckých prací, a to zejména díky jednoduché proveditelnosti a efektivnosti. Tímto postupem lze připravovat polymerní vlákna s různou morfologií a velikostí, se středním průměrem od několika nanometrů až do několika mikrometrů [11, str. 1528].

Takto připravená vlákna nacházejí uplatnění v různých průmyslových oblastech, mezi něž patří tkáňové inženýrství, biosenzory, obalový průmysl, filtry, obvazy na rány, uvolňování léků, výroba energie, absorpční membrány a kosmetika. Nanovláknenné vrstvy využívají také výrobci v oblasti balení potravin, za účelem zlepšení optických, bariérových a adhezních vlastností. Nespornou výhodou této techniky je také fakt, že není negativně ovlivněna flexibilita a mechanické vlastnosti nosného polymeru [64, str. 493].

Řada průmyslových odvětví se potýká s negativním vlivem mikrobiálních kontaminací, přičemž výběrem vhodného materiálu lze zajistit prevenci proti těmto nežádoucím jevům. Jedním z příkladů je námořní průmysl, kdy dochází ke zvýšenému biologickému znečištění na trupech lodí. To vede ke zvýšení drsnosti povrchu a růstu hydrodynamického odporu při pohybu plavidla po vodě, což se projeví vyššími náklady na spotřebu paliva a údržbu. Řešením mohou být nové materiály, nebo povrchové úpravy, např. ve formě filmů, nebo nanovláknenných vrstev, které lze zkonstruovat tak, aby oddálily nebo potenciálně zabránily uchycení mikroorganismů. Tyto povrchy pak mohou vykazovat antibakteriální, nebo antifoulingové vlastnosti [65].

Jak bylo uvedeno výše, pro přípravu těchto systémů je klíčový už samotný výběr polymeru. Například chitosanová nanovlákná vykazují antibakteriální aktivitu, zatímco některé hydrofilní polymery, jako např. PEO a celulóza, mají antifoulingový charakter. Antifoulingové povrchy inhibují bakteriální adhezi, což lze považovat za účinnou metodu prevence proti vytvoření mikrobiální rezistence, která je častá například v případě využití některých antibiotik [65].

Za účelem zvýšení antimikrobiálních, nebo antifoulingových vlastností jsou do polymerních matric přidávány různé typy aktivních látek. Tradičně byly využívány různé kovové ionty, z nichž se nejčastěji jednalo o ionty stříbra, které mají široké spektrum účinnosti a vykazují nízkou bakteriální rezistenci. Stříbro se přidávalo například do vnějších ob vazů pro hojení

zánětlivých ran. Za účelem snížení cytotoxicity stříbra jsou využívána různá chemická redukční činidla. Nguyen a kol. [66] použili polyvinyl alkohol (PVA) jako základ pro nanovlákná modifikovaná prostřednictvím nanočástic stříbra [64]. Yalcinkaja a kol. [29] studovali PVB nanovlákná s obsahem stříbrných nanočástic, získaných redukcí AgNO_3 pomocí kyseliny askorbové. Byl sledován i vliv různé koncentrace PVB polymeru, který se projevil jak na antibakteriálních, tak na morfologických vlastnostech vláken. Xu a kol. [67] testovali účinnost nylonového polymeru se zabudovanými nanočásticemi stříbra (1- 4 hm %), kdy modifikovaná nylonová nanovlákná vykazovala vysokou účinnost proti gramnegativním bakteriím (*E. coli* a *Pseudomonas aeruginosa*).

Ke zvýšení antimikrobiální aktivity lze také využít různé organické látky, jako jsou esenciální oleje, či jejich složky, nebo například kvartérní amoniové sloučeniny. Díky enkapsulaci aktivních látek do filmů a nanovláknenných membrán dochází ke zvýšení stability a ochrany těchto sloučenin před nepříznivými faktory prostředí zpracovatelskými podmínkami, dále ke zvýšení rozpustnosti, nebo dispergovatelnosti hydrofobních sloučenin, dosažení kontrolovaného uvolňování a zlepšení biologické dostupnosti bioaktivních sloučenin během trávení [64, str. 494].

Park a kol. [68] testovali účinnost kvarterních amoniových sloučenin inkorporovaných do PVA nanovláken. Bylo zjištěno, že připravené systémy na bázi PVA a benzyltrimethyl amonium chloridu (BTEAC) vykazovaly antibakteriální i antivirovou aktivitu.

Mnoho studií prokázalo, že esenciální oleje extrahované z různých aromatických rostlin mají antibakteriální, antifungální a insekticidní vlastnosti. Jedná se o dostupné přírodní sloučeniny s nízkým stupněm toxicity, které mohou být navíc efektivně kombinovány s různými polymerními matricemi pro vytváření kompozitních materiálů s výjimečnými antimikrobiálními vlastnostmi [69, str. 1]. Liakos a kol. [69] se zabývali přípravou obvazů na rány na bázi celulózy s přidavkem esenciálních olejů ze skořice, citronové trávy a máty, které byly účinné proti růstu bakterie *Escherichia coli*, a to již při velmi nízkých koncentracích aktivní látky.

Yadav a kol. [70] testovali účinnost esenciálního oleje *Syzygium aromaticum*, který je na bázi zejména eugenolu a kapriolu. Tento éterický olej byl zapouzdřen pomocí techniky elektrostatického zvlákňování do polyakrylonitrilu (PAN). Výsledky prokázaly účinnost vůči grampozitivním (*S. aureus* a *Bacillus subtilis*) a gramnegativním bakteriím (*Klebsiella pneumoniae* a *E. coli*) [71].

V další studii byl esenciální olej z citronové trávy enkapsulován do kompozitů na bázi nanovláken celulózy a PEG. Bylo prokázáno, že připravené kompozity vykazovaly antioxidační a antibakteriální vlastnosti, které mohou být využity v různých průmyslových aplikacích, jako je například balení a skladování potravin [72].

PVB nanovlákná s enkapsulovanými monoacylglyceroly (monokaprin, M10) byla připravena metodou elektrostatického zvlákňování a charakterizována v práci Peer a kol [30]. Výsledné membrány vykazovaly vyšší hydrofilitu s rostoucí koncentrací monokaprinu v PVB. Antibakteriální testy prokázaly, že monokaprin zabudovaný do nanovláknenných membrán významně inhiboval růst bakterií *S. aureus*, zatímco při přímém kontaktu byla pozorována menší aktivita proti *E. coli*.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo:

- připravit polymerní roztoky, filmy a nanovláknenné vrstvy na bázi polyvinyl butyralu bez a s obsahem vybraných aktivních látek,
- sledovat vliv na fyzikálně-chemické charakteristiky a antibakteriální vlastnosti,
- diskutovat dosažené výsledky a shrnout závěry.

7 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE, PŘÍSTROJE A POSTUP

7.1 Chemikálie

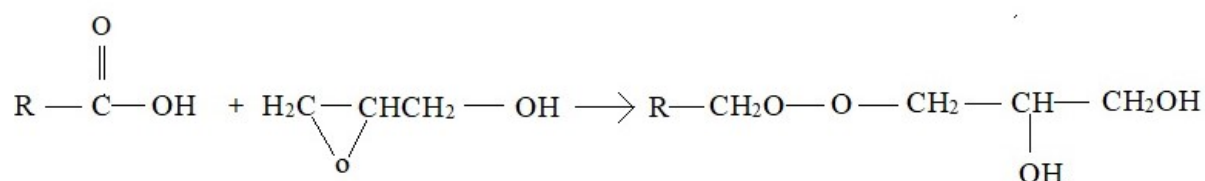
- Kyselina dekanová ($C_{10}H_{20}O_2$), ($M = 172,27 \text{ g/mol}$) Sigma-Aldrich
- Kyselina dodekanová ($C_{12}H_{24}O_2$), ($M = 200,3 \text{ g/mol}$) Sigma-Aldrich
- Glycidol ($C_3H_6O_2$), ($M = 74,08 \text{ g/mol}$), Sigma-Aldrich
- Chromium (III) acetate hydroxide ($(CH_3CO_2)_7Cr_3(OH)_2$) ($M_r = 603,3 \text{ g/mol}$), Sigma-Aldrich
- Absolutní etanol (C_2H_5OH), ($M = 46,07 \text{ g/mol}$, PENTA
- Hydroxid draselný (KOH), ($M = 56,1056 \text{ g/mol}$) IPLUB
- Ftalátový (pH 4) a Fosfátový pufr (pH 7) PENTA
- Fenoftalein
- Xylen (C_8H_{10}), ($M = 106,16 \text{ g/mol}$)
- Mowital® B 60 T by Kuraray PVB, ($C_8H_{14}O_2$)_n ($M = 60\,000 \text{ g/mol}$, $\rho = 270 \text{ g/l}$)
- Thymus Vulgaris Oil, E0069, Nobilis Tilia, Č.ES 284-535-7
- Origanum Vulgare Oil, E0110, Nobilis Tilia, Č.ES 281-670-3
- Cetyltrimethyl amonium bromid ($C_{19}H_{42}BrN$), ($M = 364,45 \text{ g/mol}$), Sigma-Aldrich
- Cetyl pyridinium bromid ($C_{21}H_{38}BrN$), ($M = 384,4 \text{ g/mol}$), Sigma-Aldrich
- Mueller Hinton (MH), HIMEDIA
- Agar Type I, HIMEDIA
- Mikroorganismy (*Staphylococcus aureus subsp. aureus* (CCM 3953),
Escherichia coli (CCM 3954))
- Fyziologický roztok

7.2 Pomůcky a zařízení

- Analytické váhy: Sartorius Basic 110 S
- Magnetické míchadlo s ohřevem: Heidolph - MR Hei-Standard
- Dvouplášťový reaktor s temperací Systec 2540 EL
- Biologický termostat 37 °C Memmert INE 600(Memmert, Schwabach, Německo)
- Büchnerova nálevka
- Kahan
- Biohazard box EUROFLOW, Schoeller Instruments, ČR
- Detektor intenzity rozptylu světla ZETASIZER Nano Series ZS 90 (Malvern Instruments, UK)
- Bateriový pH metr CPH 51 s kombinovanou elektrodou HC 103
- Tenziometr Easy Dyne Krüss K20 (Krüss GmbH, Německo)
- Optický tenziometr Theta Attension (Biolin Scientific, Švédsko)
- Petriho misky, zkumavky, běžné laboratorní sklo
- Automatické pipety a byreta, mikrobiologické kličky

7.3 Příprava monoacylglycerolů

Monoacylglyceroly (MAG) byly připraveny adicí mastné kyseliny (kaprinová, laurová) na glycidol (oxiran-2-yl methanol), kdy dochází k otevření epoxidového kruhu (Obr. 16). Jako katalyzátor byl využit chromium acetate hydroxide. Tato reakce byla vybrána především z důvodu absence vedlejších produktů, které při reakcích vznikají, malého množství katalyzátoru a vysokého stupně konverze [73].



Obrázek 16. Reakce výroby MAG prostřednictvím adice MK na glycidol [Upraveno dle 74]

Do skleněného dvouplášťového reaktoru, bylo naváženo příslušné množství dané kyseliny. Po rozpuštění přidáno navážené množství katalyzátoru. Po 30 minutách bylo pipetováno vypočítané množství glycidolu v poměru 1:1,2. Přídavky jednotlivých reaktantů jsou shrnuty v Tabulce 8. Reaktor byl uzavřen vzduchovým chladičem, reakce probíhala při teplotě 90°C po dobu 3 hodin.

Tabulka 8. Navážky a objemy jednotlivých složek pro přípravu MAG.

	Navážka vzorku [g]	Objem glycidolu [ml]	Navážka katalyzátoru [g]	Molek. hmotnost MK [g/mol]
Kyselina kaprinová	25,1879	11,6	0,1528	172,3
Kyselina laurová	10,0009	4,0	0,0578	200,3

Příklad výpočtu přídatku glycidolu (1:1,2)

$$\frac{m_{\text{laurové}}}{M_{\text{laurové}}} = \frac{m_{\text{glycidol}}}{M_{\text{glycidol}}} = m_{\text{glycidol}} = \frac{m_{\text{laurová}} \cdot M_{\text{glycidol}}}{M_{\text{laurová}}} = \frac{10,0009 \cdot 74,08}{200,3} = 3,70g$$

$$3,70 \cdot 1,2 = 4,44g$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{4,44}{1,117} = 3,97ml$$

Příklad výpočtu hmotnosti katalyzátoru:

$$10,0009 + 4,44 = 14,4409 \text{ g}$$

$$14,4409 \text{ g} \dots\dots\dots 100\%$$

$$\underline{x \text{ g} \dots\dots\dots 0,4 \%}$$

$$x = \underline{0,0578 \text{ g}} \text{ katalyzátoru}$$

Přesná koncentrace hydroxidu draselného (Tabulka 9), byla stanovena tak, že do odměrné baňky se navážila příslušná kyselina, která byla následně rozpuštěna v etanolu (96 %) a doplněna na objem 25ml. Následně probíhala titrace ethanolickým roztokem KOH na fenoftalein.

Příklad výpočtu navážky kyseliny laurové:

$$m = c \cdot M \cdot V = 0,1 \cdot 200,3 \cdot 0,25 = 5,0075g$$

Příklad výpočtu přesné koncentrace KOH:

$$c = \frac{5}{a} \cdot 0,1 \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right] = \frac{5}{5,9} \cdot 0,1 \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right] = 0,0845 \left[\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right]$$

Tabulka 9. Stanovení přesné koncentrace KOH:

	Přesná navážka kyseliny laurové [g]	Průměrná spotřeba KOH [ml]	Přesná koncentrace KOH [mol/l]
Kyselina kaprinová	4,3072	5,93	0,0843
Kyselina laurová	5,3830	5,9	0,0845

Konverze reakce K v % byla stanovena spočítáním parametrů p a C , kdy byl vzorek odebírán v rozmezí 2 až 3 hodin. Jednotlivé parametry a výsledné hodnoty konverze jsou uvedeny v Tabulce 10.

Příklad výpočtu stupně konverze K v %:

$$\%C = \frac{a \cdot c_{\text{KOH}} \cdot M_K}{1000 \cdot m \cdot p} \cdot 100$$

$$\%C = \frac{0,045 \cdot 0,0843 \cdot 172,3}{1000 \cdot 0,0541 \cdot 0,3965} \cdot 100$$

$$\%C = 3,05\%$$

$$p = \frac{m_{\text{navážka kyseliny}}}{m_{\text{celkové množství všech reaktantů}}} = \frac{25,1879}{25,1879 + 0,1528 + 38,1833} = 0,3965$$

$$\text{Konverze} = 100 - 3,05 = 96,95\%$$

Tabulka 10. Přehled jednotlivých veličin pro stanovení výsledné konverze

	<i>t</i> [hod]	<i>m</i> [g]	<i>a</i> [ml]	<i>c</i> [g/mol]	<i>p</i>	<i>C</i> [%]	<i>K</i> [%]
Kaprinová	2	0,0541	0,045	0,0843	0,3965	3,05	96,55
	3	0,0851	0,025			1,08	98,92
Laurová	2	0,0962	0,15	0,0845	0,4082	6,47	93,53
	3	0,1154	0,10			3,59	96,4

Legenda parametrů:

t... doba odběru vzorku z reaktoru

m... skutečná navážka vzorku

a...spotřeba 0,1 mol/l KOH při titraci

c ...přesná koncentrace KOH (viz Tab. 9)

M...molární hmotnost mastné kyseliny

p... poměr mezi skutečnou navážkou kyseliny vstupující do reakce a celkové hmotnosti všech reagujících složek

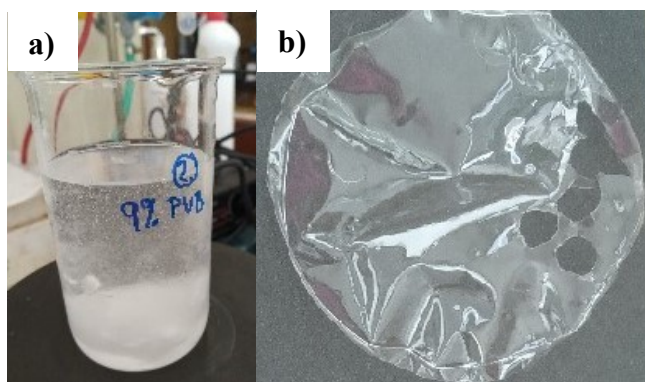
C... procentuální hmotnost MK dle její navážky vstupující do reakce

Po vychlazení byl přidán etanol a směs byla filtrována přes Büchnerovu nálevku. Následně byla provedena rekrystalizace z etanolu za účelem zvýšení výtěžnosti. Takto připravené monoacylglyceroly byly použity pro přípravu roztoků na bázi PVB.

7.4 Příprava PVB roztoků filmů

7.4.1 Příprava PVB filmů

Polymerní filmy byly připraveny metodou odlévání z roztoku. Do kádinky bylo naváženo vypočítané množství PVB (60 T) a následně doplněno etanolem na daný objem tak, aby výsledná koncentrace PVB činila 9 % hm. Směs byla následně míchána na magnetickém míchadle při laboratorní teplotě po dobu 48 hodin při otáčkách 250 ot/min (Obr. 17 a). Po uplynutí stanovené doby bylo cca 20 ml odlito na Petriho misku a sušeno při laboratorní teplotě po dobu 2 dní. Výsledný film PVB byl pevný, neohebný, průhledný a lesklý (Obr. 17 b).



Obrázek 17. Příprava 9 % PVB v etanolu: a) roztok a b) výsledný film [Vlastní zdroj]

Příprava roztoků PVB s aktivními látkami probíhala tak, že bylo naváženo příslušné množství aktivního činidla (esenciální oleje tymián a oregano o koncentraci od 1,5 až 5 % hm.; monokaprin nebo monolaurin o koncentraci (0,1 až 1 % hm.); CPB nebo CTAB o koncentraci 0,5 až 3 % hm.).

Následně bylo přidáno vypočítané množství předem připraveného roztoku PVB v ethanolu a mícháno na magnetickém míchadle při laboratorní teplotě (nejprve 30 min při 250 rpm a pak 45 min při 1000 rpm). Výsledné směsi (cca 20 ml) byly odlity na plastové Petriho misky o průměru 9 mm a sušeny v digestoři při laboratorní teplotě po dobu 24 až 48 hodin.

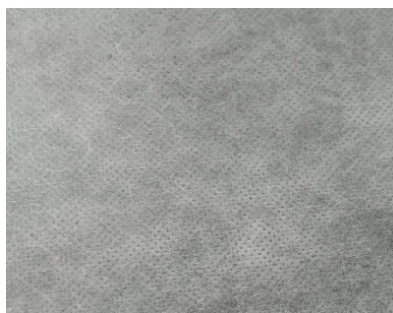
Označení jednotlivých vzorků a koncentrace vybraných aktivních látek jsou uvedeny v Tabulce 11.

Tabulka 11. Navážky PVB v EtOH spolu s aktivní látkou

Označení vzorku	Množství aktivní látky [%hm.]	Typ aktivní látky
kontrola	0	0
1,5 T	1,5	Tymián EO
3 T	3	
5 T	5	
1,5 O	1,5	Oregano EO
3 O	3	
5 O	5	
0,1 M10	0,1	Monokaprin
0,3 M10	0,3	
1 M10	1	
0,1 M12	0,1	Monolaurin
0,3 M12	0,3	
1 M12	1	
0,5 CTAB	0,5	Cetyltrimethyl amonium bromid
1 CTAB	1	
3 CTAB	3	
0,5 CPB	0,5	Cetyl pyridinium bromid
1 CPB	1	
3 CPB	3	

7.4.2 Příprava PVB vláken

Pro přípravu nanovláken byla použita technika elektrostatického zvlákňování na přístroji nanospiderTM (Obr. 19). Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.3, zařízení pro zvlákňování se skládá ze 3 částí, a to z elektrody pro zvlákňování, kolektoru a zdroje vysokého napětí. Pro přípravu nanovláken použitých v tomto experimentu, byla zvolena vzdálenost mezi elektrodou a kolektorem 10 až 20 cm v závislosti na konkrétním vzorku. Proces probíhal při vysokotlakém napětí 20 kV až 25 kV, teplotě $22 \pm 0,5$ °C, za standardního tlaku a vlhkosti 35 %. Jako podklad byla zvolena netkaná viskózová textilie (Obr. 18).



Obrázek 18. Nanovláknenná vrstva PVB na netkané textílii [Vlastní zdroj]

Jednotlivé vzorky byly pomocí tyčinky nakapány (3-5 kapek dle vzorku, éterické oleje až 5 kapek z důvodu silnější vrstvy) na zvlákňovací elektrodu ve trojím opakování. Poté byl přístroj uzavřen a zapnut zdroj elektrostatického napětí, po dobu převedení kapky z elektrody na kolektor, přičemž tento proces probíhal v řádu sekund. Následně byl vypnut zdroj elektrostatické napětí a bylo provedeno uzemnění elektrody. Před aplikací dalšího vzorku byla elektroda (tyčinka) řádně opláchnuta a vyčištěna.



Obrázek 19. Zařízení pro přípravu nanovláken pomocí elektrospinningu [75]

7.5 Charakterizace připravených PVB roztoků

7.5.1 Povrchové napětí

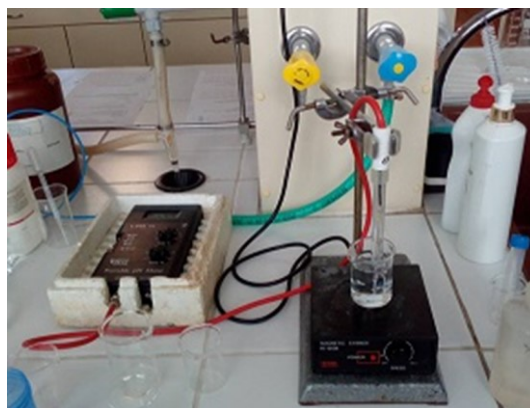
Měření povrchového napětí probíhalo pomocí odtrhávací Wilhelmyho metody při teplotě $25 \pm 0,1$ °C na tenziometru Krüss (Obr. 20). Výsledky jsou průměry ze dvou opakování.



Obrázek 20. Tenziometr pro měření povrchového napětí pomocí (Wilhelmyho metody)

7.5.2 Měření pH

Měření probíhalo na bateriovém pH metru (Obr. 21) po kalibraci na příslušné pufrů.



Obrázek 21. Bateriový pH metr CPH 51 s kombinovanou elektrodou HC 103 [Vlastní zdroj]

7.5.3 Velikost částic a zeta potenciál

Měření velikosti částic a zeta potenciálu probíhalo na zařízení ZETASIZER Nano Series ZS 90 (Obr. 22). Pro ředění vzorků byl použit ethanol, dvakrát přefiltrovaný přes stříkačkový filtr (velikost pórů. 0,45 μ l). Pro stanovení velikosti částic bylo použito ředění 0,5 ml vzorku a 1 ml etanolu do kyvety DTS 0012 a pro zeta potenciál 10 μ l vzorku a 3 ml etanolu do kyvety typu DTS1070. Měření velikosti částic a zeta potenciálu probíhalo při teplotě 25 \pm 0,1 °C. Výsledky jsou průměrem ze tří opakování.

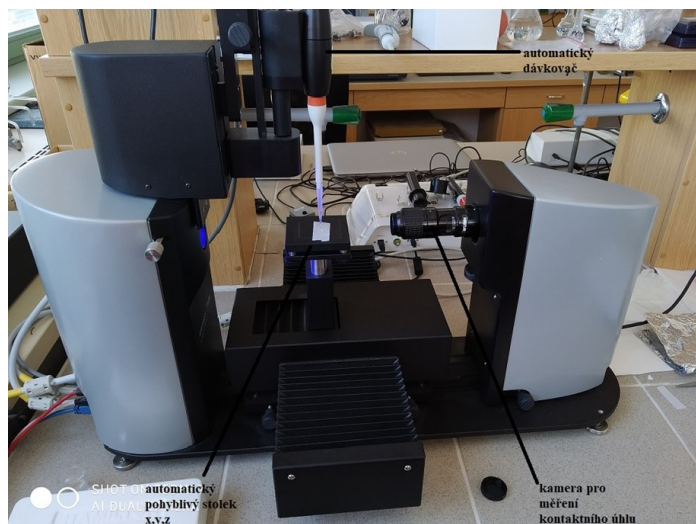


Obrázek 22. Detektor intenzity rozptylu světla ZETASIZER Nano Series ZS 90[Vlastní zdroj]

7.6 Charakterizace připravených filmů a nanovlákněných vrstev

7.6.1 Měření kontaktního úhlu

Měření kontaktního úhlu, bylo prováděno metodou přisedlé kapky, prostřednictvím optického tenziometru Theta Attension (Obr. 23). Přístroj zaznamenává obrazy kapek, a automaticky analyzuje jejich tvar [76].



Obrázek 23. Zařízení pro měření kontaktního úhlu Theta Attension [Vlastní zdroj]

7.6.2 Stanovení antimikrobiální účinnosti připravených filmů a vláken

Antimikrobiální účinky PVB filmů a nanovláknenných vrstev byly testovány prostřednictvím agar difúzní metody s využitím gram pozitivních (*Staphylococcus aureus*) a gram negativních (*Escherichia coli*) bakterií.

7.6.2.1 Příprava živné půdy a fyziologického roztoku

Byly připraveny půdy MH (Mueller Hinton), a to navážením 8,4 g MH, 6g Agar Type I a nakonec doplněním 400 ml destilované vody. Směsi byly sterilovány v autoklávu (120 °C, 60 min). Po částečném ochlazení byly odlity na sterilní plastové Petriho misky (průměr 90 mm).

Fyziologický roztok byl připraven navážením 3,4 g NaCl a doplněním 400 ml destilovanou vodou. Následně proběhla sterilizace v autoklávu, za stejných podmínek jako v případě přípravy MH agaru.

7.6.2.2 Příprava suspenzi testovaných mikroorganismů

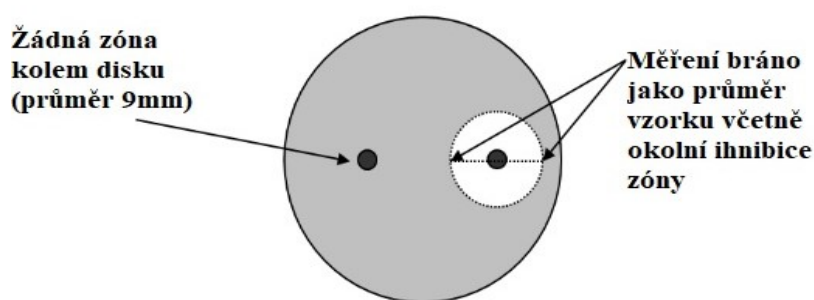
Celá příprava testovaných vzorků na půdách MH probíhala v biohazard boxu (Obr. 24). Do plastových zkumavek bylo pipetováno cca 10 ml fyziologického roztoku, do nichž byly pomocí vyžíhané kličky umístěny vybrané mikroorganismy tak, aby výsledná bakteriální suspenze odpovídala zákalu 0,5 dle McFarlanda.

Takto připravené suspenze inokula byly pipetovány na misky s MH půdou, rozestřeny a po částečném zaschnutí byl na agar umístěn vzorek příslušného filmu, případně vláknenné vrstvy (průměr 9 mm).



Obrázek 24. Příprava bakteriálních suspenzí na agary
[Vlastní zdroj]

Kultivace probíhala v termostatu při teplotě 37 °C po dobu 24 hodin. Po uplynutí této doby byly odečítány inhibiční zóny jako průměry včetně vzorku (Obr. 25).



Obrázek 25. Odečtení inhibiční zóny [77]

7.6.3 SEM analýza vláken filmů

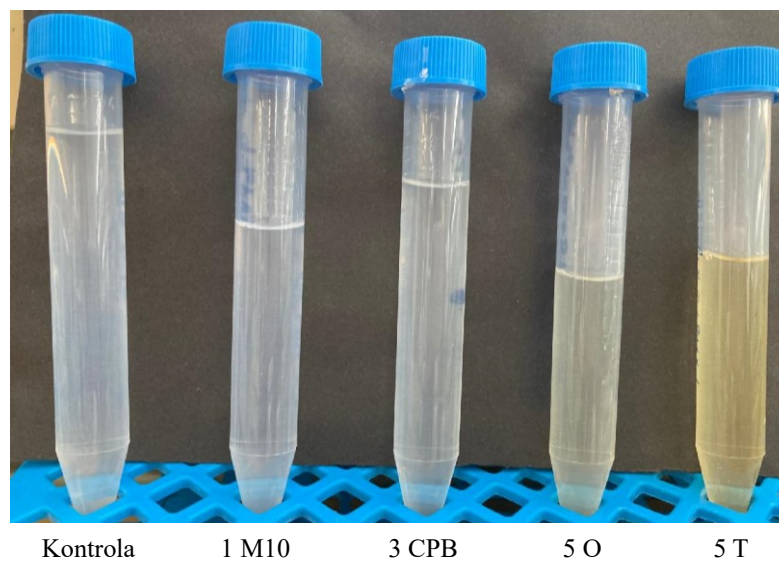
Vzorky filmů a vláken byly analyzovány na Ústavu pro hydrodynamiku AV ČR v Praze pomocí skenovacího elektronového mikroskopu Vege 3 s vysokým rozlišením (Tescam, ČR). Před samotným zobrazením byla na jednotlivé filmy a vlákna nanášena povlaková vodivá vrstva.

8 VÝSLEDKY A DISKUZE

8.1 Charakterizace připravených PVB roztoků

8.1.1 Vizuální hodnocení PVB roztoků

Připravené PVB roztoky bez a s aktivními látkami byly hodnoceny nejprve vizuálně. Na Obr. 26 lze vidět PVB kontrolní roztok, který byl čirý a bezbarvý. K zásadní barevné změně nedošlo ani po inkorporaci aktivních látek KAS, monolaurinu (M12) a monokaprinu (M10). Na druhou stranu, v případě vzorků s EO došlo ke změně barvy na nažloutlou.



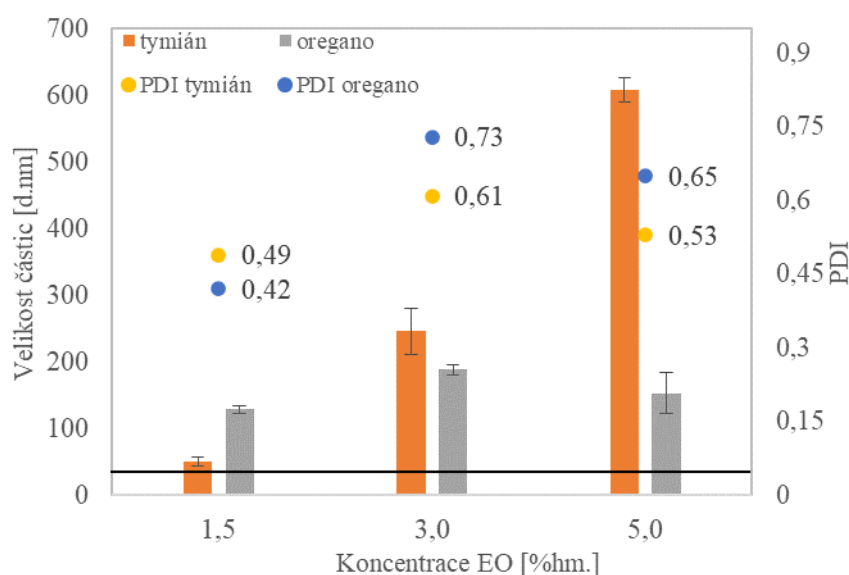
Obrázek 26. Připravené roztoky PVB bez a s aktivními látkami

8.1.2 Velikost částic

Velikost částic a distribuce velikostí patří mezi významné charakteristiky, které mají velký dopad na výsledné fyzikálně-chemické a senzorycké vlastnosti, jako je vzhled, struktura a stabilita systému [78]. Výsledky měření velikosti PVB roztoků a PVB roztoků modifikovaných prostřednictvím vybraných aktivních látek jsou zobrazeny v grafech na Obr. 27 až 29, kde vodorovná čára značí výsledek kontrolního vzorku bez aktivních látek. Je zřejmé, že bez ohledu na typ použité bioaktivní sloučeniny, docházelo s její rostoucí koncentrací i k růstu velikosti částic oproti kontrolnímu vzorku (47 nm).

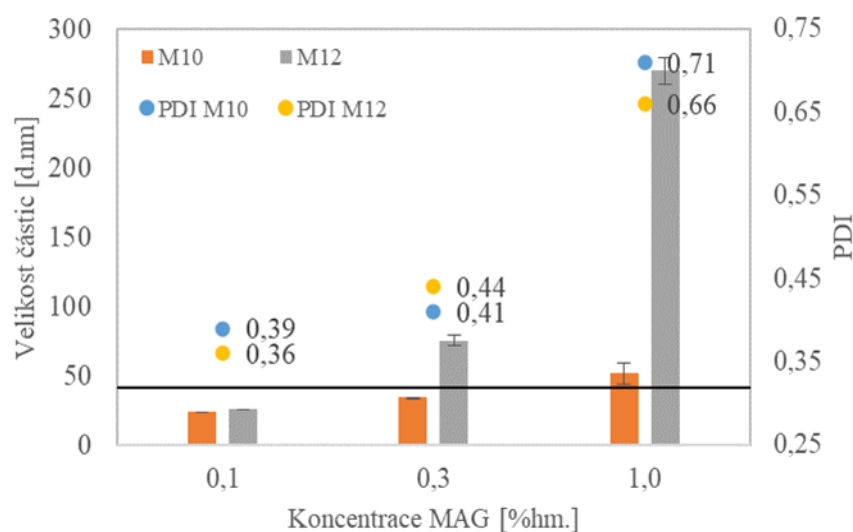
U vzorků s přidavkem EO byl zaznamenán zásadní rozdíl (téměř 75 %) mezi tymiánovým a oreganovým olejem, zejména při nejvyšších koncentracích 5 % hm. (Obr. 27). Vzorek 5 T vykazoval největší částice ze všech testovaných systémů, a to více než 600 nm. Naproti tomu u 5 O velikost částic činila pouze 154 nm.

V rámci studie Bonilla a kol. [78] byly testovány roztoky chitosanu s obsahem EO (bazalka a tymián) připravené dvěma různými metodami. Přestože byl také pozorován zvyšující se průměr částic s vyššími přidavky aktivních látek, bylo také zjištěno, že použitá metoda přípravy má zásadní vliv na tuto charakteristiku. U vzorků připravených pomocí vysokotlaké homogenizace došlo k zásadnímu snížení velikosti částic, v porovnání se systémy připravenými s využitím ultraturaxu. Podobný trend, tedy zvyšování průměrné velikosti částic s obsahem aktivní látky, byl zaznamenán v práci Keawchaon a kol. [79], kteří studovali chitosanové částice s obsahem karvakrolu.



Obrázek 27. Velikost částic PVB roztoků s obsahem esenciálních olejů

Výjimku tvořil systém s obsahem monoacylglycerolů, kdy po přidavku 0,1 % hm., resp. i přidavku 0,3 % hm. M10, došlo ke zmenšení částic na cca 23 až 34 nm (Obr. 28). Tento výsledek řádově odpovídá velikosti částic ze studie Sadiq a kol. [80], kde byl monolaurin z důvodu jeho schopnosti tvořit micelární agregáty aplikován jako nosný materiál pro enkapsulaci nisinu. Je možné, že přídavek tohoto neionického emulgátoru obecně podporuje proces dispergace částic. Na druhou stranu, v případě vzorku 1 M12 došlo k zásadnímu nárůstu o jeden řád (270 nm) (Obr. 28).

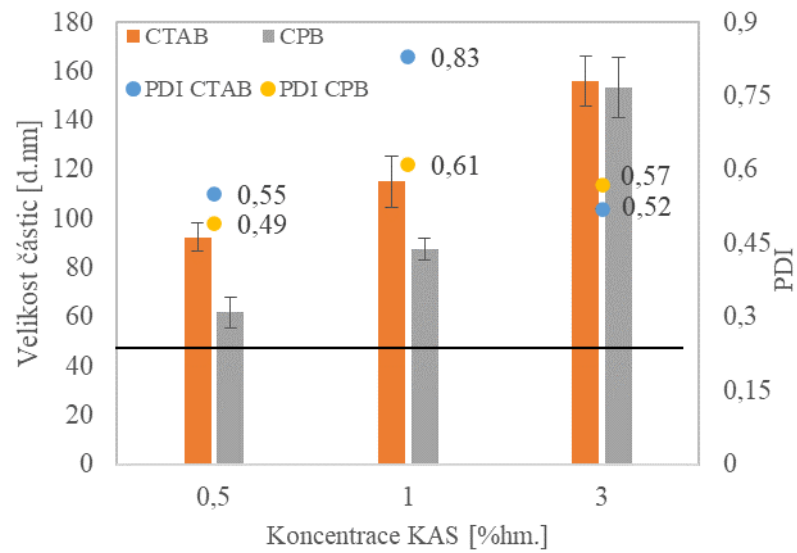


Obrázek 28. Velikost částic PVB roztoků s obsahem MAG

Roztoky PVB s obsahem KAS obsahovaly částice o velikosti v rozmezí od cca 60 do 150 nm, přičemž o něco větší částice (156 nm) byly zaznamenány u vzorků s obsahem CTAB (viz Obr. 29). Povrchové aktivní látky bývají cíleně využívány k regulaci velikosti různých typů polymerních částic, jelikož mohou díky své amfifilní struktuře významně interagovat s jejich povrchem.

V práci Masoudipour a kol. [81], byl sledován vliv různých typů surfaktantů na nanočástice vyrobené z bramborového škrobu. Konkrétně přídavek 0,5 % hm. CTAB způsobil snížení velikosti částice oproti kontrolnímu vzorku. Přídavek 1 a 2 % hm. CTAB měl zanedbatelný vliv. Je zřejmé, že významnou roli hraje typ nosného polymeru, jeho hydrofilita, stejně jako charakter aditiva. V našem případě byla tedy pozorována zvyšující se velikost částic, již po přidavku 0,5 CTAB (93 nm) a CPB (61,85 nm), stejně tomu bylo i při zvyšujících se koncentracích.

Index polydisperzity (PDI) se pohyboval v rozmezí od 0,3 do 0,7, vyšší hodnota 0,8 byla zaznamenána pouze u vzorku PVB s 1 CTAB (Obr. 29).

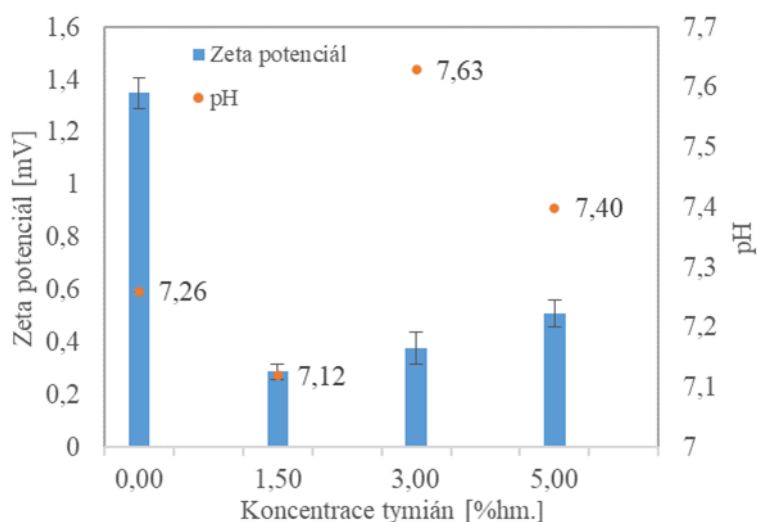


Obrázek 29. Velikost částic PVB roztoků s obsahem kvartérních amoniových sloučenin

8.1.3 Zeta potenciál

Elektrokinetický potenciál je další veličinou, která umožňuje charakterizovat koloidní roztoky. Zeta potenciál se měří na tzv. rovině stírání a vypovídá o podílu elektrostatických interakcí. Systém je považován za stabilní, pokud je zeta potenciál v rozmezí ± 30 mV [82]. Výsledky měření zeta potenciálu, spolu s hodnotami pH jsou uvedeny v grafech na Obr. 30 až 35.

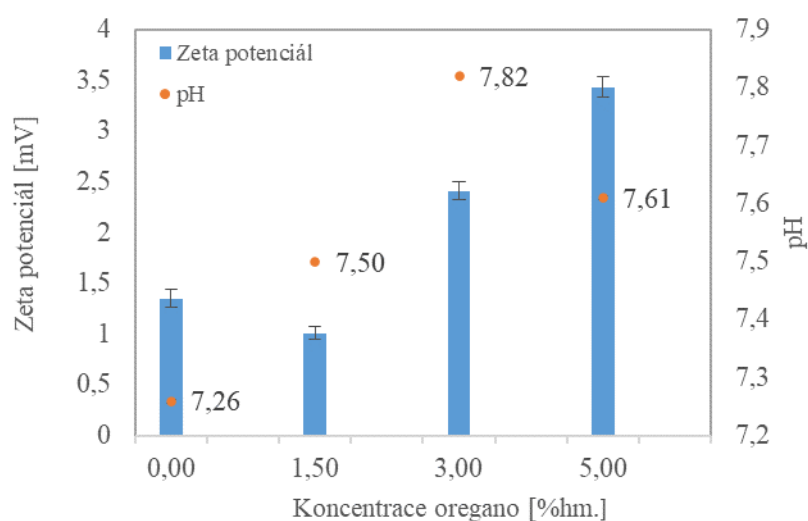
Z naměřených dat je patrné, že na základě hodnot zeta potenciálu, které víceméně kolísají okolo nuly, nelze hovořit o elektrostatické stabilizaci. Náboj PVB kontrolního roztoku bez přidání aktivních látek se pohyboval v mírně kladných hodnotách (+1,35 mV). Inkorporace bioaktivních sloučenin vedla k poklesu zeta potenciálu do slabě záporných hodnot, s výjimkou vzorků s EO, kdy konkrétně z roztoku 5O byla naměřena nejvyšší hodnota (+3,4 mV) (Obr. 31).



Obrázek 30. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem esenciálního oleje tymiánu

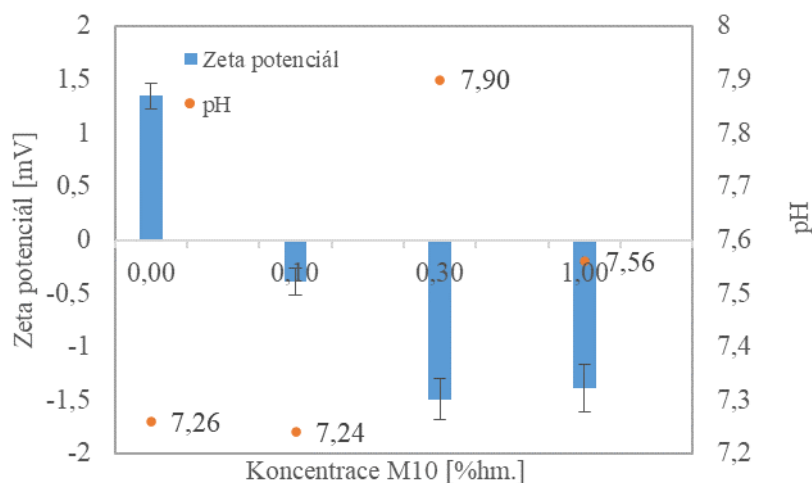
V rámci rešerše nebylo nalezeno dostatek publikací pro srovnání hodnot zeta potenciálu našeho PVB systému, a to ani ve formě roztoku, ani v podobě filmů nebo vláken. Je ale zřejmé, že klíčovou roli bude hrát jak samotný nosný polymer, tak i přidání bioaktivní činidla. Například ve studii Bonilla a kol [78], kde byly zkoumány chitosanové systémy s obsahem EO, byly naměřeny hodnoty zeta potenciálu vzorků s tymiánovým olejem od +40 do cca +60 mV, v závislosti na použité metodě homogenizace. V porovnání s referenčním vzorkem chitosanu (kde byl naměřen zeta potenciál od +64 do +72 mV) došlo, podobně jako u našich

vzorků, k poklesu náboje. V případě tymiánového oleje, byly zjištěny hodnoty zeta potenciálu okolo -10 mV. Tento negativní náboj byl spojen s přítomností disociovatelných sloučenin obsažených v olejích, a s adsorpcí negativních iontů na povrchu kapiček. V našem případě došlo k největšímu snížení oproti kontrole u vzorku 1,5 T (0,79 mV). U roztoku s oreganem došlo nejdříve k mírnému snížení náboje, ovšem při další zvyšující se koncentraci aktivní látky, docházelo k nárůstu pozitivního náboje až na 3,4 mV (vzorek 5 O). pH hodnoty připravených roztoků se pohybovaly v rozmezí od 7,2 do 7,9, jak je patrné z Obr. 30 až 31.

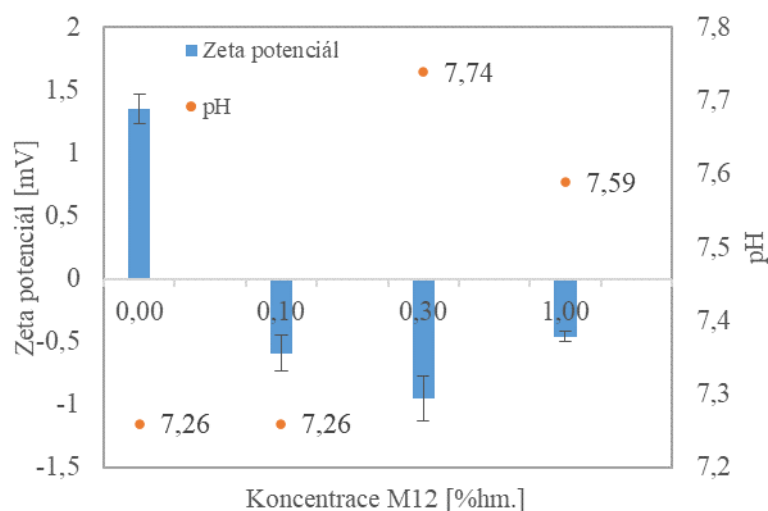


Obrázek 31. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem esenciálního oleje oregano

U roztoků PVB s obsahem monoacylglycerolů (Obr. 32 až 33) docházelo ke snížení náboje do oblasti záporných hodnot (od -0,4 do -1,5 mV) a to již při nejnižších koncentracích (0,1 % hm.). Pokles náboje do negativní oblasti nelze s jistotou objasnit, vzhledem k tomu, že MAG patří mezi neionické sloučeniny, u nichž se žádný významnější vliv na náboj systému neočekává. Ve studii Sadiq a kol. [80] byl zjištěn zásadně anionický charakter částic (-45 mV) monolaurinu, které následně sloužily jako nosiče bioaktivní molekuly nisinu. Je tedy zřejmé, že klíčovou roli bude hrát charakter nosného materiálu, aktivní složky i potenciální interakce s okolním rozpouštědlem. Hodnoty pH se pohybovaly v rozmezí 7,2 až 7,9.



Obrázek 32. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem M10

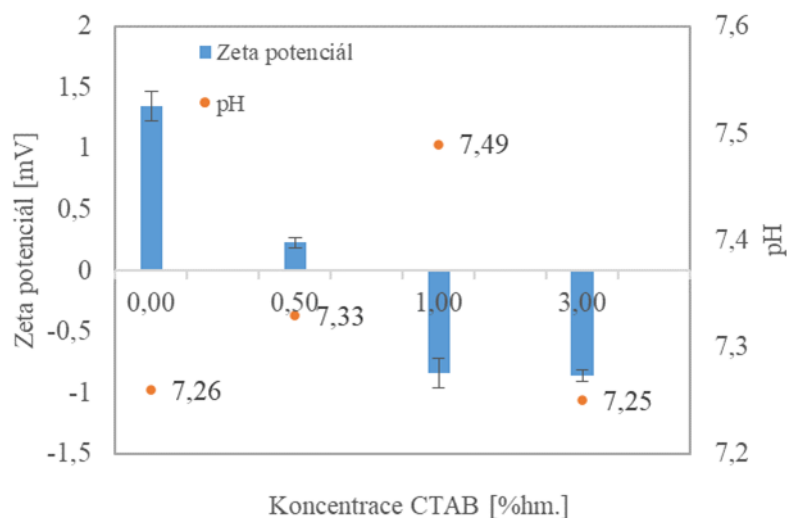


Obrázek 33. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem M12

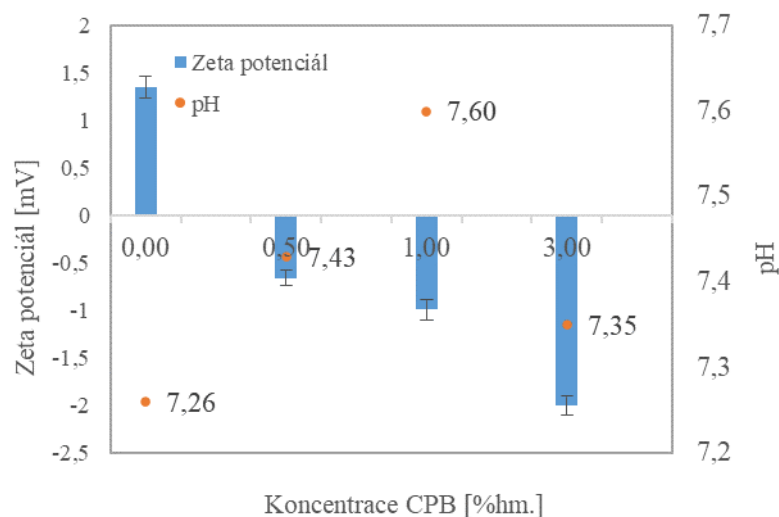
V případě roztoků s obsahem kvartérních amoniových sloučenin (Obr. 34 a 35) došlo (s výjimkou vzorku 0,5 CTAB) také k poklesu náboje oproti referenčnímu vzorku, a to při koncentracích 0,5 CTAB zůstal ještě náboj v kladných hodnotách, avšak rozdíl nábojů oproti kontrolnímu vzorku činil 1,12 mV, naproti tomu 0,5 CPB posunul náboj již do záporných hodnot -0,66 mV. Došlo také k poklesu náboje na -0,86 mV, resp. -2 mV pro 3 % hm. CTAB a CPB. Došlo tedy k opačnému trendu ve srovnání s teoretickým předpokladem, že kladně

nabitě skupiny posunou náboj do spíše pozitivních hodnot. Tento efekt byl například potvrzen ve studii Jianga a kol. [83], kde byl testován vliv kvartérních amoniových solí s různou délkou hydrofobního řetězce na povrchu kaolinu, kdy se zvyšující se koncentrací KAS se zvyšoval i zeta potenciál. Při pH 6,7 byl sledován zásadní nárůst zeta potenciálu z hodnot okolo -10 mV až na hodnoty přesahující +40 mV.

Podobně v práci Masoudipour a kol. [81], docházelo se zvyšující se koncentrací kationického surfaktantu CTAB k částicím na bázi škrobu ke zvýšení zeta potenciálu, a to z -4 mV (v případě referenčního vzorku) na +20 mV (v případě přídavku 2 % hm. surfaktantu).



Obrázek 34. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem kvartérních amoniových sloučenin CTAB



Obrázek 35. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem kvarterních amoniových sloučenin CPB

8.1.4 Povrchové napětí

Povrchové napětí PVB roztoků bylo měřeno pomocí Wilhelmyho destičkové metody. Je známo, že povrchová aktivita polymerních roztoků může ovlivňovat proces elektrostatického zvlákňování.

Tabulka 12. Povrchové napětí pro nejvyšší koncentrace použitých aktivních látek

Aktivní látka	Povrchové napětí [mN/m]
kontrola	$23,2 \pm 0,02$
1 M10	$23,9 \pm 0,07$
1 M12	$24,2 \pm 0,06$
3 CTAB	$23,9 \pm 0,03$
3 CPB	$23,8 \pm 0,03$
5 O	$24,5 \pm 0,04$
5 T	$24,1 \pm 0,03$

Hodnoty povrchového napětí našich vzorků se pohybovaly okolo 23 mN/m, bez ohledu na typ a koncentraci použité aktivní látky. V Tabulce 12 jsou proto uvedeny pouze výsledky roztoků s nejvyšším zastoupením aktivních sloučenin v porovnání s kontrolním vzorkem. Získaná data se příliš neliší od výsledků studie Peer a kol. [84] kde bylo dosaženo podobných hodnot povrchového napětí ($23,19 \pm 0,03$ mN/m), které bylo v případě vzorků PVB v EtOH v rozmezí koncentrací 8 až 10 % hm.

Tyto výsledky mohou být způsobeny faktem, že už samotný ethanol, který byl využit pro rozpouštění PVB, má poměrně nízké povrchové napětí (22.1 ± 0.05 mN/m). Aplikované koncentrace aktivních látek, včetně neionického MAG a kationických kvartérních sloučenin, již pak zásadně hodnoty nesnižovaly. Podobných výsledků bylo dosaženo ve studii China-tangul a kol. [85], kde byly studovány polymerní roztoky na bázi šelaku s monolaurinem.

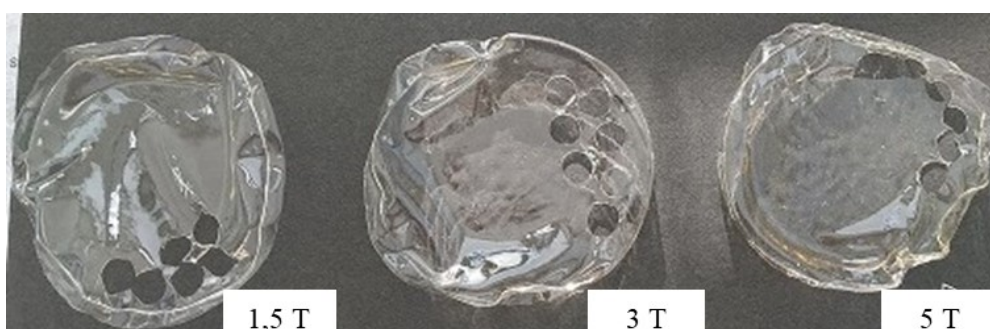
V práci Peer a kol. [30] také nebyly pozorovány zásadní změny povrchového napětí PVB v roztocích s aktivní látkou MAG.

8.2 Charakterizace připravených filmů a nanovláknenných vrstev

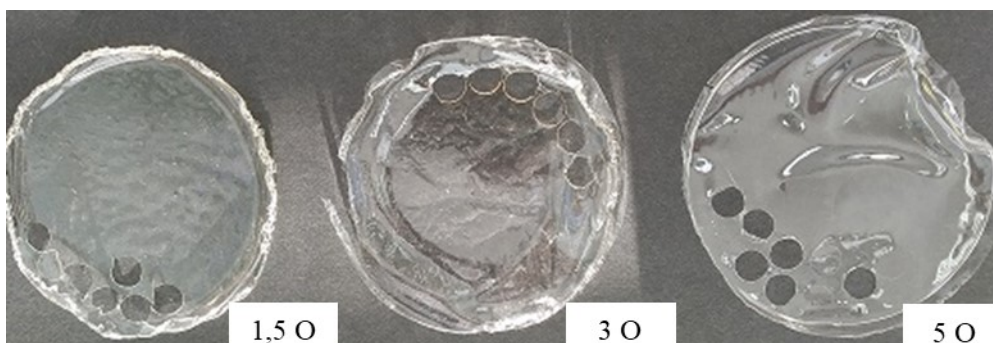
Připravené polymerní roztoky byly následně využity k přípravě filmů a nanovláknenných vrstev a charakterizovány. Výsledky jsou uvedeny v následujících kapitolách.

8.2.1 Vizuální hodnocení PVB filmů

Na Obr. 36 až 41 jsou uvedeny snímky vysušených PVB filmů s různými aktivními látkami. Vzorky s esenciálními oleji měly v porovnání s kontrolou mírně nažloutlý nádech. Toto zjištění je v souladu s barevnou změnou sledovanou u polymerních filmotvorných roztoků (viz Obr. 26).

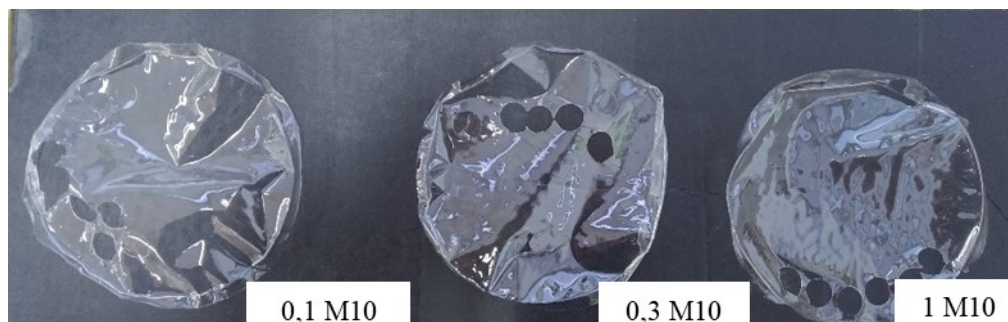


Obrázek 36. PVB filmy s esenciálním olejem tymián

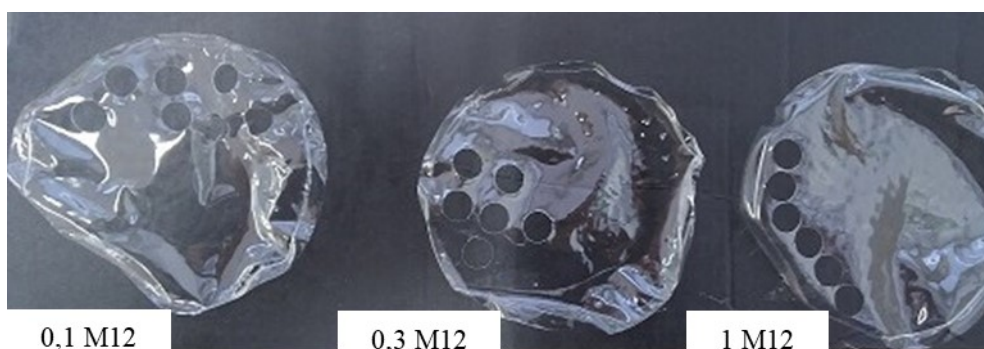


Obrázek 37. PVB filmy s esenciálním olejem oregano

Na druhou stranu vzorky s neionickými povrchově aktivními látkami, monokaprinu (M10) a monolaurinu (M12) (viz Obr. 38 a 39), nevykazovaly žádné zásadní změny v barvě ani charakteru filmů oproti kontrolnímu vzorku (viz Obr. 17).

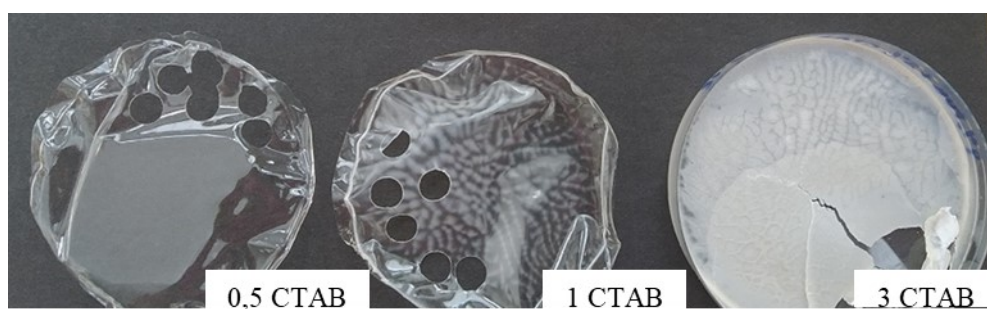


Obrázek 38. PVB filmy s monokaprinem

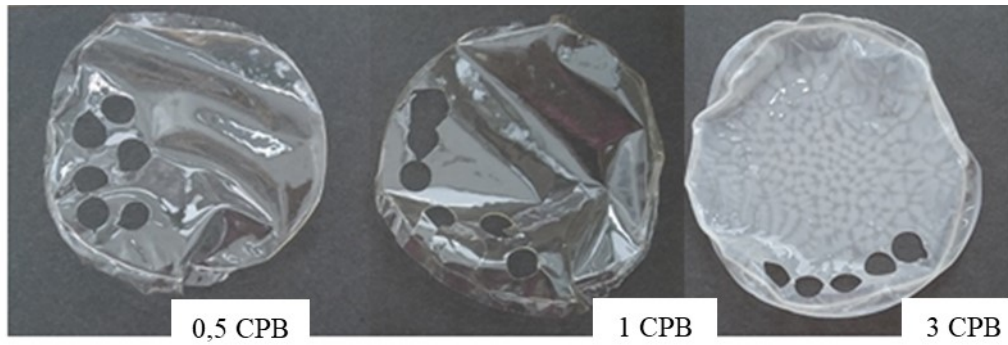


Obrázek 39 PVB filmy s monolaurinem

U vzorků s kvartérními amoniiovými sloučeninami je patrné, že s rostoucí koncentrací bioaktivních sloučenin docházelo ke změně barvy i homogenity filmu. V případě koncentrace 3 % hm. KAS již bylo možno pozorovat horší dispergaci částic v polymerní matrici, filmy byly bílé a neprůsvitné (viz Obr. 40 a 41).



Obrázek 40. PVB filmy s CTAB



Obrázek 41. PVB filmy s CPB

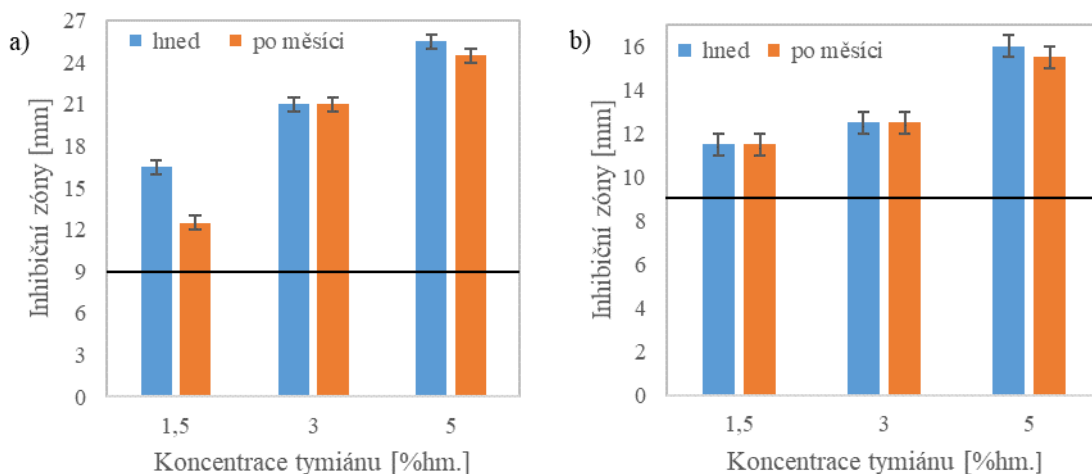
Výsledky vizuálního hodnocení a charakteru připravených filmů jsou shrnuty v Tabulce 13. S rostoucí koncentrací EO docházelo ke změně fyzikálních vlastností, filmy byly pružnější. Filmy s vyšším obsahem KAS byly naopak velmi křehké, což také ztěžovalo průběh odlévání na misky a sejmutí filmů.

Tabulka 13. Vizuální hodnocení filmů

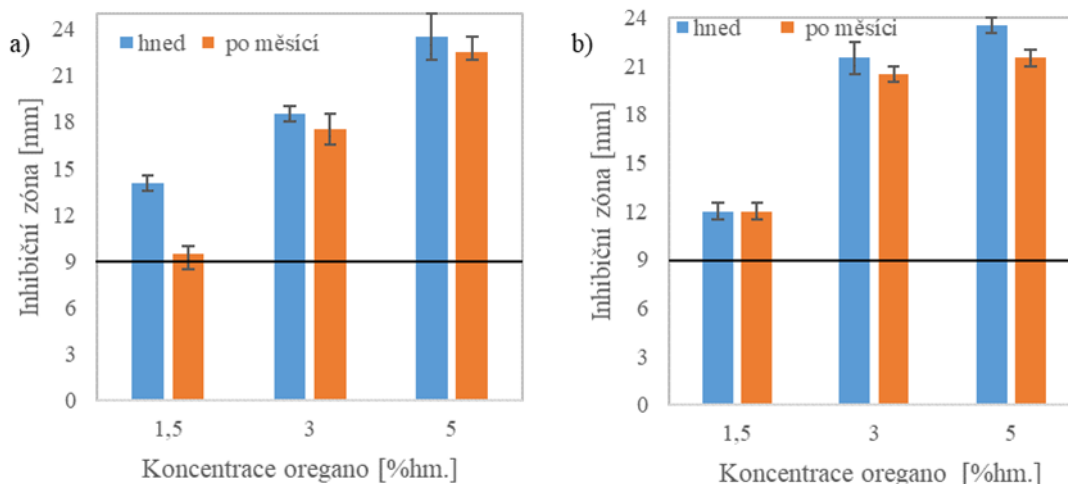
Film	Vzhled	Vlastnosti
Kontrola	Průhledný	Velmi pevný, lesklý
1,5 T	Po okrajích slabě nažloutlý	Pevný, lesklý
3 T	Nažloutlý	Pružný
5 T	Nažloutlý	Velmi pružný, lepkavý
1,5 O	Slabě žlutý	Pevný
3 O	Nažloutlý	Pevný
5 O	Nažloutlý	Pružný, křehký
0,1 M10	Průhledný	Velmi pevný, lesklý
0,3 M10	Průhledný	Pevný, lesklý
1 M10	Průhledný	Pružný, lesklý,
0,1 M12	Průhledný	Velmi pevný, lesklý
0,3 M12	Průhledný	Velmi pevný, lesklý
1 M12	Průhledný	Pevný, lesklý
0,5 CTAB	Průhledný	Pevný, lesklý
1 CTAB	Bílý, mozaika	Velmi tvrdý
3 CTAB	Bílý až slabě žlutý, patrné nehomogenity	Velmi křehký
0,5 CPB	Průhledný	Velmi tvrdý, lesklý
1 CPB	Slabě žlutý	Pevný
3 CPB	Bílý až slabě žlutý, patrné nehomogenity	Pevný, lesklý

8.2.2 Antibakteriální vlastnosti PVB filmů

Antibakteriální vlastnosti byly testovány pomocí agar difúzní metody vůči bakteriím *E. coli* a *S. aureus*. Test byl proveden hned po přípravě a následně zopakován po měsíci skladování (za laboratorní teploty $22^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$). Výsledky v podobě inhibičních zón jsou zobrazeny na Obr. 42 až 47, přičemž vodorovná čára představuje kontrolní vzorek PVB bez přidaných aktivních látek.



Obrázek 42. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem esenciálního oleje tymiánu vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*



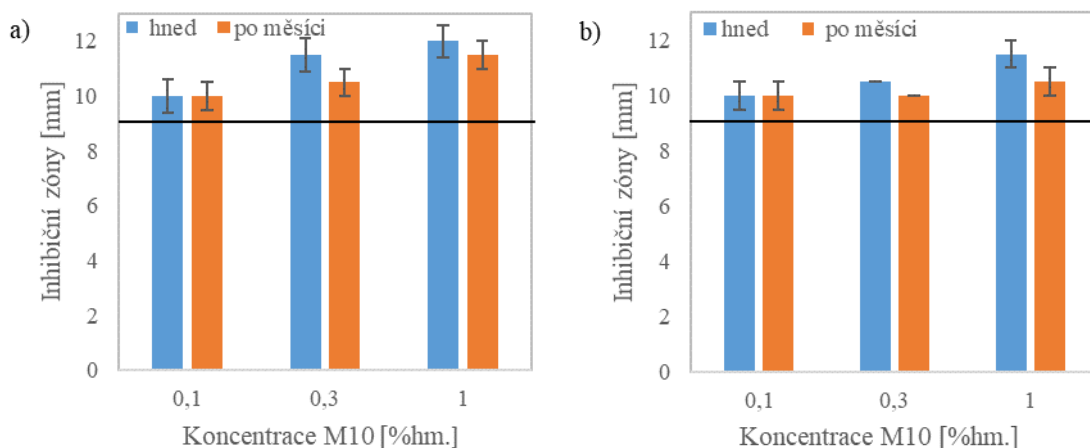
Obrázek 43. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem esenciálního oleje oregana vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*

Z grafů na Obr. 42 a 43 je patrné, že s rostoucí koncentrací esenciálních olejů roste i inhibiční zóna, která dosahuje cca 23 mm u oregana vůči oběma testovaným organismům. V případě tymiánového oleje byl mezi jednotlivými bakteriemi pozorován větší rozdíl, kdy vůči *E. coli*

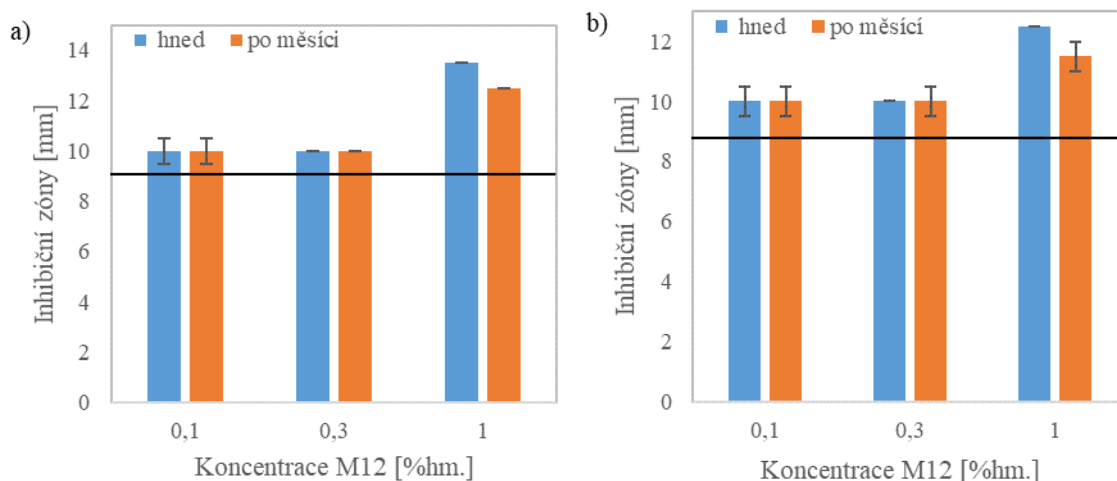
byla naměřena zóna více jak 25 mm, zatímco vůči *S. aureus* byla inhibice nižší (zóna 16 mm). Z výsledků je ovšem zřejmé, že antibakteriální aktivita nebyla zásadně snížena v čase, jak potvrdilo testování po měsíci. Rozdíl v naměřené inhibiční zóně v čase u vzorků s nejvyšší koncentrací EO činil 3 až 4 %, bez ohledu na testovaný organismus. V případě oregana (u filmů s obsahem 5 % hm.) byl rozdíl zaznamenán 8 %.

Esenciální oleje patří mezi obecně známé širokospektrální antimikrobiální látky se srovnatelnou aktivitou proti grampozitivním a gramnegativním bakteriím, anaerobním a aerobním organismům, kvasinkám a houbám. Většina esenciálních olejů vykazuje dobré inhibiční účinky při koncentracích do 5 % hm., přičemž mezi aktivitou a koncentrací existuje přímá úměra. Přesto existují typy mikroorganismů, jako například některé druhy *Pseudomonas*, které jsou vůči působení EO méně citlivé. Důležitými faktory, které ovlivňují antimikrobiální aktivitu EO, jsou také metody získávání olejů, část rostliny, z níž je olej extrahován, lokalita sběru rostlin atd. [33, str. 291]. V našem případě byl prokázán srovnatelný vliv vůči grampozitivní a gramnegativní bakterii u PVB vzorků s oreganem, zatímco tymiánový EO vykazoval vyšší aktivitu vůči *E. coli*.

V poslední době je také zajímavé využití další přírodní aktivní látky, kurkuminu. Její aktivitou v PVB filmu se zabývali Yanchao a kol. [86, str. 679]. Z výsledků je patrné, že kurkumin nejenom zajistil antibakteriální aktivitu, ale také zvýšení termální stability a zlepšení mechanických vlastností.



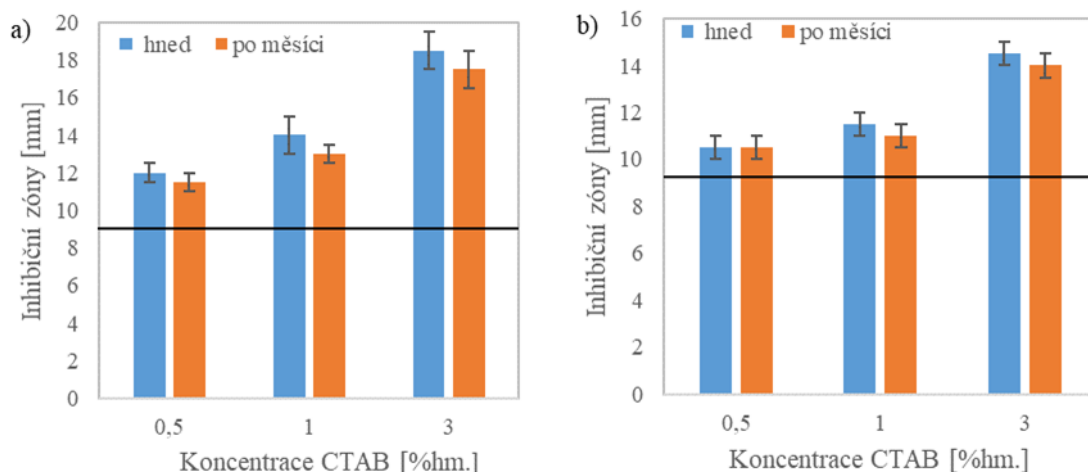
Obrázek 44. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem monokaprinu vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*



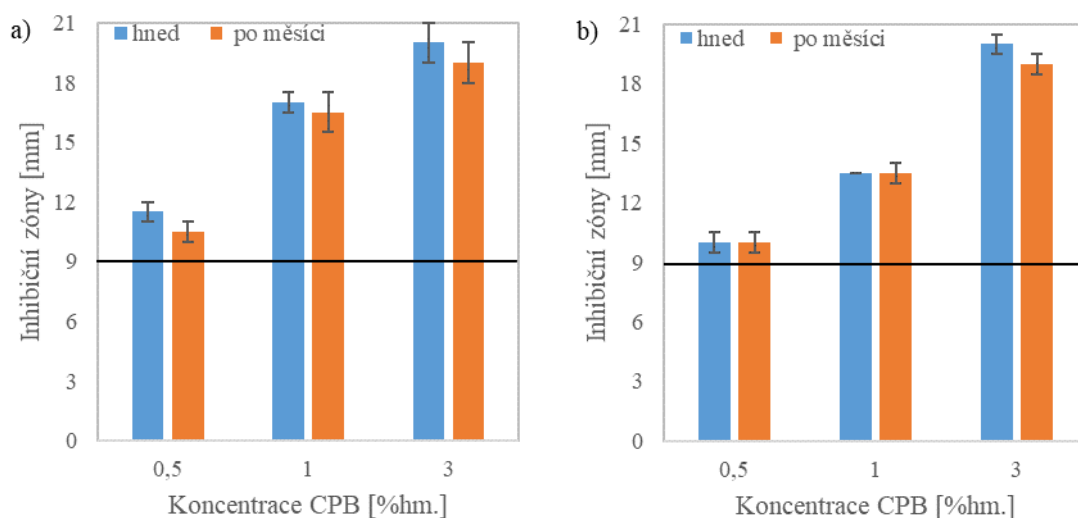
Obrázek 45. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem monolaurinu vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*

V případě PVB filmů s obsahem monokaprinu (M10) (viz Obr. 44) byl pozorován pouze slabý inhibiční účinek, bez ohledu na testovaný mikroorganismus. U vzorků s nejnižší testovanou koncentrací (0,1 M10) nebyla dokonce prokázána téměř žádná inhibiční zóna. Pravděpodobně tedy použité koncentrace nebyly dostačující, nebo se tento typ aktivní látky z připraveného PVB systému za daných podmínek neuvolňoval do prostředí. U vzorků s obsahem monolaurinu (M12) (viz Obr. 45) byla antibakteriální aktivita zaznamenána pouze u nejvyšší aplikované koncentrace (1 % hm.), která proti *E. coli* činila 13,5 mm a u *S. aureus* 12,5 mm. Opět se tedy nabízí otázka, zda by významnější inhibiční účinek zajistil vyšší přírůstek aktivní sloučeniny. Ovšem, cílem bylo srovnat systémy na bázi filmů a vláken a vyšší koncentrace MAG prokázaly negativní vliv na proces zvláknování a přípravy membrán.

Proto byla horní koncentrace tímto způsobem limitována. Lze ale konstatovat, že ani v tomto případě nebyl antibakteriální účinek nijak zásadně snížen po opětovném testování (za měsíc od přípravy). Přestože tedy nedocházelo k zásadní difúzi aktivní látky z PVB matrice, modifikace prostřednictvím MAG by mohla fungovat jako antifoulingová úprava.



Obrázek 46. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem CTAB vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*



Obrázek 47. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem CPB vůči:

a) *E. coli* a b) *S. aureus*

Jako další byly testovány kvartérní amoniové sloučeniny, které jsou známé pro své baktericidní, fungicidní a antivirové účinky. V případě CTAB (Obr. 46) byla zaznamenána inhibiční zóna již u nejnižší přidané koncentrace (0,5 % hm.), a to 12 mm proti *E. coli* a 10,5 mm proti *S. aureus*, přičemž antibakteriální aktivita rostla s vyššími přidávkami aktivní látky. U vyšších

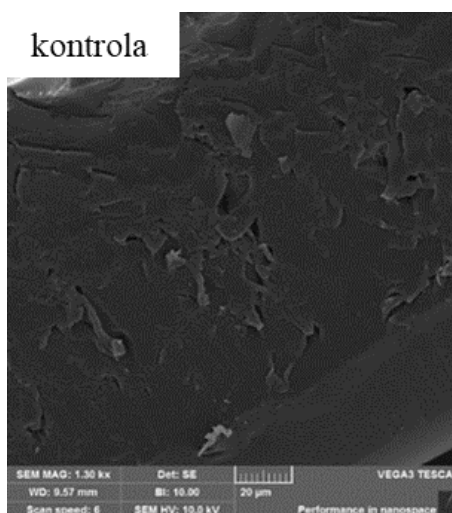
koncentrací (1 a 3 %hm.) byl mezi jednotlivými bakteriemi pozorován větší rozdíl, kdy vůči *E. coli* byla naměřena zóna cca 18,5 mm, zatímco vůči *S. aureus* byla inhibice nižší (zóna 14,5 mm). Z výsledků je ovšem zřejmé, že antibakteriální aktivita nebyla zásadně snížena v čase, jak potvrdilo testování po měsíci. Rozdíl v naměřené inhibiční zóně v čase u vzorků s nejvyšší koncentrací CTAB činil 5,4 % pro *E. coli* a 3,4 % pro *S. aureus*.

Při srovnání obou použitých KAS byla vyšší inhibice zaznamenána u CPB (Obr. 47) při zvyšujících se koncentracích (1 % hm. a 3 % hm.), kdy 1 CPB inhibiční zóna proti *E. coli* byla 17 mm, avšak vůči *S. aureus* pouze 13,5 mm. U nejvyšší testované koncentrace (3 % hm.) byla naměřena zóna cca 20 mm, po měsíci nedošlo k zásadnímu poklesu (zóna 19 mm).

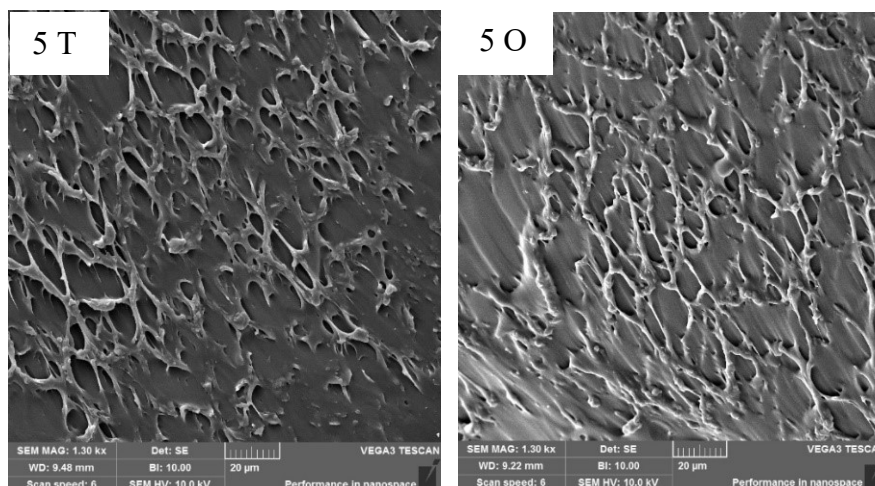
KAS byly využity i ve studii Park a kol. [87], kde byly inkorporovány do PVA nanovláken. Výsledky prokázaly dostatečnou inhibici růstu *S. aureus* a *K. pneumoniae*.

8.2.3 SEM analýza PVB filmů

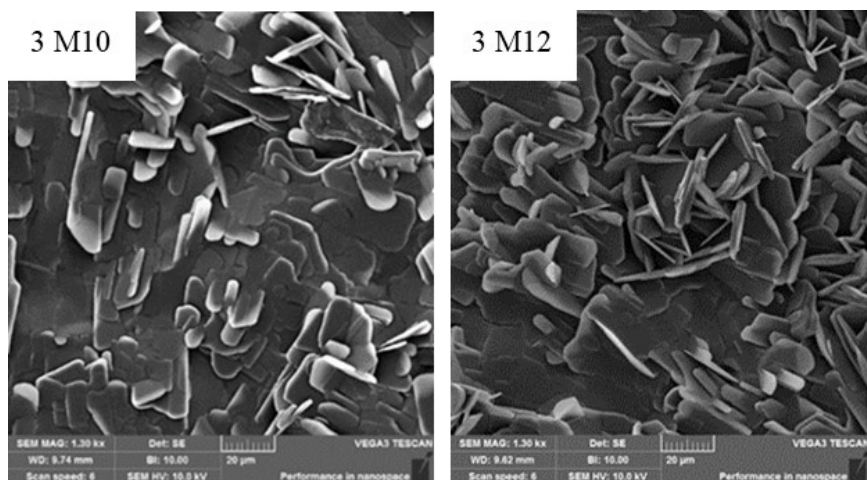
Struktura jednotlivých filmů PVB bez a s obsahem různých aktivních látek byla analyzována pomocí skenovací elektronové mikroskopie. Zatímco kontrolní PVB byl na řezu v podstatě homogenní a kompaktní (Obr. 48), u modifikovaných filmů byly zaznamenány zřetelné strukturální změny (Obr. 49 a 50).



Obrázek 48. SEM řezu PVB kontrolního filmu



Obrázek 49. SEM řezů PVB filmů s obsahem EO



Obrázek 50. SEM řezů PVB filmů s obsahem monoacylglycerolů

Vzorky s EO obsahovaly nehomogenní strukturu v podobě husté sítě, v níž nebyl zachován původní charakter, který lze předpokládat u systémů s oleji (viz Obr. 49). Naproti tomu přidavek monolaurinu (M12) a monokaprinu (M10) vyústil ve tvorbu specifické skládané struktury, tvořené krystaly o průměrné velikosti zhruba 10 µm, což je patrné na Obr. 50.

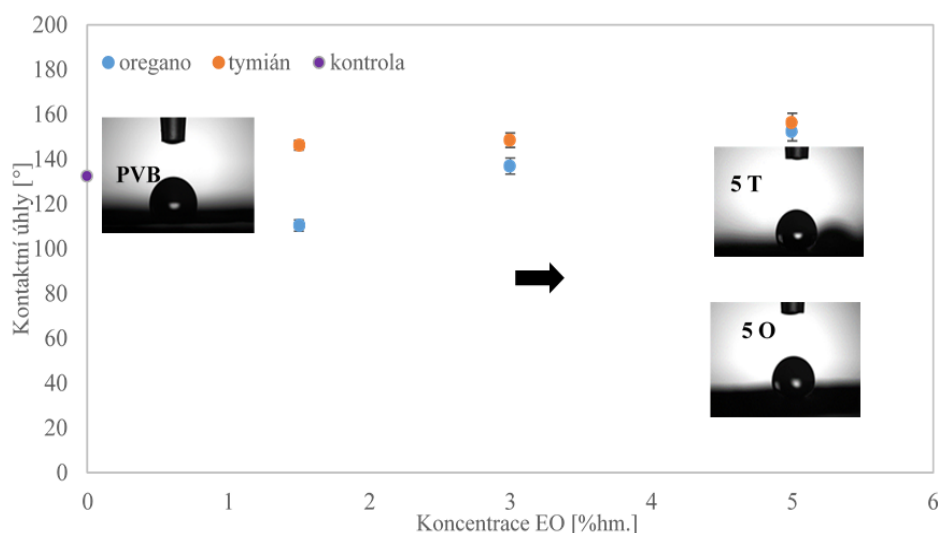
8.2.4 Smáčivost PVB vláken

Smáčivost vzorků byla měřena pomocí metody přisedlé kapky. Pokud je kontaktní úhel menší než 90° , tak se jedná o povrch hydrofilní (dochází ke smáčení povrchu), v případě úhlu nad 90° jde o povrch hydrofobní (nesmáčení povrchu) [88, str. 31].

Výsledky měření kontaktních úhlů nanovláčkových membrán jsou na Obr. 51 až 53. Kontrolní PVB vzorek vykazoval hydrofobní charakter. Hodnota kontaktního úhlu byla 132° , tedy srovnatelná s výsledky studie Peer a kol. [84] kde byl naměřen kontaktní úhel stejného systému (koncentrace PVB v rozmezí 8 až 10 % hm.) okolo 138° .

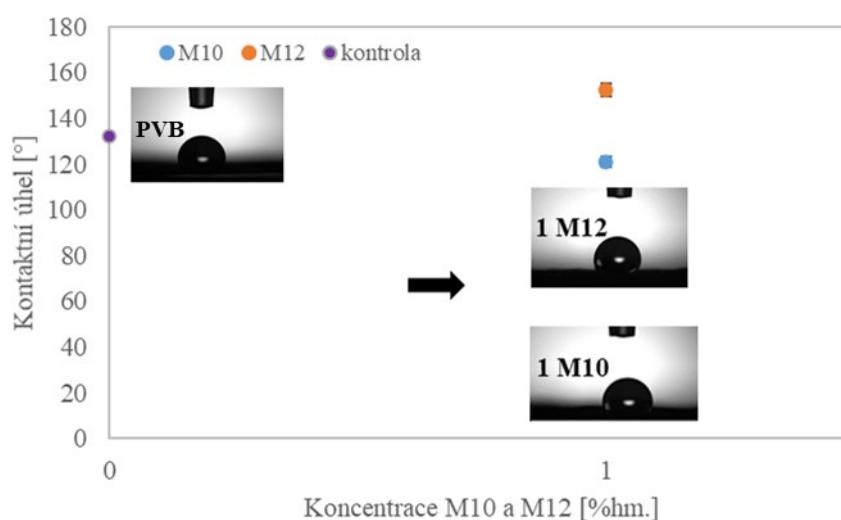
Je patrné, že přídavek EO zvýšil kontaktní úhel, a tedy i hydrofobicitu povrchu, což je dáno pravděpodobně charakterem těchto aromatických sloučenin (viz Obr. 51). V případě vláken s obsahem 5 % hm. EO byly naměřeny kontaktní úhly přes 150° . Takový povrch lze charakterizovat jako superhydrofobní.

Opačný trend byl sledován ve studii Pirozziho a kol. [89], kde sledovali vliv EO oregana ve formě nanoemulze na alginátovém povlaku. Přídavek aktivní nanoemulze do alginátového filmotvorného roztoku významně snížil kontaktní úhel (o 14 % v porovnání s kontrolním vzorkem).



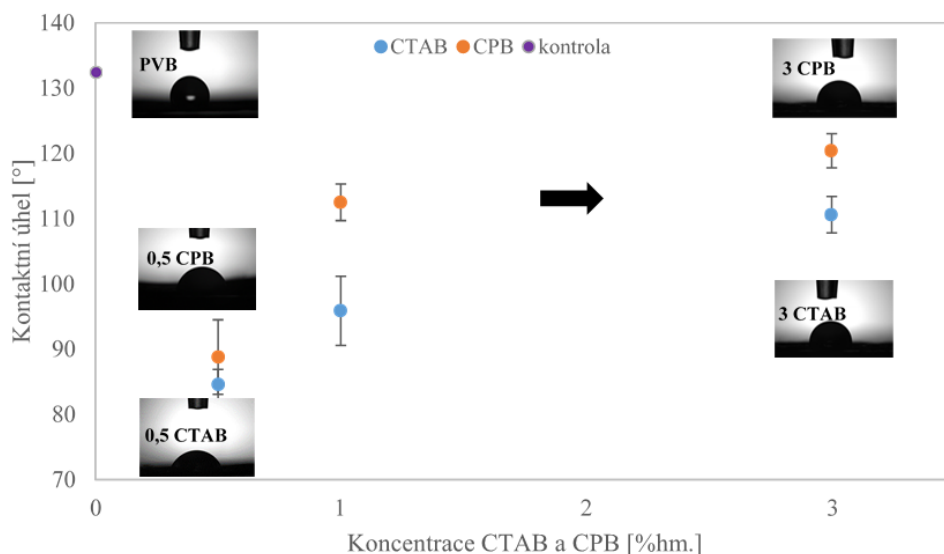
Obrázek 51. Smáčivost PVB vláken s obsahem esenciálních olejů

U vzorků s obsahem monoacylglycerolů byl pozorován zajímavý jev. Zatímco při přidavku nižších koncentrací (0,1 a 0,3 % hm.) došlo po cca 2 sekundách k úplnému rozestření kapky (úhel tedy nebyl měřitelný), u vzorků s vyšší koncentrací MAG (1 % hm.) byl zachován hydrofobní charakter povrchu vláken, v případě monolaurinu dokonce došlo ještě k mírnému nárůstu kontaktního úhlu (na 152°) (Obr. 52). U monokaprinu byl změřen kontaktní úhel 121°, tedy o 17° nižší než kontrolní PVB. Ve studii Peer a kol [30] byly naměřeny podobné vysoké hodnoty kontaktních úhlů v systému PVB s MAG 10 (120 až 150° v závislosti na koncentraci polymeru, která se pohybovala od 8 do 12 % hm.).



Obrázek 52. Smáčivost PVB vláken s obsahem monoacylglycerolů

V případě porovnání kontroly (PVB v EtOH) s PVB modifikovaným kvarterními amoniiovými sloučeninami (CTAB a CPB), lze pozorovat zásadnější snížení kontaktního úhlu (Obr. 53). Přídavek CTAB (již v koncentraci 0,5 % hm.) způsobil pokles kontaktního úhlu pod 90° (rozdíl oproti kontrolnímu vzorku cca 50°) a charakter povrchu se tedy změnil na hydrofilní. U vyšších koncentrací CTAB (1 a 3 % hm.) došlo opět k mírnému zvýšení, ovšem úhel byl stále menší v porovnání s referenčním vzorkem. U vzorků s přidavkem 1 % hm. KAS byl sledován větší rozdíl ve srovnání 1 CPB (113°) a 1 CTAB (96°). Podobný trend byl sledován u vláken s obsahem CPB, kdy v případě 3 % hm. byla naměřena hodnota 120° (Obr. 53), u CTAB byl naměřen kontaktní úhel 111°.



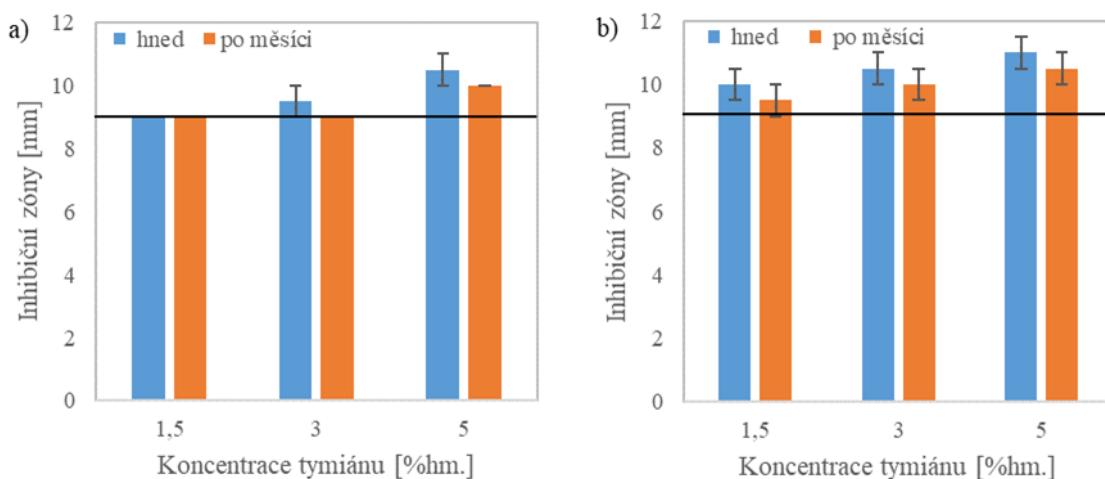
Obrázek 53. Smáčivost PVB vláken s obsahem kvartérních amoniových sloučenin

Vzhledem k hydrofobicitě původního polymeru lze očekávat, že přidavek ionického surfaktantu by mohl vést ke snížení kontaktního úhlu. Tento jev byl pozorován například v práci Vahidi a kol. [90], kteří sledovali účinek CTAB zabudovaného do nanočástic na bázi polypyrolu. Obecně jsou povrchově aktivní látky známé svou schopností zvyšovat smáčivost povrchů. Je ovšem třeba zohlednit konkrétní podmínky, schopnost tvořit micely v daném prostředí, náboj substrátu, potenciální vzájemné interakce mezi polymerem a surfaktantem atd. [91]. S rostoucí koncentrací kationické sloučeniny mohlo dojít k adsorpci k povrchu PVB prostřednictvím její kladně nabitě hydrofilní části, což ve výsledku vedlo k opětovnému růstu kontaktního úhlu, a tedy i hydrofobicity.

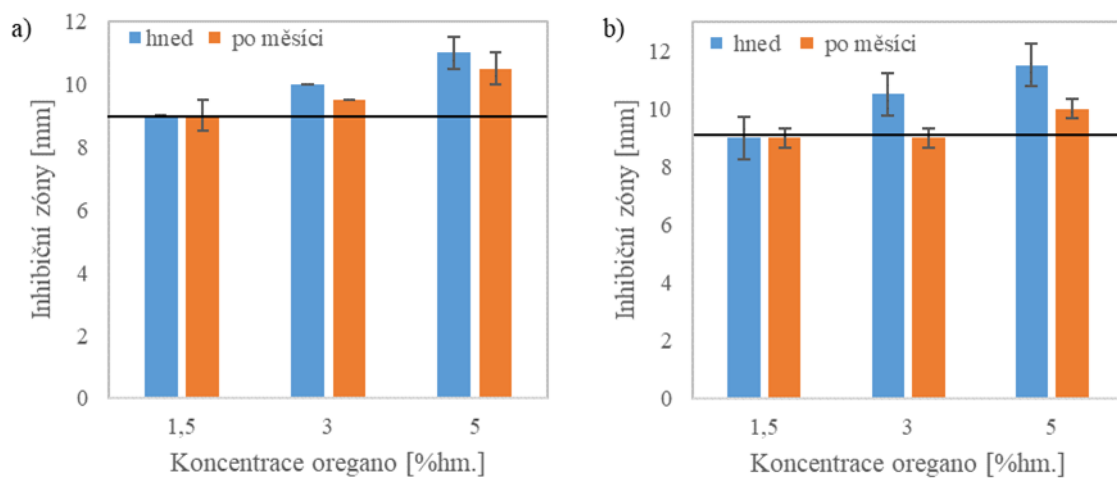
Tento jev byl sledován ve studii Syverud a kol. [92], kteří využili kationickou povrchově aktivní látku (konkrétně CTAB) k povrchové modifikaci celulóзовých fibrilárních filmů. Adsorpci CTAB bylo dosaženo významného zvýšení kontaktního úhlu, čím se zvýšila hydrofobicita povrchu. Wang a kol. [93] studovali vzájemné interakce různých typů PAL a uhlénoho prachu. Jelikož jeho povrch je záporně nabitý, v případě kationické sloučeniny (dodecyl dimethyl benzyl amonium chloridu) došlo k adsorpci prostřednictvím hydrofilní skupiny. V důsledku toho se na povrchu uhlénoho prachu vytvořila vnější hydrofobní adsorpční vrstva a došlo ke změně povrchových vlastností z hydrofilních na hydrofobní.

8.2.5 Antibakteriální vlastnosti PVB vláken

Stejně jako u filmů byly antibakteriální vlastnosti vláken testovány pomocí agar difúzní metody vůči bakteriím *E. coli* a *S. aureus*. Tento test byl opět proveden hned po přípravě a následně zopakován po měsíci skladování (za laboratorní teploty $22^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$). Jednotlivé výsledky jsou uvedeny na Obr. 54 až 59, přičemž vodorovná čára představuje kontrolu.

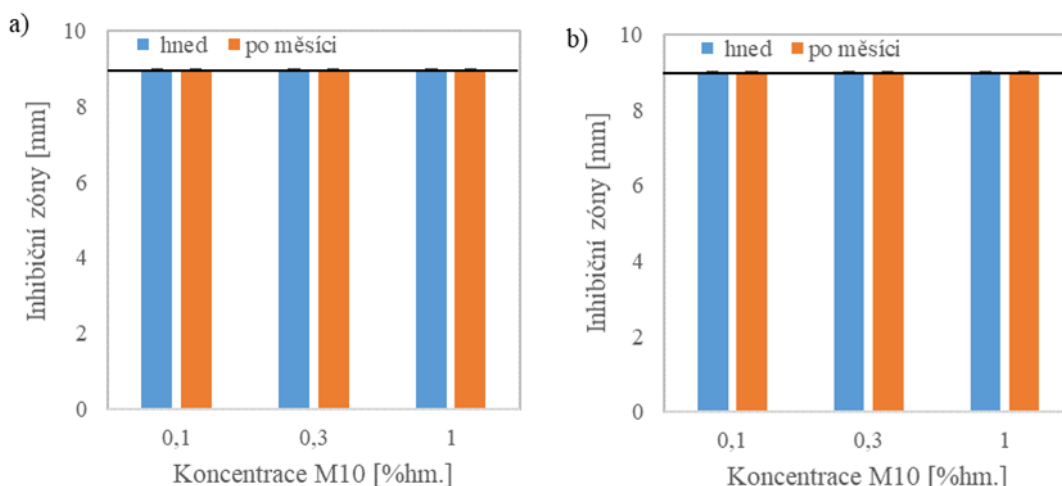


Obrázek 54. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem esenciálního oleje tymiánu vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*



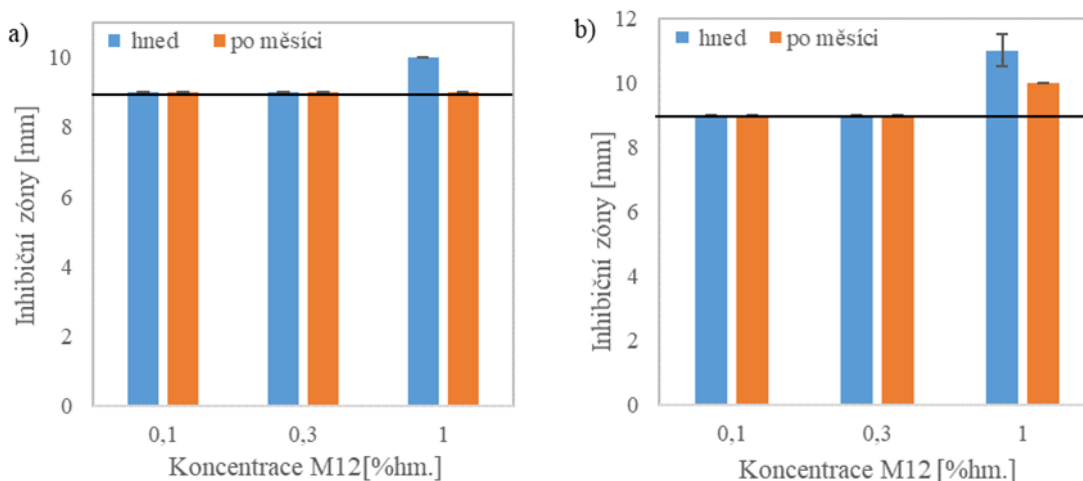
Obrázek 55. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem esenciálního oleje oregana vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*

Na rozdíl od filmů s esenciálními oleji byl u nanovláknenných membrán pozorován slabší antibakteriální účinek (u koncentrace 1,5 % hm. byla aktivita v podstatě zanedbatelná). U membrán s obsahem 5 % hm. byly zaznamenány inhibiční zóny v rozsahu 10,5 až 11,5 mm. (Obr. 54 a 55). Zdá se, že procesem elektrostatického zvláknování došlo k ještě zásadnějšímu uzavření aktivní látky do vláknenné struktury, což znemožnilo její difúzi do prostředí.



Obrázek 56. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem monokaprinu

vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*

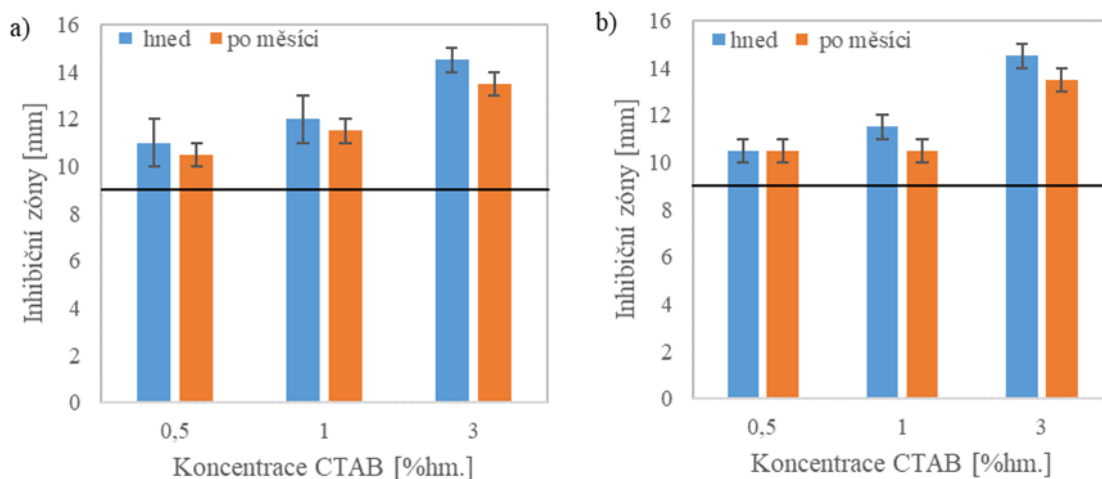


Obrázek 57. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem monolaurinu

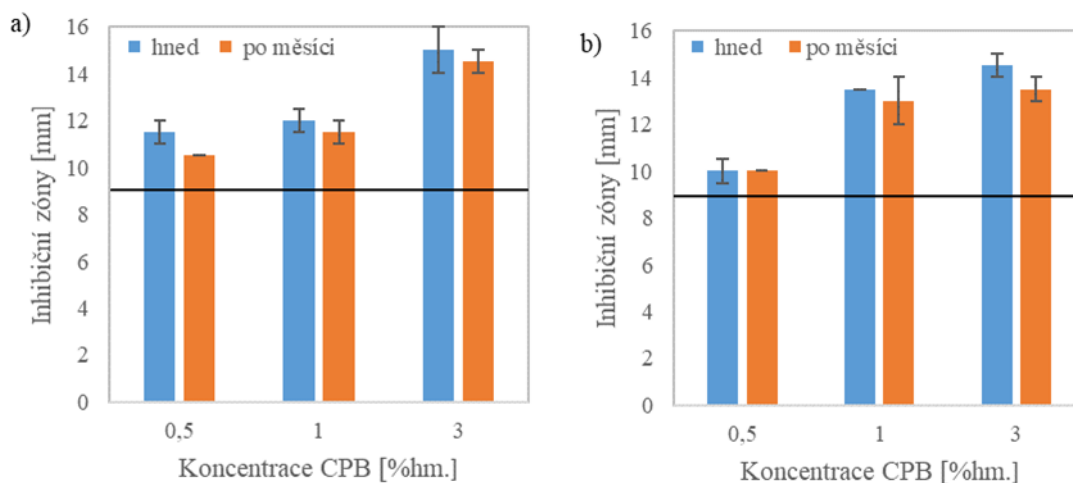
vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*

Jak již bylo zmíněno, nebylo možno vyzkoušet vyšší koncentrace monoacylglycerolů, a to z důvodu negativního vlivu na zpracování technikou elektrostatického zvlákňování. Jak je patrné z grafů na (Obr. 56 a 57), k mírné inhibici docházelo až od 1 % hm., a to pouze u monolaurinu, kdy byla zaznamenána inhibiční zóna 11 mm proti *S. aureus* a 10 mm proti *E. coli*.

Podobně, ve studii Peer a kol. [30], nebyl pozorován zásadní inhibiční efekt monolaurinu (M12) a monokaprinu (M10) v systémech na bázi PVB. Zdá se, že tyto aktivní látky vykazují omezenou difúzi do prostředí, ale mohly by se uplatnit pro přípravu antifoulingových povrchů.



Obrázek 58. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem CTAB
vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*

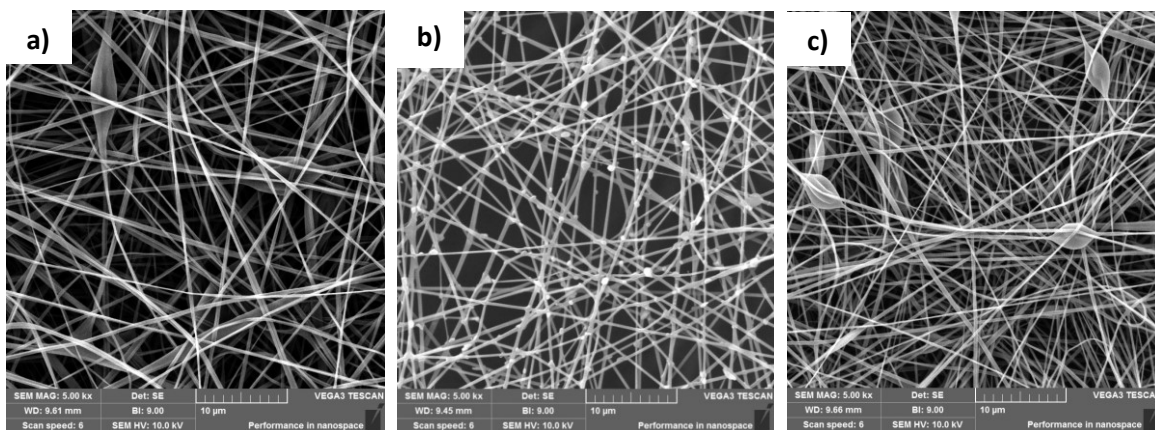


Obrázek 59. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem CPB
vůči: a) *E. coli* a b) *S. aureus*

Nejvyšší antibakteriální efekt prokázala PVB vlákna s obsahem kvartérních amoniových sloučenin, přičemž aktivita se zvyšovala s rostoucí koncentrací KAS (Obr. 58 a 59). Inhibiční zóny bylo v případě nejvyššího přídavku (3 % hm.) okolo 15 mm, a to v případě obou testovaných kvartérních sloučenin. Významným zjištěním bylo, že ani po měsíci nedošlo k zásadnímu poklesu antibakteriálního účinku (rozdíl činil maximálně 7 %).

8.2.6 SEM analýza PVB vláken

Stejně jako u filmů, byly vlákenné membrány analyzovány pomocí SEM mikroskopie (Obr. 60). Je patrné, že vlivem modifikace prostřednictvím aktivní látky, došlo ke změně charakteru vláken. Zatímco v případě přidavku CTAB byly patrné částice antibakteriální látky na povrchu vláken (Obr. 60b), přidavek monolaurinu způsobil deformaci PVB vláken, zřejmě z důvodu inkorporace monoacylglycerolu do vnitřní struktury nosného polymeru (Obr. 60c). Tento jev pak patrně ovlivnil i ztíženou difúzi této aktivní látky do prostředí během antibakteriálního testu (Obr. 57). Podobný trend byl sledován ve studii Peer a kol. [30], kde byly testovány PVB membrány s monokaprinem.



Obrázek 60. Srovnání SEM vláken a) bez a s obsahem aktivních látek b) 0,5 % CTAB, c) 1 % MAG12

ZÁVĚR

Náplní této diplomové práce bylo připravit polymerní roztoky polyvinyl butyralu v ethanolu bez a následně s přísávkami aktivních látek (tymiánu, oregana, monokaprinu, monolaurinu, cetyltrimethyl amonium bromidu a cetyl pyridinium bromidu). Z těchto roztoků byly pak připraveny filmy, pomocí techniky odlévání, anebo nanovláknenné vrstvy, prostřednictvím elektrostatického zvlákňování. U výsledných systémů byly charakterizovány fyzikálně-chemické vlastnosti a antimikrobiální aktivita metodou agar difúzního testu.

Výsledky charakterizace PVB roztoků lze shrnout následujícím způsobem:

- Velikost částic v PVB roztocích se zvyšovala bez ohledu na typ bioaktivní látky. Výjimku představovaly roztoky s obsahem monoacylglycerolů, kdy při nejnižší koncentraci 0,1 %hm. došlo ke snížení velikosti oproti referenčnímu vzorku o téměř 50 %. Naproti tomu velikost částic vzorku s obsahem 1 % hm. dosáhla hodnot 270 nm, což je v podstatě pětinašobek hodnoty kontrolního vzorku (47 nm). Největší nárůst velikosti částic (až na 600nm) byl zaznamenán u PVB roztoku s 5 % hm. tymiánového oleje.
- Při měření zeta potenciálu PVB roztoků nebyla prokázána elektrostatická stabilizace systému, jelikož hodnoty se ve všech případech pohybovaly v podstatě okolo nuly. Byly ale zaznamenány změny náboje v závislosti na typu aplikované aktivní látky. Zatímco v případě esenciálních olejů se hodnoty pohybovaly v kladné oblasti, přísávek monoacylglycerolů způsobil snížení zeta potenciálu. K podobnému jevu došlo u roztoků s KAS (s výjimkou vzorku 0,5 CTAB).
- Tenzometrickým měřením povrchového napětí PVB roztoků s aktivními látkami nebyly zaznamenány výraznější změny v porovnání s referencí (23,2 mN/m), bez ohledu na typ a koncentraci použité aktivní látky.

Výsledky charakterizace PVB filmů lze shrnout následujícím způsobem:

- Vizuálním hodnocením bylo zjištěno, že připravené filmy byly většinou homogenní, pevné, bezbarvé, průhledné a lesklé. Filmy s obsahem EO měly oproti kontrolnímu vzorku nažloutlý nádech. Rozdíly byly sledovány u vzorků s vyšším obsahem KAS, které byly poměrně křehké, značně nehomogenní a neprůsvitné.
- Vzorky PVB filmů s esenciálními oleji prokázaly antimikrobiální účinnost jak proti grampozitivním, tak gramnegativním bakteriím. Tato aktivita nijak zásadně neklesla

ani po opakování testu (po měsíci). Podobný trend, rostoucí inhibiční účinek se zvyšující se koncentrací bioaktivní sloučeniny, byl sledován u filmů s obsahem KAS. Na druhou stranu vzorky s monoacylglyceroly prokázaly slabší antibakteriální aktivitu, a to až od nejvyšší testované koncentrace (1 % hm.). Vyšší koncentrace těchto aktivních látek nebyly testovány, jelikož bylo zjištěno, že nastává problém při zpracování metodou elektrostatického zvlákňování a nebylo by tedy možné srovnat efekt filmů a membrán.

Výsledky charakterizace PVB vláken lze shrnout následujícím způsobem:

- Měřením smáčivosti pomocí metody přisedlé kapky bylo zjištěno, že PVB vlákna bez aktivních látek vykazovala hydrofobní charakter (kontaktní úhel 132°). Inkorporace esenciálních olejů vedla k dalšímu zvýšení (na hodnoty okolo 150°). V případě vzorků s MAG docházelo k zajímavému efektu, kdy při nižších koncentracích docházelo k rozestírání kapky, zatímco při koncentraci 1 % hm. byl sledován vysoký kontaktní úhel (152°). U membrán s obsahem CPB a CTAB bylo pozorováno postupné zvyšování kontaktního úhlu s rostoucí koncentrací aktivních látek (na úhly v rozmezí 110 až 120°).
- Testování antimikrobiálních vlastností vláken neprokázalo významnou antibakteriální aktivitu vůči vybraným mikroorganismům, bez ohledu na typ použité bioaktivní sloučeniny.

Závěrem lze tedy konstatovat, že se podařilo připravit funkční PVB filmy, resp. membrány s různou smáčivostí a antibakteriální aktivitou, v závislosti na typu přidané aktivní látky. Výsledné vzorky by mohly být aplikovány ve formě aktivních obalových materiálů, nebo například při filtračních procesech.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NOVÁKOVÁ, T., ŠVÁB, M., ŠVÁBOVÁ, M. *Využití nanočástic v dekontaminačních technologiích: současný stav*. Chemické listy. 2009, no. 103, p. 524-532. [online]. [cit.20.3.2020]. Dostupný z http://chemicke-listy.cz/docs/full/2009_07_524-532.pdf
- [2] PETRÁŠ D., KIMMER D., SOUKUP K., KLUSOŇ P. Bezpečná nanovlákná [online]. *Chemické listy* 2009, no. 103, p. 1009-1016 [cit. 25.3.2020]. Dostupný z http://ww.w.chemicke-listy.cz/docs/full/2009_12_1009-1016.pdf
- [3] Nanomaterials. *4SPIN*® [online]. Milan, Italy: CONTIPRO, 13-15th October 2020n. 1. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.4spin.info/nanofibers>
- [4] SARAC, A. SEZAI. *Nanofibers of conjugated polymers* [online]. Boca Raton, Florida: CRC Press, [2016] [cit. 2020-08-16]. ISBN 978-131-5364-933. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=GAFP-DAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=ISBN+978-981-4613-52-1&ots=cQdr-HI7KL&sig=85OmZijePyQ8QLDo7AQx9PHJ0Fw&redir_esc=y#v=one-page&q=ISBN%20978-981-4613-52-1&f=false
- [5] Příprava nanostruktur – výroba, Testování a využití v medicíně. In: Aplikace nanotechnologií v medicíně [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2019 [cit. 30.4.2020]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/6722/mod_resource/content/0/P%C5%99%C3%ADprava%20nanostruktur%20%E2%80%93%20v%C3%BDroba%2C%20testov%C3%A1n%C3%AD%20a%20vyu%C5%BEit%C3%AD%20v%20medic%C3%ADn%C4%9B.pdf
- [6] BAČOVSKÁ, R. *Příprava a studium monomerních a polymerních struktur –materiálů budoucnosti*. Brno, 2017. Masarykova Univerzita Přírodovědecká fakulta Ústav Chemie Disertační práce. Masarykova Univerzita Přírodovědecká fakulta Ústav Chemie. Vedoucí práce Prof. RNDr. Jiří Příhoda, CSc
- [7] RAMAKRISHNA, K. et al. *An introduction to electrospinning and nanofibers*, 2005, World Scientific Publishing Co. ISBN: 978-981-256-415-3
- [8] GARG, K. a G. L. BOWLIN. Electrospinning jets and nanofibrous structures. *Bio-microfluidics* [online]. 2011, **5**(1) [cit. 2020-10-12]. ISSN 1932-1058. Dostupné z: doi:10.1063/1.3567097

- [9] Electrospinning technology for nanofiber production. *4SPIN®* [online]. Milan, Italy: CONTIPRO, 13-15th October 2020n. 1. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.4spin.info/technology>
- [10] PEER, P., STENICKA, M., PAVLINEK, V. et al. The storage stability of polyvinylbutyral solutions from an electrospinnability standpoint. *Polymer Degradation and Stability*. 2014, Vol. 105, pp. 134-139 [cit. 2020-10-04]. ISSN 01413910. Dostupné z: doi:10.1016/j.polymdegradstab.2014.04.015
- [11] FATEHI, P. a M. ABBASI. Medicinal plants used in wound dressings made of electrospun nanofibers. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine* [online]. 2020, **14**(11), 1527-1548 [cit. 2021-02-01]. ISSN 1932-6254. Dostupné z: doi:10.1002/term.3119 Dostupné z: <https://onlinelibrary-wiley-com.proxy.k.utb.cz/doi/10.1002/term.3119>
- [12] LUO, C.J., M. NANGREJO a M. EDIRISINGHE. A novel method of selecting solvents for polymer electrospinning. *Polymer* [online]. 2010, **51**(7), 1654-1662 [cit. 2020-10-20]. ISSN 00323861. Dostupné z: doi:10.1016/j.polymer.2010.01.031
- [13] BAJI, A., Yiu-Wing MAI, Shing-Chung WONG, Mojtaba ABTAHI a Pei CHEN. Electrospinning of polymer nanofibers: Effects on oriented morphology, structures and tensile properties. *Composites Science and Technology* [online]. 2010, **70**(5), 703-718 [cit. 2021-01-11]. ISSN 02663538. Dostupné z: doi:10.1016/j.compscitech.2010.01.010. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0266353810000229>
- [14] LIN T., Dr J. FANG. *Energy Harvesting Properties of Electrospun Nanofibers* [online]. 1nd. nevedeno: Institute of Physics Publishing, 2019, s. 1-44 [cit. 2021-02-02]. ISBN 978-0-7503-2005-4. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/book/978-0-7503-2005-4/chapter/bk978-0-7503-2005-4ch1>
- [15] KUNDRÁT, V. *Příprava nanovláken pomocí elektrostatického zvlákňování*. Brno, 2016. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Jiří Pinkas, dostupné z: https://is.muni.cz/th/s37ci/Diplomova_prace_Kundrat.pdf
- [16] ZHANG, W., Z. HE, Y. HAN, Q. JIANG, Ch. ZHAN, K. ZHANG, Z. LI a R. ZHANG. Structural design and environmental applications of electrospun nanofibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [online]. 2020, **137** [cit. 2021-02-20]. ISSN 1359835X. Dostupné z: doi:doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.106009

- [17] POKORNY, M., V. RASSUSHIN, L. WOLFOVA a V. VELEBNY. Increased production of nanofibrous materials by electroblowing from blends of hyaluronic acid and polyethylene oxide. *Polymer Engineering & Science* [online]. 2016, **56**(8), 932-938 [cit. 2021-02-20]. ISSN 00323888. Dostupné z: doi:10.1002/pen.24322
- [18] ALEHOSSEINI, A., B. GHORANI, M. SARABI-JAMAB a N. TUCKER. Principles of electrospraying: A new approach in protection of bioactive compounds in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 2017, **58**(14), 2346-2363 [cit. 2021-02-20]. ISSN 1040-8398. z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2017.1323723>
- [19] WANG, J., J. A. JANSEN a F. YANG. Electrospraying: Possibilities and Challenges of Engineering Carriers for Biomedical Applications—A Mini Review. *Frontiers in Chemistry* [online]. 2019, **7** [cit. 2021-02-20]. ISSN 2296-2646. Dostupné z: doi:10.3389/fchem.2019.00258
- [20] Produkty. *Nanopharma* [online]. Praha 10: Nanopharma, 2015 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.nanopharma.cz/cs/produkty-a-technologie/materialy>
- [21] KRCHOVÁ S a DZAN L., LUKÁŠ D., MIKEŠ P., JENČOVÁ V., HORÁKOVÁ J., PILAŘOVÁ K. Nanovlákná v hojení kožních ran. *Česká dermatovenerologie*. 2014, **4**(4), s. 234–240
- [22] VASITA, R. a D. S KATTI. Nanofibers and their applications in tissue engineering. *International Journal of Nanomedicine* [online]. 2006, **1**(1), 15-30 [cit. 2021-03-13]. ISSN 1176-9114. Dostupné z: doi:10.2147/nano.2006.1.1.15
- [23] YALCINKAYA a KOMAREK. Polyvinyl Butyral (PVB) Nanofiber/Nanoparticle-Covered Yarns for Antibacterial Textile Surfaces. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 2019, **20**(17) [cit. 2021-01-11]. ISSN 1422-0067. Dostupné z: doi:10.3390/ijms20174317
- [24] Mowital® B 60 T. *Omneux plastic materials* [online]. Omneux [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/product/t-kuraray-mowital-b-60-t>
- [25] Polymer Properties Database. *CROW* [online]. NEUVEDENO: Polymer Science, 2018 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://polymerdatabase.com/Films/PVB%20Films.html>

- [26] Mowital® – your global partner for PVB resin. *Kuraray* [online]. Germany: KURARAY EUROPE, neuvedeno [cit. 2021. 04. 26]. Dostupné z: <https://www.kuraray.eu/en/produkte/product-groups/polyvinyl-butyr-al/>, https://www.kuraray.com/uploads/5c4fa65dbe70f/160812_TDS_Mowital_B_EN.pdf
- [27] SHAH, N. Polyvinyl Butyral Resin [online]. [cit. 2021.04.28]. Dostupný na WWW: <http://www.sivachemind.com/polyvinyl-butyr-al-resin-2397382.html>
- [28] QUARANTA, S., M. MISCUGLIO, A. BAYAT a P. SAVI. Morphological and Radio Frequency Characterization of Graphene Composite Films. *C* [online]. 2018, **4**(2) [cit. 2021-04-30]. ISSN 2311-5629. Dostupné z: doi:10.3390/c4020032
- [29] YALCINKAYA, F., B. YALCINKAYA a J. MARYSKA. Preparation and Characterization of Polyvinyl Butyral Nanofibers Containing Silver Nanoparticles. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering* [online]. 2016, **04**(01), 8-12 [cit. 2021-03-11]. ISSN 2327-6045. Dostupné z: doi:10.4236/msce.2016.41002
- [30] PEER, P., J. SEDLAŘÍKOVÁ, M. JANALÍKOVÁ, L. KUČEROVÁ a P. PLEVA. Novel Polyvinyl Butyral/Monoacylglycerol Nanofibrous Membrane with Antifouling Activity. *Materials* [online]. 2020, **13**(17) [cit. 2021-02-03]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma13173662
- [31] CALDERÓN-JIMÉNEZ, B., M. E. JOHNSON, A. R. MONTORO BUSTOS, K. E. MURPHY, M. R. WINCHESTER a J. R. VEGA BAUDRIT. Silver Nanoparticles: Technological Advances, Societal Impacts, and Metrological Challenges. *Frontiers in Chemistry* [online]. 2017, **5** [cit. 2020-08-18]. ISSN 2296-2646. Dostupné z: doi:10.3389/fchem.2017.00006. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2017.00006/full>
- [32] DURÁN, N., M. DURÁN, M. B. DE JESUS, A. B. SEABRA, W. J. FÁVARO a G. NAKAZATO. Silver nanoparticles: A new view on mechanistic aspects on antimicrobial activity. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* [online]. 2016, **12**(3), 789-799 [cit. 2020-04-11]. ISSN 15499634. Dostupné z: doi:10.1016/j.nano.2015.11.016 [online]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1549963415006000?via%3Dihub>
- [33] THORMAR, H. *Lipids and Essential Oils as Antimicrobial Agents*, John Willey Sons, 2011, ISBN: 978-0-470-74178-8

- [34] SEDLAŘÍKOVÁ, J., M. DOLEŽALOVÁ, P. EGNER, J. PAVLAČKOVÁ, J. KREJČÍ, O. RUDOLF a P. PEER. Effect of Oregano and Marjoram Essential Oils on the Physical and Antimicrobial Properties of Chitosan Based Systems. *International Journal of Polymer Science* [online]. 2017, **2017**, 1-12 [cit. 2020-10-18]. ISSN 1687-9422. Dostupné z: doi:10.1155/2017/2593863
- [35] Technický list. *Nobilis Tilia* [online]. Vlčí Hora 147 407 46 Krásná Lípa: Nobilis Tilia, 2003, 23. 5. 2019 [cit. 2020-09-28]. Dostupné z: https://cdn.nobilis.cz/image/original/content/Oregano_E0110.pdf?v=5w5rRT
- [36] Nobilis Tilia s.r.o laboratoře přírodní kosmetiky. Éterické oleje [brožura]. Vlčí hora: Nobilis Tilia rok neuveden [cit. 2020-08-07]
- [37] NOE, M. *Aromaterapie do kapsy: malá encyklopedie éterických olejů*. Praha: One Woman Press, c2014. ISBN 978-80-86356-49-5
- [38] Technický list. *Nobilis Tilia* [online]. Vlčí Hora 147 407 46 Krásná Lípa: Nobilis Tilia, 2003, 7. 6. 2019 [cit. 2020-09-28]. Dostupné z: https://cdn.nobilis.cz/image/original/content/Tymian_thymol_E0069.pdf?v=5w5rRT
- [39] Monoacylglycerols. *Cyberlipid* [online]. Villeurbanne, France: GERLI, neuvedeno [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <http://cyberlipid.gerli.com/lipids/monoacylglycerols/>
- [40] DUNN, R. O. Effects of Monoacylglycerols on the Cold Flow Properties of Biodiesel. *Journal of the American Oil Chemists' Society* [online]. Springer, AOCS, 2012, **40**(89), 1509–1520 [cit. 2021-02-03]. ISSN 0003-021X. Dostupné z: doi:10.1007/s11746-012-2045-7
- [41] Emulsifiers in Food Technology [online]. 2nd. Palsgaard A/S, Palsgaard vej 10, DK-7130 Juelsminde, Denmark: Wiley-Blackwell, 2015 [cit. 2020-10-15]. ISBN 9781118921265. Dostupné z: <https://onlinelibrary-wiley-com.proxy.k.utb.cz/doi/10.1002/9781118921265.ch4>
- [42] ZOLER, U. Handbook of detergents Part E: Applications. Volume 141. New York: CRC Press, 2009. ISBN 978-1-57444-757-6.
- [43] KURTZ, I. a J. SCHIFFMAN. Current and Emerging Approaches to Engineer Antibacterial and Antifouling Electrospun Nanofibers. *Materials* [online]. 2018, **11**(7) [cit. 2021-02-09]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma11071059
- [44] RNDr. KRATOCHVÍL F, DrSc. Cetrimonium bromide. (C 050) Cetrimonium bromid. *Epikutální testy* [online]. Brno: epitesty.cz, 2007–2020 [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: <http://www.epitesty.cz/pasports/C%20050.pdf>

- [45] BURCZYK, F. *Lexikon kosmetiky od A do Z*. 3rd ed. Praha 4: Pragma, 1999. ISBN 978-80-7205-939-4
- [46] Hexadecyltrimethylammonium bromide. In: *MERCK/ Sigma- Aldrich* [online]. Darmstadt, Germany: Merck, © 2021 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/h9151?lang=en@ion=CZ>
- [47] Cetylpyridinium bromide. *DrugBank* [online]. nevedeno: Educe Design & Innovation, nevedeno [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://www.drugbank.ca/salts/DBSALT002695>
- [48] Hexadecylpyridinium Bromide Hydrate. *TCI* [online]. U.S.A.: TCI America, nevedeno [cit. 2020-10-15]. Dostupné z: <https://www.tcichemicals.com/US/en/p/H0162>
- [49] Hexadecylpyridinium bromide. *Goldbio* [online]. St Louis: Goldbio, nevedeno [cit. 2020-10-15]. Dostupné z: <https://www.goldbio.com/product/13239/hexadecylpyridinium-bromide>
- [50] Hexadecylpyridinium bromide. In: *MERCK/ Sigma- Aldrich* [online]. Merck KGaA, Darmstadt, Germany: MERCK/ Sigma- Aldrich, 2015 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/c5881?lang=en@ion=CZ>
- [51] LIU, W., S. THOMOPOULOS a Y. XIA. Electrospun Nanofibers for Regenerative Medicine. *Advanced Healthcare Materials* [online]. 2012, **1**(1), 10-25 [cit. 2020-10-18]. ISSN 21922640. Dostupné z: doi:10.1002/adhm.201100021
- [52] Electrospinning for Medical Applications. *Electrospinning: principles, practice and possibilities*. UK. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, [2015], s. 214-252. RSC polymer chemistry series, 14. ISBN 978-1-84973-556-8
- [53] HUANG, Zheng-Ming, Y.-Z. ZHANG, M. KOTAKI a S. RAMAKRISHNA. A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology* [online]. 2003, **63**(15), 2223-2253 [cit. 2020-10-18]. ISSN 02663538. Dostupné z: doi:10.1016/S0266-3538(03)00178-72003, ISSN 02663538. Dostupné také z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=asGQDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA127&dq=Nanofibers+in+Cosmetics+Yil-maz&ots=p6GHP2ljZG&sig=uNwf4Jo8LhUSV_K122p4PS2G210&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- [54] REZVANI GHOMI, E., S. KHALILI, S. NOURI KHORASANI, R. ESMAEELY NEISIANY a S. RAMAKRISHNA. Wound dressings: Current advances and future directions. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2019, **136**(27) [cit. 2020-01-02]. ISSN 0021-8995. Dostupné z: doi:10.1002/app.47738 Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.47738>
- [55] ZHOU, T., N. WANG, Y. XUE, T. DING, X. LIU, X. MO a J. SUN. Electrospun tilapia collagen nanofibers accelerating wound healing via inducing keratinocytes proliferation and differentiation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* [online]. 2016, **143**, 415-422 [cit. 2020-10-16]. ISSN 09277765. Dostupné z: doi:10.1016/j.colsurfb.2016.03.052
- [56] Biodegradable Bandage Based on Nanofibers. *AZONANO* [online]. Manchester, Sydney: AZONANO, NEUVEDENO, Feb 19 2018 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.azonano.com/news.aspx?newsID=36076>
- [57] N95/ N99 Nanofiber Face Mas. Inovenso [online]. United States, Korea, Turkey: Inovenso, 2008 [cit. 2020-08-18]. Dostupné z: <https://www.inovenso.com/nanofiber-facemask/nanofiber-facemask/>
- [58] TEBYETEKERWA, M., Z. XU, S. YANG a S. RAMAKRISHNA. Electrospun Nanofibers-Based Face Masks. *Advanced Fiber Materials* [online]. 2020, **2**(3), 161-166 [cit. 2021-02-01]. ISSN 2524-7921. Dostupné z: doi:10.1007/s42765-020-00049-5
- [59] RAHMAN *Nanofiber research reaching new heights* [online]. Rijeka, Croatia: INTECH, 2016 [cit. 2020-10-16]. ISBN 978-953-51-2529-7. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/306364768_Nanofiber_Research_-_Reaching_New_Heights
- [60] FATHI-AZARBAYJANI, A., L. QUN, Y. W. CHAN a S. Y. CHAN. Novel Vitamin and Gold-Loaded Nanofiber Facial Mask for Topical Delivery. *AAPS PharmSciTech* [online]. 2010, **11**(3), 1164-1170 [cit. 2020-10-18]. ISSN 1530-9932. Dostupné z: doi:10.1208/s12249-010-9475-z
- [61] Nanofibers. *[n]FibreCare* [online]. Praha 5: ipex Praha, NEUVEDENO [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.ipex-praha.com/nfibrecare/nanofibers/>
- [62] Nanotechnologie. NAFIGATE a.s. [online]. Praha 9: Prosek Point, neuveden [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <http://www.nafigate.com/cs/nanotechnologie> <https://www.nafigate.com/files/ecobranep1a4czprint.pdf>

- [63] Filtrace vody nanotextilií. *Vodoinstalační materiál FV AQUA* [online]. Čelákovice: FV-Plast,a.s, neuvedeno, 15.3.2010 [cit. 2020-08-17]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/6311-filtrace-vody-nanotextilii>
- [64] ZHANG, C., Y. LI, P. WANG a H. ZHANG. Electrospinning of nanofibers: Potentials and perspectives for active food packaging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 2020, **19**(2), 479-502 [cit. 2021-02-01]. ISSN 1541-4337. Dostupné z: doi:10.1111/1541-4337.12536
- [65] KURTZ, I. a J. SCHIFFMAN. Current and Emerging Approaches to Engineer Antibacterial and Antifouling Electrospun Nanofibers. *Materials* [online]. 2018, **11**(7) [cit. 2021-02-09]. ISSN 1996-1944. Dostupné z: doi:10.3390/ma11071059
- [66] NGUYEN, Thi-Hiep, Young-Hee KIM, Ho-Yeon SONG a Byong-Taek LEE. Nano Ag loaded PVA nano-fibrous mats for skin applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* [online]. 2011, **96B**(2), 225-233 [cit. 2021-03-14]. ISSN 15524973. Dostupné z: doi:10.1002/jbm.b.31756
- [67] XU, Z., S. MAHALINGAM, J.L. ROHN, G. REN a M. EDIRISINGHE. Physicochemical and antibacterial characteristics of pressure spun nylon nanofibres embedded with functional silver nanoparticles. *Materials Science and Engineering: C* [online]. 2015, **56**, 195-204 [cit. 2021-03-14]. ISSN 09284931. Dostupné z: doi:10.1016/j.msec.2015.06.003
- [68] PARK, Jeong-Ann a Song-Bae KIM. Preparation and characterization of antimicrobial electrospun poly(vinyl alcohol) nanofibers containing benzyl triethylammonium chloride. *Reactive and Functional Polymers* [online]. 2015, **93**, 30-37 [cit. 2021-03-14]. ISSN 13815148. Dostupné z: doi:10.1016/j.reactfunctpolym.2015.05.008
- [69] LIAKOS, I., L. RIZZELLO, H. HAJALI, V. BRUNETTI, R. CARZINO, P. P. POMPA, A. ATHANASSIOU a E. MELE. Fibrous wound dressings encapsulating essential oils as natural antimicrobial agents. *Journal of Materials Chemistry B* [online]. 2015, **3**(8), 1583-1589 [cit. 2021-03-09]. ISSN 2050-750X. Dostupné z: doi:10.1039/C4TB01974A Dostupné také z: <http://xlink.rsc.org/?DOI=C4TB01974A>
- [70] YADAV, R. a K. BALASUBRAMANIAN. Correction: Polyacrylonitrile/Syzygium aromaticum hierarchical hydrophilic nanocomposite as a carrier for antibacterial drug delivery systems. *RSC Advances* [online]. 2016, **6**(78), 74085-74086 [cit. 2021-03-11]. ISSN 2046-2069. Dostupné z: doi:10.1039/C6RA90064J

- [71] ZHANG, W., S. RONCA a E. MELE. Electrospun Nanofibres Containing Anti-microbial Plant Extracts. *Nanomaterials* [online]. 2017, **7**(2) [cit. 2021-03-13]. ISSN 2079-4991. Dostupné z: doi:10.3390/nano7020042
- [72] MISHRA, D., P. KHARE, D. K. SINGH, S. LUQMAN, P.V. AJAYA KUMAR, A. YADAV, T. DAS a B.K. SAIKIA. Retention of antibacterial and antioxidant properties of lemongrass oil loaded on cellulose nanofibre-poly ethylene glycol composite. *Industrial Crops and Products* [online]. 2018, **114**, 68-80 [cit. 2021-03-13]. ISSN 09266690. Dostupné z: doi:10.1016/j.indcrop.2018.01.077
- [73] Příprava monoacylglycerolů dle Janiše a Kláska: Laboratorní návod. *Zvyšování exkluzivity výuky technologie tuků, kosmetiky a detergentů* [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati Fakulta technologická, neuvedeno [cit. 2020-10-16]. Dostupné z: kosmetika.ft.utb.cz/Services/Downloader.ashx?id=513&disposition=inline
- [74] JANIŠ, R., J. KREJČÍ a A. KLÁSEK. Preparation of 1-monoacylglycerols from glycidol and fatty acids catalyzed by the chromium(III)-fatty acid system. *European Journal of Lipid Science and Technology* [online]. 2000, vol. 102, iss. 5, s. 351-354. [cit. 2021-04-11]. ISSN 1438-7697 [cit. 2020-10-16]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291438-9312%28200005%29102%3A5%3C351%3A%3AAID-EJLT351%3E3.0.CO%3B2-J>
- [75] Zařízení na přípravu nanovláken. In: Centrum polymerních systémů [online]. Univerzita Tomáše Bati Zlín: Centrum polymerních systémů, 2017 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <http://cps.utb.cz/cs/veda-a-vyzkum/pristrojove-vybaveni/vstrikovani/828-zarizeni-na-pripravu-nanovlaken>
- [76] Complete Range of Optical Tensiometers Contact Angle Meters. Västra Frölunda, 2017-03. Dostupné také z: https://dynetesting.com/wp-content/uploads/2017/04/Brochure-Attension_Theta_Optical-Tensiometers.pdf
- [77] KIRBY-Bauer Disk Diffusion Susceptibility Test Protocol. *American Society for Microbiology* [online]. Washington DC: © 2016, 2006 [cit. 2020-10-16]. Dostupné z: <https://asm.org/getattachment/2594ce26-bd44-47f6-8287-0657aa9185ad/Kirby-Bauer-Disk-DiffusionSusceptibility-Test-Protocol-pdf.pdf>

- [78] BONILLA, J., L. ATARÉS, M. VARGAS a A. CHIRALT. Effect of essential oils and homogenization conditions on properties of chitosan-based films. *Food Hydrocolloids* [online]. 2012, **26**(1), 9-16 [cit. 2021-03-18]. ISSN 0268005X. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodhyd.2011.03.015
- [79] KEAWCHAOON, L. a R. YOKSAN. Preparation, characterization and in vitro release study of carvacrol-loaded chitosan nanoparticles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* [online]. 2011, **84**(1), 163-171 [cit. 2021-03-18]. ISSN 09277765. Dostupné z: doi:10.1016/j.colsurfb.2010.12.031
- [80] SADIQ, S., M. IMRAN, H. HABIB, S. SHABBIR, A. IHSAN, Y. ZAFAR a Fauzia Yusuf HAFEEZ. Potential of monolaurin based food-grade nano-micelles loaded with nisin Z for synergistic antimicrobial action against *Staphylococcus aureus*. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2016, **71**, 227-233 [cit. 2021-03-27]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2016.03.045
- [81] MASOUDIPOUR, E., S. KASHANIAN, A. H. AZANDARYANI, K. OMIDFAR a E. BAZYAR. Surfactant effects on the particle size, zeta potential, and stability of starch nanoparticles and their use in a pH-responsive manner. *Cellulose* [online]. 2017, **24**(10), 4217-4234 [cit. 2021-03-27]. ISSN 0969-0239. Dostupné z: doi:10.1007/s10570-017-1426-3
- [82] Sledování nanášení barviva pomocí měření zeta potenciálu. *Chemagazin* [online]. 2010, **XX**(4), 28-29 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: http://www.chemagazin.cz/user-data/chemagazin_2010/file/CHXX_4_c19.pdf
- [83] JIANG, H., G. XIANG, S. KHOSO, J. XIE, K. HUANG a L. XU. Comparative Studies of Quaternary Ammonium Salts on the Aggregation and Dispersion Behavior of Kaolinite and Quartz. *Minerals* [online]. 2019, **9**(8) [cit. 2021-03-27]. ISSN 2075-163X. Dostupné z: doi:10.3390/min9080473
- [84] PEER, P. and CMAROVA, A. and STĚNIČKA, M. Surface Wettability of Polyvinyl Butyral Nanofibrous Membranes. *World Journal of Textile Engineering and Technology* [online]. 2018, **2018**(4), 8-14 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/329737321_Surface_Wettability_of_Polyvinyl_Butyral_Nanofibrous_Membranes

- [85] CHINATANGKUL, N., Ch. LIMMATVAPIRAT, J. NUNTHANID, M. LUANG-TANA-ANAN, P. SRIAMORNSAK a S. LIMMATVAPIRAT. Design and characterization of monolaurin loaded electrospun shellac nanofibers with antimicrobial activity. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences* [online]. 2018, **13**(5), 459-471 [cit. 2021-04-11]. ISSN 18180876. Dostupné z: doi:10.1016/j.ajps.2017.12.006
- [86] QIAO, Y. a L. DUAN. Curcumin-loaded polyvinyl butyral film with antibacterial activity. *E-Polymers* [online]. Poland: De Gruyter, 2001-, 30.10.2019, **20**(1), 673-681 [cit. 2021-02-15]. ISSN 1618-7229. Dostupné z: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/epoly-2020-0042/html>, Str.679
- [87] PARK, Jeong-Ann a Song-Bae KIM. Preparation and characterization of antimicrobial electrospun poly(vinyl alcohol) nanofibers containing benzyl triethylammonium chloride. *Reactive and Functional Polymers* [online]. 2015, **93**, 30-37 [cit. 2021-04-11]. ISSN 13815148. Dostupné z: doi:10.1016/j.reactfunctpolym.2015.05.008
- [88] SEDLAŘÍKOVÁ, J. Chemie a technologie tenzidů II. [online]. [cit. 2021-2-4]. Dostupné také z <http://kosmetika.ft.utb.cz/EntityDisplayTab.aspx?id=5>
- [89] PIROZZI, A., V. DEL GROSSO, G. FERRARI a F. DONSI. Edible Coatings Containing Oregano Essential Oil Nanoemulsion for Improving Postharvest Quality and Shelf Life of Tomatoes. *Foods* [online]. 2020, **9**(11), 1-18 [cit. 2021-03-18]. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods9111605
- [90] VAHIDI, K., Y. J. a SEYED. Modification of surface energy and electrical and thermal properties of spherical polypyrrolenanoparticles synthesized by CTAB for potential application as a conductive ink. *Journal of Theoretical and Applied Physics* [online]. a SpringerOpen Journal, 2013, 28 August 2013, **7**(42), 1-9 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1186/2251-7235-7-42>
- [91] MOFRAD, Shahla Kaabi a Amir Hossein SAEEDI DEHAGHANI. An experimental investigation into enhancing oil recovery using smart water combined with anionic and cationic surfactants in carbonate reservoir. *Energy Reports* [online]. 2020, **6**, 543-549 [cit. 2021-03-27]. ISSN 23524847. Dostupné z: doi:10.1016/j.egy.2020.02.034

- [92] SYVERUD, K., K. KHANARI, G. CHINGA-CARRASCO, Y. YU a P. STENIUS. Films made of cellulose nanofibrils: surface modification by adsorption of a cationic surfactant and characterization by computer-assisted electron microscopy. *Journal of Nanoparticle Research* [online]. 2011, **13**(2), 773-782 [cit. 2021-04-08]. ISSN 1388-0764. Dostupné z: doi:10.1007/s11051-010-0077-1
- [93] WANG, X., S. YUAN a B. JIANG. Wetting Process and Adsorption Mechanism of Surfactant Solutions on Coal Dust Surface. *Journal of Chemistry* [online]. 2019, **2019**, 1-9 [cit. 2021-04-11]. ISSN 2090-9063. Dostupné z: doi:10.1155/2019/9085310

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AgNP	Nanočástice stříbra
CPB	Cetyl pyridinium bromid
CTAB	Cetyl trimethyl amonium bromid
EC	<i>Escherichia coli</i>
EO	Esenciální olej
EOtH	Ethanol
HLB	Hydrofilní lipofilní rovnováha
IUPAC	Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii
KAS	Kvartérní amoniové sloučeniny
KOH	Hydroxid draselný
kW	Kilowatt
MH	Mueller Hinton
MO	Mikroorganismus
MAG	Monoacylglyceroly
MAG10 (M10)	Monokaprin
MAG12 (M12)	Monolaurin
mW	Milivolt
nm	Nanometr
O	Esenciální olej oregano
PDI	Index polydisperzity
PEO	Polyethylenoxid
PG	Polyglycerol
PLA	Kyselina polymléčná
PLGA	Kyselina mléčná-glykolová
PS	Polystyren

PUR	Polyuretan
PVA	Polyvinyl alkohol
PVB	Polyvinyl butyral
SA	<i>Styphylococcus aureus</i>
SEM	Transmisní elektronová mikroskopie
T	Esenciální olej tymián
UV	Ultrafialové záření
w/o	emulze voda v oleji

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1. Vybrané formy nanovláken: a) nanovláčenná vrstva, b) objemová struktura, .</i>	12
<i>Obrázek 2. Způsoby přípravy nanovláken [5]</i>	13
<i>Obrázek 3. Schéma aparatury elektrospinneru [Upraveno dle 10]</i>	15
<i>Obrázek 4. Technika (a) elektorospining (b) elektroblowing (c) elektrospraying [9]</i>	21
<i>Obrázek 5. Nazvlákněné vybrané druhy polymerů [3]</i>	23
<i>Obrázek 6. Struktura a vzhled PVB [27] [28]</i>	24
<i>Obrázek 7. Schéma výroby Ag NPs-polymerních nanovláčenných kompozitů pomocí tyčového elektrostatického zvláknování [Upraveno dle 29]</i>	27
<i>Obrázek 8. Strukturní vzorec monoacylglycerolů [Upraveno dle 40]</i>	30
<i>Obrázek 9. Strukturní vzorec Cetyltrimethyl amonium bromidu [46]</i>	32
<i>Obrázek 10. Strukturní vzorec Cetyl pyridinium bromidu [50]</i>	32
<i>Obrázek 11. Obvazový materiál na bázi nanovláken z</i>	35
<i>Obrázek 12. Aplikace nanovláken pro hojení ran [53]</i>	35
<i>Obrázek 13. Nanoroušky typu N 95/N 99 [57]</i>	37
<i>Obrázek 14. Pleťová maska [n]fibrecare [61]</i>	37
<i>Obrázek 15. a) Kompozitní membrána Ecobrane, b) srovnání s velikostí bakterií a molekul [62]</i>	39
<i>Obrázek 16. Reakce výroby MAG prostřednictvím adice MK na glycidol [Upraveno dle 74]</i>	47
<i>Obrázek 17. Příprava 9 % PVB v etanolu: a) roztok a b) výsledný film [Vlastní zdroj]</i>	51
<i>Obrázek 18. Nanovláčenná vrstva PVB na netkané textilií [Vlastní zdroj]</i>	53
<i>Obrázek 19. Zařízení pro přípravu nanovláken pomocí elektrospiningu [75]</i>	54
<i>Obrázek 20. Tenziometr pro měření povrchového napětí pomocí (Wilhelmyho metody) ...</i>	55
<i>Obrázek 21. Bateriový pH metr CPH 51 s kombinovanou elektrodou HC 103 [Vlastní zdroj]</i>	55
<i>Obrázek 22. Detektor intenzity rozptylu světla ZETASIZER Nano Series ZS 90[Vlastní zdroj]</i>	56
<i>Obrázek 23. Zařízení pro měření kontaktního úhlu Theta Attension [Vlastní zdroj]</i>	57
<i>Obrázek 24. Příprava bakteriálních suspenzí na agary</i>	58
<i>Obrázek 25. Odečtení inhibiční zóny [77]</i>	58
<i>Obrázek 26. Připravené roztoky PVB bez a s aktivními látkami</i>	59
<i>Obrázek 27. Velikost částic PVB roztoků s obsahem esenciálních olejů</i>	60
<i>Obrázek 28. Velikost částic PVB roztoků s obsahem MAG</i>	61
<i>Obrázek 29. Velikost částic PVB roztoků s obsahem kvartérních amoniových sloučenin ..</i>	62
<i>Obrázek 30. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem esenciálního oleje tymiánu</i>	63

<i>Obrázek 31. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem esenciálního oleje oregano.....</i>	<i>64</i>
<i>Obrázek 32. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem M10.....</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 33. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem M12.....</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 34. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem kvartérních amoniových sloučenin CTAB.....</i>	<i>66</i>
<i>Obrázek 35. Zeta potenciál a pH PVB roztoků s obsahem kvarterních amoniových sloučenin CPB.....</i>	<i>67</i>
<i>Obrázek 36. PVB filmy s esenciálním olejem tymián</i>	<i>69</i>
<i>Obrázek 37. PVB filmy s esenciálním olejem oregano</i>	<i>69</i>
<i>Obrázek 38. PVB filmy s monokaprinem</i>	<i>70</i>
<i>Obrázek 39 PVB filmy s monolaurinem.....</i>	<i>70</i>
<i>Obrázek 40. PVB filmy s CTAB</i>	<i>70</i>
<i>Obrázek 41. PVB filmy s CPB</i>	<i>71</i>
<i>Obrázek 42. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem esenciálního oleje tymián vůči: a) E. coli a b) S. aureus</i>	<i>73</i>
<i>Obrázek 43. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem esenciálního oleje oregana vůči: a) E. coli a b) S. aureus</i>	<i>73</i>
<i>Obrázek 44. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem monokaprinu.....</i>	<i>75</i>
<i>Obrázek 45. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem monolaurinu</i>	<i>75</i>
<i>Obrázek 46. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem CTAB</i>	<i>76</i>
<i>Obrázek 47. Antibakteriální účinky PVB filmů s obsahem CPB vůči:</i>	<i>76</i>
<i>Obrázek 48. SEM řezu PVB kontrolního filmu</i>	<i>77</i>
<i>Obrázek 49. SEM řezů PVB filmů s obsahem EO.....</i>	<i>78</i>
<i>Obrázek 50. SEM řezů PVB filmů s obsahem monoacylglycerolů</i>	<i>78</i>
<i>Obrázek 51. Smáčivost PVB vláken s obsahem esenciálních olejů</i>	<i>79</i>
<i>Obrázek 52. Smáčivost PVB vláken s obsahem monoacylglycerolů</i>	<i>80</i>
<i>Obrázek 53. Smáčivost PVB vláken s obsahem kvartérních amoniových sloučenin</i>	<i>81</i>
<i>Obrázek 54. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem esenciálního oleje tymián vůči: a) E. coli a b) S. aureus</i>	<i>82</i>
<i>Obrázek 55. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem esenciálního oleje oregana vůči: a) E. coli a b) S. aureus</i>	<i>82</i>
<i>Obrázek 56. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem monokaprinu</i>	<i>83</i>
<i>Obrázek 57. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem monolaurinu</i>	<i>83</i>
<i>Obrázek 58. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem CTAB</i>	<i>84</i>
<i>Obrázek 59. Antibakteriální účinky PVB vláken s obsahem CPB</i>	<i>84</i>
<i>Obrázek 60. Srovnání SEM vláken a) bez a s obsahem aktivních látek b) 0,5 % CTAB,</i>	<i>85</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1. Parametry ovlivňující elektrostatické zvlákňování [16, str. 3].....</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 2. Přehled jednotlivých materiálů pro výrobu nanovláken [20][21] [22, str. 20] 23</i>	<i>23</i>
<i>Tabulka 3. Využití nanostříbra v různých oblastech průmyslu [Upraveno dle 31].....</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 4. Fyzikální vlastnosti oreganového esenciálního oleje [35]</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 5. Chemické složení oreganového esenciálního oleje [35]</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 6. Fyzikální vlastnosti tymiánového esenciálního oleje [38].....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka 7. Chemické složení tymiánového esenciálního oleje [38]</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 8. Navážky a objemy jednotlivých složek pro přípravu MAG.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 9. Stanovení přesné koncentrace KOH:.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 10. Přehled jednotlivých veličin pro stanovení výsledné konverze.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 11. Navážky PVB v EtOH spolu s aktivní látkou</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 12. Povrchové napětí pro nejvyšší koncentrace použitých aktivních látek.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabulka 13. Vizuální hodnocení filmů</i>	<i>72</i>

