

# **Antibakteriální vlastnosti obalových materiálů v potravinářství**

Ing. Kateřina Sulovská

---

Diplomová práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav chemie  
akademický rok: 2010/2011

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ing. Kateřina SULOVSÁ**  
Osobní číslo: **T10667**  
Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Řízení technologických rizik**

Téma práce: **Antibakteriální vlastnosti obalových materiálů v potravinářství**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši na zadané téma.
2. Provedte povrchovou úpravu obalových materiálů a následné navázání antibakteriálních látek.
3. Porovnejte antibakteriální vlastnosti připravených obalových materiálů.
4. V experimentální části popište použité metody charakterizace a metodické postupy.
5. Výsledky měření shrňte v kapitole "závěr".
6. Citujte použitou literaturu dle požadavků na vypracování diplomové práce.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] Asadinezhad A., Novák I., Lehocký M., Sedlařík V., Vesel A., Junkar I., Sáha P. and Chodák I.: A Physicochemical Approach to Render Antibacterial Surfaces on Plasma-Treated Medical-Grade PVC: Irganon Coating, Plasma Processes and Polymers, 7 (2010) 504-514.

[2] Asadinezhad A., Novák I., Lehocký M., Sedlařík V., Vesel A., Junkar I., Sáha P. and Chodák I.: An in vitro Bacterial Adhesion Assessment of Surface-Modified Medical-Grade PVC, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 77 (2010) 246-256.

[3] Asadinezhad A., Novák I., Lehocký M., Bílek F., Vesel A., Junkar I., Sáha P. and Popelka A.: Polysaccharides Coatings on Medical-Grade PVC: A Probe into Surface Characteristics and the Extent of Bacterial Adhesion, Molecules, 15 (2010) 1007-1027.

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Marián Lehocký, Ph.D.**

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**14. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce:

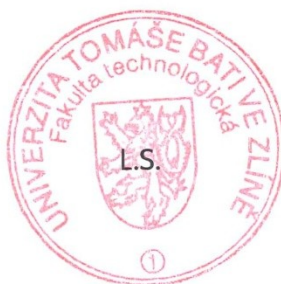
**20. května 2011**

Ve Zlíně dne 14. února 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.

*děkan*



prof. Ing. Antonín Klásek, DrSc.

*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že 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.

Ve Zlíně 12.5.2011

.....

---

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

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

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

<sup>2)</sup> 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřená na antibakteriální vlastnosti obalových materiálů v potravinářství. Pro vícestupňovou fyzikálně-chemickou povrchovou úpravu byl jako základní substrát zvolen polyethylen. Povrchová úprava spočívala nejprve v důkladném očištění vzorků, následném ošetření nízkoteplotním plazmatem a inkorporací makromolekulárního řetězce s profilem polymerního hřebene s koncovými aminovými skupinami. Takto připravené vzorky byly podrobeny antibakteriálním testům a jednotlivé vzorky byly charakterizovány dostupnými metodami (infračervená spektroskopie, skenovací elektronová mikroskopie, měření povrchové energie a kontaktních úhlů smáčení, rentgenová fotoelektronová spektroskopie).

**Klíčová slova:** aktivní obal, antibakteriální testy, povrchová úprava, metody charakterizace povrchu

## **ABSTRACT**

The thesis is focused on antibacterial properties of packaging materials for food industry. The polyethylene was chosen as a base substrate for the multistep physicochemical surface modification. The surface modification consists prior sample cleaning, subsequent low-temperature plasma treatment, and the incorporation of macromolecular chain with the polymer brush-like structure with end amino groups. Then the samples undergo the antibacterial testing and each sample is characterized by accessible methods: infrared spectroscopy, scanning electron microscope, surface energy measuring and contact angle wetting, and X-ray photoelectron spectroscopy.

**Keywords:** active packaging, antibacterial tests, surface modification, methods of surface characterization

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Mariánu Lehockému, Ph.D. za předání cenných rad a informací ke zvolenému tématu a za věnovaný čas. Dále bych ráda poděkovala těmto osobám, které mi v realizaci mé práce taktéž velmi pomohly:

- Ing. František Bílek - pomoc a dozor v průběhu celé experimentální části,
- Mgr. Aleš Mráček, Ph.D. a Ing. Ondřej Grulich - zapůjčení RF plazmového reaktoru a pomoc při jeho obsluze,
- Ing. Daniela Veselá - pomoc při provádění přípravy na antibakteriální testy,
- Ing. Alena Kalendová, Ph.D. - měření FT-IR spekter,
- Ing. Pavel Bažant a Ing. Jana Bartošová - vytvoření snímků vzorků na SEM.

V neposlední řadě děkuji za morální podporu a vytvoření vhodného pracovního a studijního prostředí po celou délku studia své rodině.

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

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBALOVÉ MATERIÁLY V POTRAVINÁŘSTVÍ</b> .....	<b>13</b>
2.1 DĚLENÍ OBALŮ .....	14
2.2 ZNAČENÍ OBALŮ.....	15
2.3 AKTIVNÍ OBALOVÉ MATERIÁLY.....	16
2.3.1 Antibakteriální funkce aktivních obalů.....	18
2.4 POLYETHYLEN.....	20
2.4.1 Nízkohustotní polyethylen .....	22
<b>3 PATOGENNÍ BAKTERIE</b> .....	<b>23</b>
3.1 ESCHERICHIA COLI .....	23
3.1.1 Vlastnosti.....	23
3.1.2 Výskyt, význam, léčba .....	24
3.2 STAPHYLOCOCCUS AUREUS.....	25
3.2.1 Vlastnosti.....	25
3.2.2 Výskyt, význam, léčba .....	26
<b>4 ANTIBAKTERIÁLNÍ ČINIDLA</b> .....	<b>27</b>
4.1 TRICLOSAN (IRGASAN).....	27
4.1.1 Triclosan a resistance bakterií .....	27
4.1.2 Využití.....	27
4.1.3 Mechanismus účinku .....	28
4.1.4 Vliv na zdraví a životní prostředí.....	28
4.2 CHLORHEXIDIN .....	28
4.2.1 Využití.....	29
4.2.2 Obecný mechanismus působení .....	30
<b>5 CHEMIKÁLIE PRO FUNKCIONALIZACI POVRCHU</b> .....	<b>31</b>
5.1 ALLYLAMIN .....	31
5.2 N-ALLYLMETHYLAMIN .....	31
5.3 N,N-DIMETHYLALLYLAMIN .....	32
<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>33</b>
<b>6 ÚPRAVA POVRCHU POMOCÍ PLAZMATU</b> .....	<b>34</b>
<b>7 ANTIBAKTERIÁLNÍ TESTY</b> .....	<b>36</b>
<b>8 METODY CHARAKTERIZACE VZORKŮ</b> .....	<b>37</b>
8.1 MĚŘENÍ POVRCHOVÉ ENERGIE A KONTAKTNÍHO ÚHLU.....	37
8.1.1 Praktické měření pro účely práce.....	38
8.2 FT-IR - INFRAČERVENÁ SPEKTROSKOPIE.....	39
8.2.1 ATR-FTIR.....	40
8.2.2 Praktické měření pro účely práce.....	41
8.3 SEM - SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE.....	41
8.3.1 Praktické měření pro účely práce.....	42



8.4	XPS - RENTGENOVÁ FOTOELEKTRONOVÁ SPEKTROSKOPIE .....	42
8.4.1	Praktické měření pro účely práce .....	43
<b>9</b>	<b>PŘÍPRAVA VZORKŮ</b> .....	<b>44</b>
9.1	PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO ANTIBAKTERIÁLNÍ TESTY.....	45
<b>10</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>46</b>
10.1	ANTIBAKTERIÁLNÍ TESTY .....	46
10.2	MĚŘENÍ POVRCHOVÉ ENERGIE A KONTAKTNÍHO ÚHLU .....	49
10.3	FTIR .....	50
10.4	SEM.....	56
10.5	XPS.....	58
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>60</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>62</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>69</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>71</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>73</b>
	<b>SEZNAM ROVNIC</b> .....	<b>74</b>

## ÚVOD

Hlavní funkcí obalových materiálů je ochránit výrobek před znehodnocením, ale ani jejich další funkce není zanedbatelná - usnadňují manipulaci a slouží i jako prostředek vizuální komunikace. Dnešní obaly však dokáží mnohem víc; mohou měnit podmínky zabalené potraviny k prodloužení trvanlivosti, nebo ke zvýšení bezpečnosti nebo senzorických vlastností při zachování kvality balené potraviny (aktivní obaly), nebo mohou sloužit k monitorování podmínek zabalených potravin podáním informace o jejich kvalitě během transportu a skladování (inteligentní obaly). Zejména prvně zmíněným je dnes věnována obzvlášť velká pozornost, a to především v případech, kdy potřebujeme snížit množství zdraví škodlivých mikroorganismů, které by danou potravinu více či méně v čase znehodnotily.

Ve většině pevných/polopevných potravinách je mikrobiální růst znatelný zejména na jejich povrchu, v připravených a smíchaných potravinách se tento růst může objevit kdekoliv v celém jejich objemu. Hlavní úlohou antibakteriálních obalových materiálů v potravinářství je tedy zredukovat rychlost růstu mikroorganismů za účelem prodloužení životnosti a k zajištění bezpečnosti potraviny. Antibakteriální obaly jsou využitelné i v případě, že obalují potraviny tepelně sterilizované nebo s vlastním imunitním systémem, protože i tyto mohou být kontaminovány, např. defekty v obalu - poškozením povrchu obalu nebo kontaminací mikroorganismy po otevření.

## TEORETICKÁ ČÁST

## 1 CÍLE PRÁCE

Cílem této diplomové práce je příprava a charakterizace antibakteriálních vlastností obalových materiálů s využitím v potravinářském průmyslu. Pro experimentální část práce byl, pro jeho rozšířenost v obalovém průmyslu, jako vhodný materiál zvolen rozvětvený nízkohustotní polyetylén (PE-LD). Pro funkcionalizaci povrchu po provedení jeho úpravy pomocí plazmatu byly vybrány tři organické sloučeniny: Allylamin, *N*-Allylmethylamin a *N,N*-Dimethylallylamin. Zvolenými antibakteriálními činidly jsou chlorhexidin a irgasan, jež prokázaly největší antibakteriální efekt v dosavadních experimentech (viz diplomová práce T. Křížové). Pro charakterizaci vzorků byly vybrány následující moderní analytické metody: XPS, SEM, FT-IR, stanovení povrchové energie a v neposlední řadě taktéž antibakteriální testy.

K dosažení cílů práce tato obsahuje:

- rešerše dosavadních poznatků zkoumané oblasti,
- příprava vzorků (povrchová úprava obalového materiálu) a jejich následné vystavení vybraných antibakteriálním činidlům za účelem navázání antibakteriálních látek,
- charakterizace vzorků,
- kultivace a vyhodnocení vlivu činidel na bakteriální růst,
- vyhodnocení výsledků experimentální části a jejich shrnutí.

## 2 OBALOVÉ MATERIÁLY V POTRAVINÁŘSTVÍ

Obalové materiály jsou suroviny určené pro další zpracování při výrobě obalu. Tyto materiály musí být zdravotně nezávadné, nesmí poškozovat chuť potravin a tím působit na sensorické vlastnosti. Výběr materiálu je odvislý jak od požadovaných vlastností daného obalu, druhu obaleného výrobku, tak i na technologii balení. Obalové materiály spadají do skupiny obalových prostředků, které kromě těchto zahrnují i obaly a pomocné obalové prostředky (víčka, zátky, apod.). [1, 2, 3]

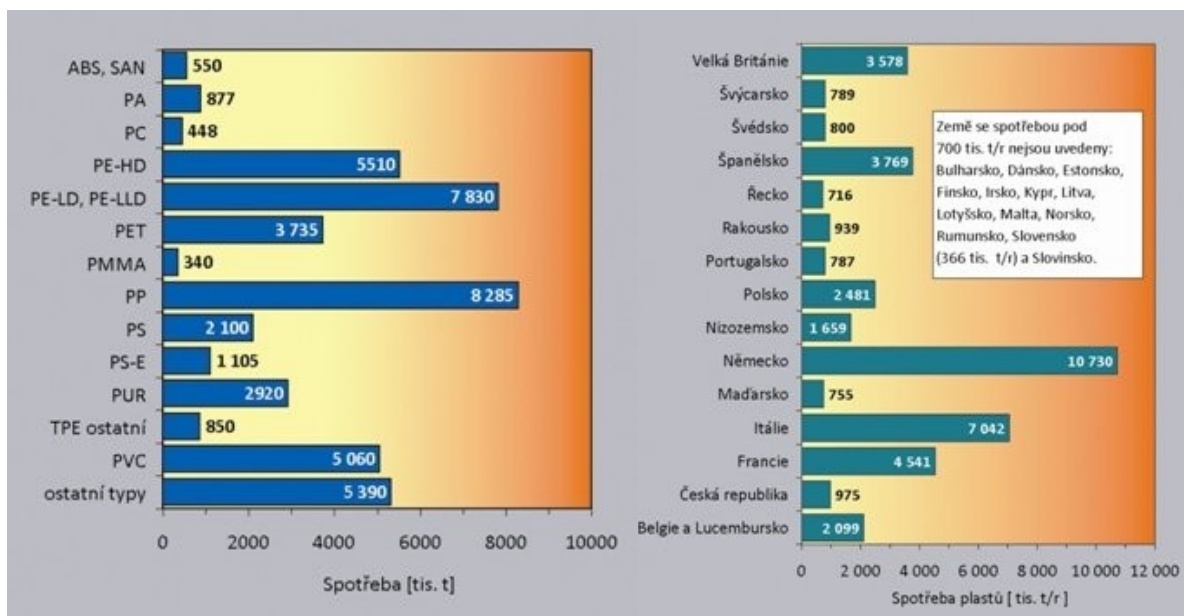
Za obal můžeme považovat výrobek, který má za úkol pojmout jeden nebo více různých výrobků. Obal slouží k následujícím účelům [4]:

- ochrana výrobků,
- zajištění výrobků,
- umožnění a usnadnění manipulace,
- umožnění distribuce, případně dodávku výrobku ke spotřebiteli,
- předvedení, vystavení nebo nabídky výrobků spotřebiteli.
- bezprostřední ochraně jednotlivého výrobků nebo seskupení výrobků.

Mezi nejčastější obalové materiály patří [5]:

- papír (papíry, kartony, lepenky - převážně spotřebitelské a přepravní obaly, suroviny i cenově dostupný, hygienický, prodyšný, recyklovatelný, biologicky snadno rozložitelný, užité vlastnosti se zvyšují laminací nebo impregnací),
- dřevo (především přepravní obaly, malá hmotnost, velmi dobré bariérové vlastnosti, možno použít jako fixační materiál = dřevitá vlna),
- sklo (nejstarší obalový materiál pro tekutiny, snadno dostupné, chemicky netečné, průhledné, možnost omezení účinku světla zbarvením, recyklovatelnost),
- kovy (ocel, hliník, cín, zinek - plechové obaly, fólie, ochranné povlaky na obaly z ocelového plechu - cín pro potravinářství, zinek pro průmysl; vysoká mechanická pevnost, tuhost konstrukce, neprodyšnost, dobrá tepelná vodivost),
- plasty (fólie, lahve, sáčky, kelímky, přepravky, bedny, kontejnery, přepravní skříně, výplňové materiály - výborné bariérové vlastnosti, schopnost sváření a svařovatelnost).

- nosti; nepoužívanější: celofán, polyvinylchlorid, polyethylen, polypropylen, polyamid, polystyren a polyester),
- kombinace výše uvedených s klasickými materiály, které dosahují lepších vlastností než jejich jednotlivé složky (např. celofán s polyethylenem, polyethylen s polypropylenem atd.).



Obrázek 1 - Spotřeba plastů evropských zemí v roce 2009 (45 mil. tun) [6]

Pro obaly pro účely potravinářství jsou kladeny zvýšené nároky, což může svým způsobem ztěžovat jejich výrobu. Takovéto obaly nesmí za standardních podmínek použití uvolňovat své složky do potravin nebo pokrmů v množstvích ohrožujících lidské zdraví, případně v takových množstvích, které by mohly způsobit nepříjemnou změnu ve složení potravin nebo ovlivnit jejich sensorické vlastnosti. Obaly určené pro styk s potravinami musí být řádně označeny dle §7 vyhlášky č. 38/2001 Sb. a nesmějí [4]:

- obsahovat patogenní nebo podmíněně patogenní mikroorganismy,
- být zdrojem mikrobiálního znečištění potravin,
- narušovat žádoucí mikrobiální a enzymatické pochody v potravě.

## 2.1 Dělení obalů

Obaly můžeme samozřejmě dělit dále podle různých kritérií, avšak mezi nejznámější dělení patří to na základě účelu obalu [4]:

- spotřebitelský obal - tvoří dále nedělitelnou součást celku s výrobkem určeným k prodeji,
- skupinový obal - slouží k seskupení prodejních celků v místě prodeje,
- přepravní obal - slouží k usnadnění manipulace s prodejním celkem nebo skupinovým balením.

Dalším dělením může být rozdělení dle mechanických vlastností [7]:

- měkké obalové prostředky - papír, impregnovaný papír, plastové fólie, plasty (kelímky, vaničky), kovové fólie,
- polotuhé obalové prostředky - lepenky (skládačkové), plasty (tuhé, polotuhé fólie) a fólie (z hliníků, kovové, plastové)
- tuhé obalové prostředky - sklo, kov, dřevo.

## 2.2 Značení obalů

Identifikační značení obalů pro zhodnocení obalových odpadů usnadňuje třídění sběrným systémům podle druhů materiálů obalových odpadů, zejména plastových obalů a obalů z kombinovaných materiálů, a informuje spotřebitele, že se jedná o obal, který po použití může být zhodnocen. Značení podle normy ČSN 77 0052-2 lze uplatnit u všech obalů definovaných pro spotřebu obalových odpadů v ČSN 77 0052-1. [4, 8]

Grafické značky jsou uvedeny na obrázcích níže. Číselný identifikační kód musí být doplněn grafickou značkou. Volba varianty grafické značky je libovolná. Velikost grafické značky podle není předepsaná.



Obrázek 2 - Grafické značky [4, 8]

Pro rozlišení druhu plastu, ze kterého byly obaly vyrobeny, se používají číselné identifikační kódy a/nebo písmenné identifikační kódy podle následující tabulky. V praxi se potom pro označení využívá kombinace grafické značky a číslice nebo písmene identifikačního kódu, nebo obou identifikačních kódů.

Tabulka 1 - Identifikační kódy plastů [8]

Materiál	Písmenný kód	Číselný kód
Polyethylentereftalát	PET	1
Vysokohustotní (lineární) polyethylen	HDPE	2
Polyvinylchlorid	PVC	3
Nízkohustotní (rozvětvený) polyethylen	LDPE	4
Polypropylen	PP	5
Polystyren	PS	6
Ostatní druhy plastů		7 - 19



Obrázek 3 - Možnosti označení výrobku [8]

### 2.3 Aktivní obalové materiály

V posledních zhruba 20 letech došlo k významnému rozvoji aktivních systémů balení. Některé prvky balení spadající do této kategorie byly pochopitelně používány již dříve, ale až v uvedeném období je možné nalézt jejich systematický výzkum a cílené zavádění do praxe. Po určitých terminologických nejasnostech jsou v současnosti rozlišovány dvě skupiny systémů balení s interaktivní funkcí, a to aktivní obaly a inteligentní obaly.

Aktivní balení, které je schopné samovolně měnit své vlastnosti v reakci na změny podmínek vně nebo uvnitř obalu tak, že eliminuje nebo zmírňuje jejich nepříznivý dopad na kvalitu potravinářského výrobku prodloužením skladovatelnosti, zlepšením bezpečnosti nebo organoleptických vlastností atd. Většina doposud využívaných systémů aktivního balení je založena na sorpci, tj. odstraňování nežádoucích složek z vnitřního prostoru obalu nebo z baleného produktu nebo naopak uvolňování stabilizačních činidel (konzervovadel, antioxidantů atd.) do blízkosti balené potraviny. Využívány jsou ale i systémy ovlivňující průběh



ohřevu balených potravin v mikrovlnném poli, fólie dramaticky měnící propustnost v závislosti na teplotě a další. [9, 10, 11]

Systémy aktivního balení byly doposud úspěšně aplikovány zejména v USA, Japonsku a Austrálii. Jejich významnější rozvoj v Evropě byl až do nedávné doby brzděn přísnějšími legislativními požadavky na obalové materiály určené pro kontakt s potravinami a absencí předpisů regulujících praktické použití aktivních a inteligentních obalů. [12, 13]

Systémy aktivního balení lze dělit na skupiny podle způsobu, kterým ovlivňují vlastnosti uchovávané potraviny na [14, 15, 16, 17]:

- absorbéry (odstraní nežádoucí sloučeniny jako kyslík, oxid uhličitý, ethylen, nadměrnou vodu, skvrny a jiné specifické sloučeniny):
  - absorbéry kyslíku,
  - absorbéry oxidu uhličitého,
  - absorbéry ethylenu,
  - absorbéry vlhkosti,
  - absorbéry látek působící nežádoucí příchuti a zápachy potravin,
- emitéry (přidají do balené potraviny sloučeniny, např. konzervační prostředky):
  - uvolňování antimikrobiálních látek,
  - emitéry ethanolu (Japonsko),
  - emitéry oxidu uhličitého (Japonsko),
  - obaly pro mikrovlnný ohřev (susceptory) a obaly se stínícími prvky,
  - systémy schopné obalený produkt ochlazovat, ohřívat nebo vytvářet pěnu,
  - fólie s antikondenzační nebo nepřilnavou úpravou,
  - fólie měnící extrémně propustnost se změnou teploty,
  - emitéry aditiv, chuťově aktivních látek, potravinových ingrediencí,
  - a mnoho dalších.

Tabulka 2 - Typy aktivních obalů a jejich praktické využití [17]

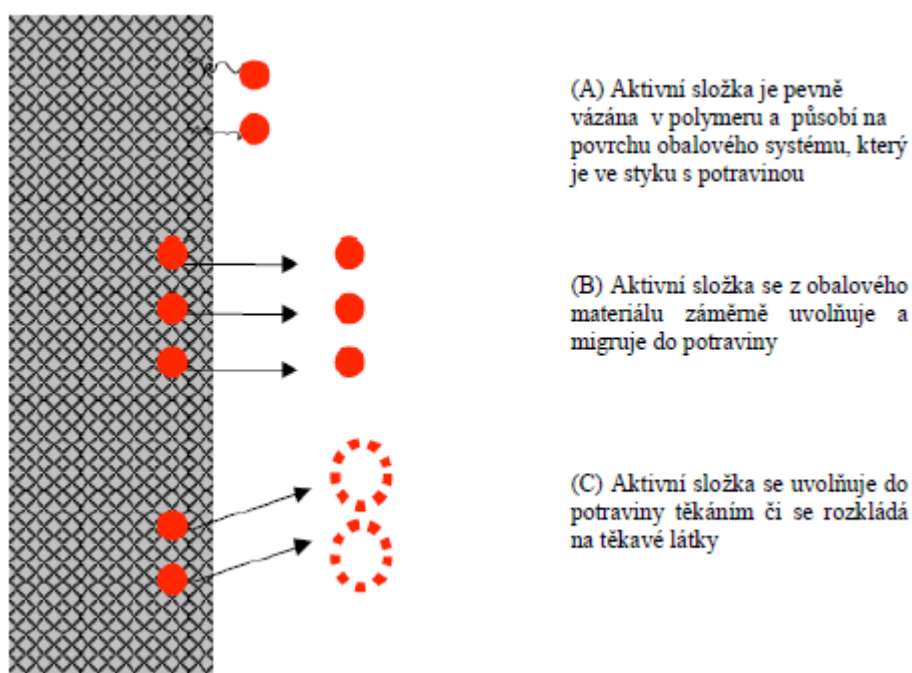
Typ	Příklad využití	Aktivní látky
Absorbéry kyslíku	sýry, pečivo, oříšky, sušené mléko, káva, čaj, fazole, atd.	sloučeniny na bázi železa, kyselina askorbová, enzymy
Absorbéry vlhkosti	pečivo, maso, ryby, drůbež, atd.	glycerol, silicagel, polyakrylát
Absorbéry oxidu uhličitého	pražená káva	hydroxid vápenatý, hydroxid draselný, hydroxid sodný
Absorbéry ethylenu	ovoce, zelenina	oxid hlinitý, manganistan draselný, zeolit
Absorbéry zápachu	potraviny snadno podléhající oxidaci (obsahující např. rybí tuk)	kyselina citronová, estery celulózy
Typ	Efekt	Příklad použití
Emitéry oxidu siřičitého	odbarvující účinek, antioxidační účinek, antimikrobní účinek	některé tepelně ošetřené zpracované potraviny, sušená zelenina a ovoce, různé typy zpracovaných/nezpracovaných potravin
Regulátory vlhkosti	regulace obsahu vody	zelenina
Emitéry oxidu uhličitého	inhibice růstu negativních mikroorganismů, prodloužení životnosti	maso, drůbež, ryby, hotové, pokrmy, nezpracovaná zelenina a ovoce
Emitéry ethanolu	inhibice růstu mikroorganismů, včetně patogenních mikroorganismů	pečivo, sušené rybí produkty
Emitéry organických kyselin (kyselina sorbová, benzoová, atd.)	antimikrobní účinek	různorodé

### 2.3.1 Antibakteriální funkce aktivních obalů

Do této kategorie aktivních materiálů a předmětů určených pro styk s potravinami patří obaly s aktivní antimikrobiální funkcí. Patří sem zejména polymerní fólie nebo nátěry kovových nádob s přísádkou keramických materiálů obsahujících stříbro, polymerní obalové fólie s přísádkou antimikrobiálního přípravku, jehož účinnou složkou je triclosan nebo fólie obsahující na straně přicházející do styku s potravinou konzervační přísadu (na bázi kyseliny benzoové, sorbové) nebo pesticidy. [15, 18]

V literatuře se uvádí i řada dalších činidel, která by mohla inhibovat bakteriální růst, pokud se začlení do obalových materiálů, např. bakteriociny nisin a pediocin, sorban draselný a benzoan sodný, anhydrid kyseliny benzoové, kyselina sorbová a fungicidy imazalil, benomyl a permethrin. Je popsána také fólie obsahující syntetický zeolit, který má část sodíkových iontů nahrazenou ionty stříbra. [17, 18]

Uvedené systémy obalů, využívající antimikrobiálních či konzervačních účinků nejsou v současné době v Evropě velice diskutovány, zejména z hlediska možného vzniku rezistence mikroorganismu vůči použitým biocidním složkám.



Obrázek 4 - Antibakteriální funkce aktivního obalu v závislosti na typu aktivní složky [15]

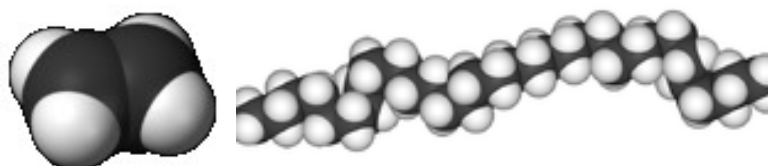
Antimikrobiální systémy lze rozdělit na tři typy (viz obrázek výše) [15]:

- systémy, které jsou účinné proti povrchovému růstu mikroorganismů bez záměrné migrace,
- systémy obsahující antimikrobiální činidlo, které záměrně migruje do povrchu potraviny a aktivního činidla do potravin,
- systémy uvolňující těkavé složky například ethanol a systémy uvolňující oxid uhličitý.

## 2.4 Polyethylen

Polyethylen (PE) je jeden z nejlevnějších a nejnáze dostupných syntetických polymerů vyráběných z ropy. Využití si PE našel jak pro technické výrobky (fólie, trubky, pláště kabelů, kanystry), tak pro spotřební zboží (různě tvarované výrobky pro domácnost, hračky). Díky svým vlastnostem patří mezi nejrozšířenější obalový materiál na světě s roční produkcí více než 100 mil. tun. [14]

PE je za normálních podmínek bílý a v tenčí vrstvě průhledný, je prakticky bez chuti a zápachu. Transparence vzrůstá s rozvětveností makromolekul a jejich molekulovou hmotností. Jeho chemická struktura je  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ . [19]



Obrázek 5 - Prostorový model ethylenu (vlevo), řetězec polyethylenu (vpravo) [20]

PE je označován jako homopolymer ethylenu a jeho kopolymery s malým obsahem komonomeru (do 10%), jejichž vlastnosti jsou silně závislé na molekulové hmotnosti, prostorovém upořádání a stupni krystalinity. V případě kopolymerů může být druhým kopolymerem alken (propen, buten, hexen, okten), nebo sloučenina s funkční skupinou - kyselina akrylová, vinylacetát, ethylakrylát, atd.. Tyto vlastnosti jsou závislé především na způsobu výroby. Na vlastnosti PE má také výrazný vliv i střední molekulová hmotnost. Chemická odolnost PE se zvětšuje se stoupající krystalinitou. Při běžných teplotách je PE schopen odolat vodě, většině chemikálií, vykazuje nízkou propustnost vodních par. PE má výborné dielektrické vlastnosti. Odolnost vůči nepolárním rozpouštědlům, zvláště za zvýšené teploty, je značně omezena, přičemž může dojít k i k napadání některými polárními rozpouštědly (rozpuštění PE ve vroucím tetrachlormetanu, benzenu, toluenu). PE má výbornou odolnost vůči nízkým teplotám, křehne při  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Za zvýšených teplot jsou předměty z rozvětveného PE tvarově stálé asi do  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , v případě lineárního PE do více než  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Mezní teplota dlouhodobé použitelnosti polyethylenu je  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [14, 21, 22]

PE je hořlavý jako vysoce tavicí se vosky nebo parafíny, nehořlavé druhy PE jsou dodatečně upravené (chlorované, plněné). PE stárne působením světla, termickou oxidací a na-

pětím. Při vystavení povětrnostním vlivům bez chránění rychle křehne, tvrdne a jeho mechanické a elektrické vlastnosti se zhoršují. [23]

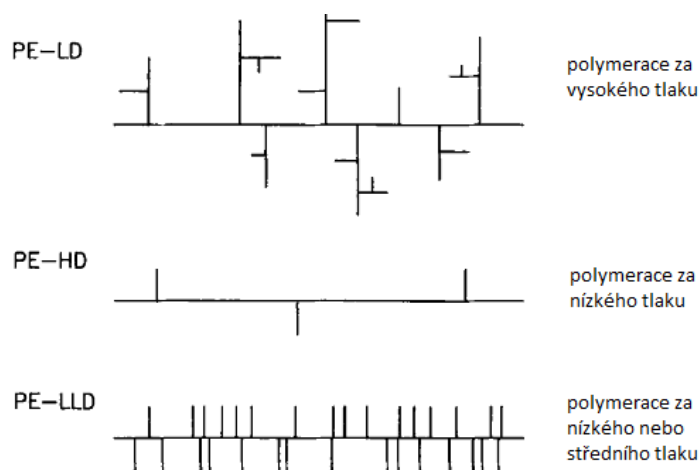
Existují dva základní typy PE, kdy jako kritérium pro rozdělení slouží rozvětvení makromolekul, neboť všechny vlastnosti lze odvodit od struktury polymeru. Na této základní myšlence poté PE rozlišujeme na typ lineární a rozvětvený. Lineární typ je dnes označován jako typ o vysoké hustotě (PE-HD), rozvětvený je označován jako o nízké hustotě (PE-LD - viz dále). Kromě těchto základních typů PE rozlišujeme ještě další možné formy, mezi nejznámější patří např.: PE o střední hustotě (PE-MD), lineární PE o nízké hustotě (PE-LLD), PE o velmi vysoké molekulové hmotnosti (PE-UHMW), PE s různou hustotou (PE-X) a PE s lineárním řetězcem (PE-VLD). [19]

Tabulka 3 - Srovnání typických vlastností základních druhů polyetylenů [19, 20, 23]

Vlastnost	PE-LD	PE-HD	PE-LLD
Skupenství	Pevné (semikrystalické)	Pevné (semikrystalické)	Pevné (semikrystalické)
Stupeň krystalizace (%)	40 - 50	60 - 80	30 - 40
Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	0,915 - 0,935	0,940 - 0,970	0,910 - 0,930
Modul pružnosti [MPa]	415 - 795	689 - 1654	248 - 365
Pevnost v tahu [MPa]	7 - 17	18 - 30	14 - 21
Prodloužení při přetížení [%]	100 - 700	100 - 1000	200 - 1200
Tvrdość [Shore D]	45 - 60	60 - 70	41 - 54
Teplota tání [°C]	106 - 112	130 - 133	45 - 125
Mez pružnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	8 - 10	20 - 30	10 - 30
Teplota skelného přechodu [°C]	-30 ± 15	-30 ± 15	-30 ± 15

Tabulka 4 - Využití PE v praxi [20]

Druh polyetylenů	Využití
PE-LD, PE-LLD	výroba fólií - pytle na odpadky, obaly, fólie pro zemědělství, výroba kabelů a potrubí
PE-HD	nádoby na čisticí prostředky pro domácnosti, velkoobjemové nádoby
PE-UHMW	části čerpadel, ozubená kola, implantáty, protézy, vlákna z PE-UHMW se používají v chirurgii
PE-X	teplovodní potrubí, izolace kabelů (vysokonapěťových)



Obrázek 6 - Rozvětvení řetězce PE [24]

### 2.4.1 Nízkohustotní polyethylen (PE-LD)

PE-LD je semikrystalický termoplast, který patří do skupiny polyolefinů. Nízkohustotní polyethylen vzniká radikálovou polymerací a je vyráběn za vysoké teploty 200 °C a vysokého tlaku v rozmezí od 150 – 300 MPa. Jedná se o měkký, pevný a ohebný typ PE, který má vysoký stupeň větvení (krátké i delší vedlejší větve). Při teplotě 23 °C je definován hustotou v rozmezí 0,910 – 0,940 g/cm<sup>3</sup>. Jeho hodnota molekulové hmotnosti leží v rozmezí od 30 000 až 300 000. Krystalinita se pohybuje v hodnotách od 50 - 70 % a teplota tání je v rozmezí od 105 až do 115 °C. Houževnatost PE-LD je do -70 °C. Je recyklovatelný. [14, 25]

Mezi žádané vlastnosti PE-LD patří průzračnost (lepší než PE-HD), ohebnost, odolnost vůči rázu, olejům a chemikáliím, značná nepropustnost pro vodní páru (horší než u PE-HD), svařitelnost teplem a dobré tokové vlastnosti. [23, 25]

Nevýhodami PE-LD jsou náchylnost ke korozi za napětí v tenzoaktivním prostředí a poměrně nízké mechanické vlastnosti. PE-HD oproti PE-LD má kromě vyšších mechanických vlastností vyšší odolnost vůči rozpouštědlům a vroucí vodě. Největším konkurentem PE-LD je PE-LLD. [23, 25]

Je používán pro pevné, poddajné předměty jako jsou např. víka a podobné výrobky. Byl dlouho používán jako izolační materiál. V současnosti je nejvíce oblíbenou aplikací folie, mezi další příklady patří dopravní pytle, balicí materiál a tenké zemědělské příkryvky a mnoho dalších výrobků pro každodenní použití. [19]

### 3 PATOGENNÍ BAKTERIE

#### 3.1 *Escherichia coli*

Vědecká klasifikace [26]:

- doména: *Bacteria*,
- kmen: *Proteobacteria*,
- třída: *Gamma Proteobacteria*,
- řád: *Enterobacteriales*,
- čeleď: *Enterobacteriaceae*,
- rod: *Escherichia*,
- druh: *E. coli*.

##### 3.1.1 Vlastnosti

*Escherichia coli* (*E. coli*) je fakultativně anaerobní gram negativní bičíkatá tyčinkovitá bakterie. *E. coli* je nepigmentovaná, někdy opouzďená tyčka o velikosti 1,1 - 1,5 × 2,0 - 6,0 μm. Typické kmeny mají peritrichní bičíky, známe i nepohyblivé kmeny. V moči lze spatřit často vláknité formy. [26]



Obrázek 7 - Kolonie *E. coli* (10 000 násobné zvětšení) [26]

Kolonie o průměru 3 - 4 mm jsou okrouhlé, hladké. Kmeny, které produkují polysacharidové pouzdro, tvoří mukozní kolonie. Na médiu s přidavkem laktózy roste v sytě červených koloniích s kovovým leskem (→ laktóza fermentující). Některé kmeny jsou β-hemolytické. [26, 27]

Optimální teplota pro růst *E. coli* je 37 °C, kdy teplotní rozmezí pro růst je 10 - 46 °C, přičemž dobrý růst byl zaznamenán mezi 20 - 40 °C. V bujónu tvoří zákal, na pevných půdách jsou kolonie neprůhledné. [27]

*E. coli* okyseluje manit, produkuje lysindekarboxylázu, ornitindekarboxylázu, syntetizuje beta-galaktozidázu, využívá acetát, hydrolyzuje tryptofan, zkvašuje laktosu, glukosu a maltosu, tvoří indol, netvoří H<sub>2</sub>S a nehydrolyzuje močovinu. Má polysacharidový kapsulární, bílkovinný bičíkový a lipopolysacharidový tělový antigen. [27]

### 3.1.2 Výskyt, význam, léčba

*E. coli* žijící v tlustém střevě teplokrevných živočichů (osidluje sliznici, vyskytuje se ve stolici jako hlavní součást aerobní fyziologické střevní flory). Je jedním z nejdůležitějších zástupců střevní mikroflóry a její přítomnost je nezbytná pro správný průběh trávicích procesů ve střevě. Přítomnost této bakterie ve vodách nebo potravinách je ukazatelem znečištění fekáliemi. *E. coli* je obsažena také v potravinách, které byly ve styku s hnojenou půdou. Slouží jako modelový organismus pro biochemické, genetické a fyziologické studie. [26]

Střevní *E. coli* je klasifikována podle sérologických parametrů a virulence na 5 typů, které zpravidla způsobují tato onemocnění [26]:

- ETEC (enterotoxická *E. coli*) - průjemové onemocnění (vodové průjmy) z kontaminované vody nebo jídla, bez horečky (produkují toxiny příbuzné cholerovému enterotoxinu),
- EPEC (enteropatogenní *E. coli*) - průjem a zvracení bez horečky, mírně invazivní (většinou se vyskytuje hromadně v kojeneckých ústavech),
- EIEC (enteroinvazivní *E. coli*) - proniká do sliznice kde se pomnožuje (způsobuje zánětlivé onemocnění), onemocnění typu úplavice,
- EAEC (enteroadherentní *E. coli*) - adhezuje k sliznici, mírná infekce,
- EHEC (enterohemoragická *E. coli*) - hemoragická kolitida až smrtelný hemolitický uremický syndrom (nejčastější a nejnebezpečnější sérotyp O157:H7).

*E. coli* je nejčastějším původcem primárních močových infekcí. Osidluje sliznice poškozene zánětem nebo nádorovým onemocněním. Některé kmeny způsobují průjemová onemocnění, buď zánětlivé nebo nezápětlivé povahy. Mezi další onemocnění můžeme všeobecně



zařadit: cystitís, pyelitís, sepse, enteritís, pneumonie, colitís, peirtonitís, neonatální meningitís. [27]

Komunitní kmeny *E. coli* jsou většinou dobře citlivé k běžným antibiotikům, využitelná je následující terapie: nitrofurantoin, cotrimoxazol, ampicilin (+ inhibitor  $\beta$ -laktamázy), fluorochinolony, aminoglykosidy. [27]

## 3.2 Staphylococcus aureus

Vědecká klasifikace [28]:

- doména: *Bacteria*,
- říše: *Eubacteria*,
- oddělení: *Firmicutes*,
- třída: *Bacilli*,
- řád: *Bacillales*,
- čeleď: *Staphylococcaceae*,
- rod: *Staphylococcus*,
- druh: *S. aureus*.

### 3.2.1 Vlastnosti

*Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) jsou gram pozitivní, nesporulující, nepohyblivé koky o průměru 1  $\mu\text{m}$ , v nepravidelných shlucích, které však lze spatřit i dvojice nebo zcela krátké řetízky. Některé kmeny jsou opouzdřené. Stěnový murein je tvořen pentaglycinovými můstky, kde specificky působí lysostafin. Kolonie jsou okrouhlé, hladké, lesklé o průměru 3 - 4 mm, karotenovými pigmenty slabě oranžově zbarvené, řidčeji žluté, někdy i bílé nebo šedé. Na krevním agaru asi 60% kmenů tvoří zónu  $\beta$ -hemolýzy. [28, 29]



Obrázek 8 - *Staphylococcus Aureus* [28]

*S. aureus* jsou fakultativně anaerobní, nenáročné, osmoticky resistantní bakterie; rostou i na půdě s obsahem 7,5% NaCl. Jde o růstově nenáročný kok, rostoucí v rozmezí 10 °C až 42 °C, při teplotě nižší než 10 °C netvoří toxin, nesnáší kyselé prostředí. V organismu zejména pod vlivem antibiotik ztrácejí svou charakteristickou morfologii. Okyselují glukosu a manit. Přenos genetické informace transdukci byl prokázán i in vivo. Zejména kmeny izolované z nemocničního prostředí obsahují plasmidy. *S. aureus* produkuje řadu enzymů a toxinů, jež se uplatňují v patogeneze stafylokokových onemocnění. Z enzymového vybavení se pro jeho identifikaci také využívá přítomnost nukleasy, fosfatasy, katalasy a koagulasu krevní plazmy. [28, 30]

### 3.2.2 Výskyt, význam, léčba

Patogenita této bakterie je výsledkem produkce toxinů (exfoliativní toxiny, enterotoxiny, atd.), které způsobují ničení tkáně nemocného. *S. aureus* může způsobovat tato onemocnění: ranné infekce, infekce kůže, puerperální mastitis, sepse, pneumonie, osteomyelitis, arthritida, toxický šokový syndrom, enterotoxikóza. V potravinách produkuje enterotoxiny bílkovinné povahy, které mohou způsobit i smrtelné otravy. Některé z těchto enterotoxinů však mohou být inaktivovány varem. Přenos může nastat dotykem nebo vzduchem (kapénková infekce) od nakažených osob nebo bacilonosičů. Přibližně u třetiny lidské populace je přirozeně přítomen na kůži a sliznicích. Výskyt nosičství je asi 20-50% populace, přičemž u zdravotnického personálu bývá nález stafylokoků vyšší. Léčba nosičů antibiotiky nebývá úspěšná. [28, 30]

Příznaky jednotlivých onemocnění se objevují zpravidla během prvních 6ti hodin po infikování a doprovází je žaludeční nevolnosti, křeče, zvracení, průjemy, pocení, pokles teploty a bolesti hlavy, které přetrvávají až 2 dny. Na otravu (původcem vytvořené enterotoxiny) *S. aureus* je zapotřebí koncentrace buněk v řádu  $10^5$  -  $10^7$  na gram. [29]

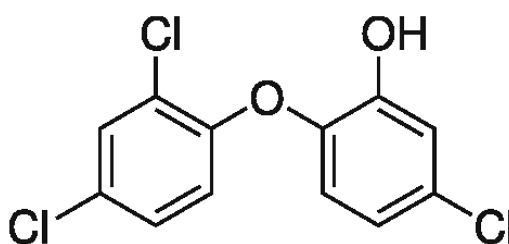
Mezi terapii řadíme: oxacilin, peniciliny resistantní k penicilináze, u methicilin resistantních kmenů - vankomycin, teikoplanin nebo cloxacilin s AMP. Přibližně 90% stafylokoků je rezistentních na běžný penicilin. Dále se používají makrolidy, cefalosporiny I. a IV. generace, aminoglykosidy, linkosamidy, tetracykliny, glykopeptidy, chloramfenikol, fluorochinolony (+ doplněk Stasea = stafylokokový antitoxin). V případě nosičství se používá lokální antibiotikum mupirocin. [29, 30]

*S. aureus* je velmi vhodným ukazatelem hygienických podmínek v průběhu výroby potravin a jejím následném skladování a distribuce.

## 4 ANTIBAKTERIÁLNÍ ČINIDLA

### 4.1 Triclosan (Irgasan)

Systematický název je 5-chlor-2-(2,4-dichlorfenoxy)fenol. Triclosan je silné antibakteriální a antimykotické činidlo. Jde o bílý prášek slabého aromatického/fenolového pachu. Je to chlorovaná aromatická sloučenina, obsahující jak etherové, tak fenolové funkční skupiny. Triclosan je jen mírně rozpustný ve vodě, ale dobře se rozpouští v ethanolu, diethyletheru a silných zásadách. Působící na gram pozitivní i negativní bakterie, i grambakterie dutiny ústní. [31, 32]



Obrázek 9 - Triclosan [32]

#### 4.1.1 Triclosan a rezistence bakterií

Některé druhy bakterií si mohou vyvinout nízkourovňovou rezistenci na triclosan mutací genu *FabI* (*E. coli*, *S. aureus*), některé bakterie mají vrozenou rezistenci na triclosan (*Pseudomonas aeruginosa*). Jiné bakterie mají alternativní *FabI* geny (*FabK*), na které se triclosan neváže, a proto jsou tyto bakterie méně citlivé na triclosan. V dosavadních studiích bylo ukázáno, že triclosan není významně spojen s bakteriální rezistencí jako takovou. Určitá úroveň rezistence na triclosan se může u některých mikroorganismů objevit, ale větší obavy jsou z potenciální křížové rezistence nebo korezistence na jiné antimikrobiální látky. Studie zkoumající tuto možnost proběhly zatím jen v omezené míře. [32]

#### 4.1.2 Využití

Triclosan se přidává do mýdel (0,15 - 0,30 %), deodorantů, zubních past, holicích krémů, ústních vod, čistících vod na obličej a čistících prostředků. Je též napouštěn do spotřebitelských výrobků (kuchyňských nástrojů, hraček, ložního prádla, ponožek a odpadkových pytlů). Některá zdravotnická zařízení používají triclosan k dekolonizaci kůže pacientů osídlené bakterií *S. aureus* rezistentní na methicilin. Použití triclosanu je regulován. [31, 32]

### 4.1.3 Mechanismus účinku

Při používaných koncentracích funguje triclosan jako biocid s více cytoplazmatickými a membránovými cíli, zatímco v nižších koncentracích je jen bakteriostatický a působí na bakterie hlavně inhibicí syntézy mastných kyselin. Triclosan se váže na bakteriální reduktázu nosiče enoyl-acyl bílkoviny (ENR), která je kódována v genu *FabI*. Tato vazba zvyšuje afinitu enzymu k nikotinamid adenin dinukleotidu ( $\text{NAD}^+$ ). To vede k tvorbě stabilního ternárního komplexu ENR- $\text{NAD}^+$ - triclosan, který se nemůže účastnit v syntéze mastných kyselin. Člověk nemá enzym ENR, proto není triclosanem takto ovlivněn. [31]

### 4.1.4 Vliv na zdraví a životní prostředí

Některé studie naznačily, že triclosan může ve vodovodní vodě reagovat s chlorem za vzniku chloroformu, který je klasifikován jako pravděpodobný karcinogen. Studie však ukázaly, že množství vznikajícího chloroformu je menší než množství běžně přítomné v chlorovaných pitných vodách. [31]

Triclosan reaguje s volným chlorem ve vodě také za vzniku menších množství dalších sloučenin. Většina z těchto látek přechází při expozici UV záření v dioxiny. Dioxiny mohou vzniknout také působením mikroorganismů v koloběhu pitné vody. Vznikají tak jen malá množství dioxinů, avšak dioxiny jsou extrémně jedovaté a jsou velmi silné endokrinní disruptory. Jsou také chemicky velmi stabilní, takže se z těla eliminují velmi pomalu (riziko akumulace na nebezpečné úrovni) a přetrvávají v životním prostředí velmi dlouho. Studie zabývající se triclosanem, však takovéto dioxiny neoznačují jako zdraví nebezpečné. [32]

Mezi negativní důsledky používání triclosanu na životní prostředí patří působení jako endokrinní disruptor u severoamerického skokana volského, nalezení látky ve žluči ryb žijících u čistíren odpadních vod, v lidském mateřském mléce, ovlivňování speciálních receptorových molekul na povrchu mozkových buněk (dopady na duševní vývoj), negativní účinek na lidský imunitní systém. Výsledky jednotlivých studií jsou však stále dále podrobně ověřovány a jsou zkoumány další mechanismy působení triclosanu jak na člověka, tak na životní prostředí. [31, 33]

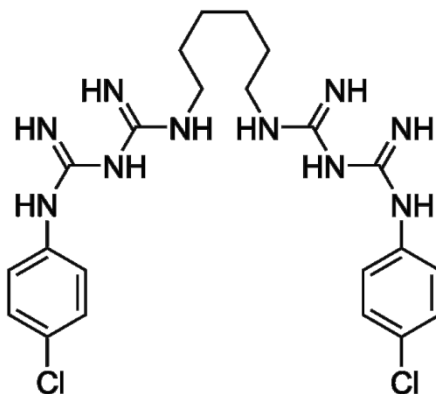
## 4.2 Chlorhexidin

Chlorhexidin je chemické antiseptikum, ničící grampozitivní a gramnegativní bakterie. Je baktericidní a bakteriostatický. Chlorhexidin vykazuje také určitý účinek proti obaleným

virům, nebyl však zatím výrazněji zkoumán. Výhodou proti antibiotikům je, že na chlorhexidin nevzniká rezistence, a proto zůstává jeho účinnost zachována i při opakovaném a dlouhodobém podávání. [34]

Přípravky obsahující chlorhexidin ve vysokých koncentracích nesmí přijít do kontaktu s očima a s vnitřním uchem. Ve velmi nízkých koncentracích se však používá v některých roztocích pro kontaktní čočky. Chlorhexidin je deaktivován anionovými sloučeninami, včetně anionových tenzidů běžně používaných jako detergenty v zubních pastách a ústních vodách. Smrtelná dávka LD<sub>50</sub> je 2000 mg/kg (orálně, potkan), resp. 1260 mg/kg (orálně, myš). Toxicita pro savčí buňky a riziko vzniku přecitlivělosti je v současné době hodnoceno jako minimální. [34]

Skladovatelnost je 20 - 24 měsíců za pokojové teploty při uskladnění v tmavé nádobě.



Obrázek 10 - Chlorhexidin [35]

#### 4.2.1 Využití

Chlorhexidin je součástí ústních vod, čističů kůže (zejména předoperační mytí rukou), omývání a desinfekce ran (i u zvířat), omývání kůže při akné, v malých množstvích se používá jako konzervant. Používá se jako aktivní složka ústních vod (ničí zubní plak a bakterie), při léčbě onemocnění dásní (i prevenci onemocnění), při ošetření kůže před vpichem jehel. [35]

Může mít negativní vliv na ukládání množství zubního kamene pod dásně, citlivost chuti, vznik skvrn na zubech a jazyku. Tyto vedlejší účinky však mohou být sníženy dodržováním doporučených dávek a postupů, všechny jsou plně vratné a vymizí po vysazení chlorhexidinu. [35]

#### 4.2.2 Obecný mechanismus působení

Chlorhexidin je povrchově aktivní kationická sloučenina, která se dobře váže k opačně nabitým povrchovým strukturám buněčných povrchů včetně povrchů mikrobiálních stěn. Při vazbě na bakteriální buňky se váže zejména na fosfátové skupiny fosfolipidů buněčné membrány a narušuje tak její permeabilitu. U vyšší koncentrace dochází k přímému narušení buněčné membrány, prostupu chlorhexidinu do nitrobuněčného prostoru a koagulaci buněčných bílkovin. Následné změny vedou ke smrti bakteriální buňky. [35]

## 5 MONOMERY PRO FUNKCIONALIZACI POVRCHU

### 5.1 Allylamin

Allylamin (AA), chemická struktura  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{NH}_2$ , je bezbarvá nebo světle žlutá kapalina, se silným zápachem připomínajícím amoniak a pálivou chutí. Hustota AA je menší než hustota vody, jeho páry jsou těžší než vzduch. AA je toxický při vdechnutí, požití a při absorpci pokožkou. Dráždí kůži, oči a sliznice. Opakovaná nebo dlouhodobá expozice může způsobit trvalé poškození vnitřních orgánů/vybraného vnitřního orgánu (ledviny, játra, srdce) a poruchy CNS akumulací v těchto. [36]

Teplota vznícení (metoda uzavřeného kelímku) je asi  $-29\text{ }^\circ\text{C}$ , teplota samovznícení je  $373,89\text{ }^\circ\text{C}$ , teplota varu  $55 - 58\text{ }^\circ\text{C}$ , teplota tání  $-88\text{ }^\circ\text{C}$ . Je vysoce reaktivní se silně oxidujícími látkami a kyselinami. Molekulová hmotnost AA je  $57,1\text{ g/mol}$ , měrná (specifická) hustota odpovídá hodnotě  $0,76$ . Akutní orální toxicita  $\text{LD}_{50} = 57\text{ mg/kg}$  (myš), akutní dermální toxicita  $\text{LD}_{50} = 35\text{ mg/kg}$  (králík), akutní toxicita výparů  $\text{LC}_{50} = 1778$  hodin (potkan, odhad na základě 4 hodinové expozici). Může poškodit genetický materiál (mutagení). AA je vysoce hořlavý, rozpustný ve vodě (studené) a diethyleteru. Látka je mísitelná s chloroformem a ethanolem. AA je hořlavý při vystavení se ohni, teplu nebo v přítomnosti jisker. Páry tvoří explozivní směsi se vzduchem. Jde o významný chemický meziprodukt využívaný na výrobu léčiv (např. diuretika) a dalších chemikálií. [36]

### 5.2 N-Allylmethylamin

N-allylmethylamin (AMA), chemická struktura  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{NH} - \text{CH}_3$ , je čirá tekutina (může být i světle žlutého odstínu), která je vysoce hořlavá, avšak za normálních podmínek stabilní látka. Teplota vznícení je  $-8\text{ }^\circ\text{C}$  (metoda uzavřeného kelímku). Skladování v pevně uzavřených nádobách (skleněných), z dosahu tepla, jisker a otevřeného ohně, při teplotě  $2 - 8\text{ }^\circ\text{C}$ . AMA má bod varu  $61 - 62\text{ }^\circ\text{C}$ , hustotu  $0,748\text{ g/cm}^3$ , molekulová hmotnost má hodnotu  $71,12\text{ g/mol}$  a index lomu je  $1,412$ . Látka je také toxická, a to při inhalaci, styku s pokožkou nebo požití. Způsobuje popáleniny, je extrémně destruktivní pro tkáň sliznic a horních cest dýchacích, způsobuje edémy a křeče, atd. [37, 38]

AMA absorbuje kysličník uhličitý ze vzduchu, což jej činí nestabilním. Silné oxidační činidla a kyseliny by neměly mít k tekutině přístup. Mezi nebezpečné produkty rozkladu AMA patří kysličník uhelnatý, kysličník uhličitý a oxidy dusíku. Při hoření uvolňuje toxické páry. [37, 38]

### 5.3 *N,N*-Dimethylallylamin

*N,N*-dimethylallylamin (DMAA), chemická struktura  $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{N} - (\text{CH}_3)_2$ , je čirá bezbarvá (nebo žlutá) tekutina, velmi dobře rozpustná. Je dráždivý a vysoce hořlavý. Molekulová hmotnost DMAA je 85,15 g/mol, hustota 0,7197 g/cm<sup>3</sup>, bod varu je 62 °C, teplota vznícení je 8 °C. Látka je stabilní za pokojové teploty v uzavřených nádobách při běžných skladovacích a manipulačních podmínkách. DMAA se má vyhnout zdrojům vznícení, nadměrnému teplu a silným oxidantům a kyselinám. Mezi nebezpečné produkty rozpadu DMAA patří kysličník uhelnatý, dráždivé nebo toxické páry a plyny a kysličník uhlíčitý. [39, 40, 41]

DMAA může způsobit popálení respiračního ústrojí, edémy, závratě a dušení, popálení a více či méně závažná onemocnění pokožky, poškození očí (rohovky, spojivky), nevratné poškození zažívacího traktu a sliznic včetně perforace, stagnaci CNS, což může mít další následky u postižené osoby. [39, 40, 41]



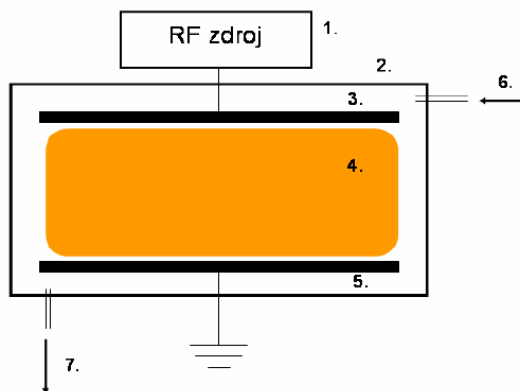
## **PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 ÚPRAVA POVRCHU POMOCÍ PLAZMATU

Plazma je soubor nabitých a neutrálních částic v různých kvantových stavech (elektrony, ionty, excitované stavy, neutrální atomy, molekuly), o kterém platí, že jeho prostorový náboj je přibližně roven nule (tzv. kvazineutralita). Plazma bývá někdy nazýváno čtvrtým skupenstvím hmoty. Jeho chování se navenek nejvíc podobá plynu, od něhož se ale liší hlavně přítomností volných nosičů náboje. Je schopné jako celek svými projevy generovat globální elektrická, magnetická nebo elektromagnetická pole a na takováto globální pole reagovat. Plazma není v přírodě žádný ojedinělý jev, odhaduje se, že až 99% celkové vesmírné hmoty se nachází právě v tomto skupenství. Jedná se hlavně o hvězdy, ale i různé mlhoviny a galaxie. Na zemi se pak s plazmatem setkáme méně často, jelikož má jeho životnost velké energetické nároky (vysoká teplota, tlak, záření apod.), nevydrží v přirozeném prostředí dlouhou dobu, jsou to např. blesky a jiné výboje. [42, 43]

Plazma je velmi chemicky reaktivní prostředí, ve kterém dochází k neobvyklým reakcím. Velká hustota ionizovaných a excitovaných částic může změnit vlastnosti i jinak inertního materiálu jako je např. keramika. Především plazma modifikuje hodnotu povrchové energie materiálu, což má následný dopad na adhezní sílu, vlastnosti povrchových nátěrů a biokompatibilitu. [43] V důsledku působení plazmatu na povrch „měkkých“ materiálů, např. polymerů, dochází v důsledku dlouhé časové expozice a vysoké lokální teploty k tvorbě povrchového zvrásnění. Tyto změny mohou mít zásadní vliv na výsledné vlastnosti materiálů. Zejména na jeho tepelnou, mechanickou stabilitu a užité vlastnosti. [44]

Systemy buzené radiofrekvenčními (RF) zdroji jsou v laboratorním měřítku nejčastěji používány pro jejich jednoduchou konstrukci a snadný popis kinetiky procesů. RF plazma potřebuje ke svému vzniku a udržení výboje nízké tlaky, takže není použitelná v kontinuálním výrobním procesu. Tento typ výboje využívá tlaků v řádech jednotek či desítek Pa a frekvence nabývající hodnot od 10 kHz do 30 Mhz. Nejčastěji se poté využívají tzv. dohodnuté frekvence - zejména 13,56 MHz a 27,12 Mhz. Dle konstrukce rozeznáváme dva základní typy RF reaktorů - induktivně buzen radiofrekvenční výboj a kapacitně buzený radiofrekvenční výboj. První ze zmíněných sestává z trubice omotané závitů cívky budící výboj. Druhý zmíněný sestává ze dvou vzájemně paralelních desek uvnitř reaktoru mezi nimiž vzniká plazma. Jako pracovní plyny se nejčastěji používají vzduch, kyslík, dusík, vzácné plyny, vodík, acetylén, a další plyny a jejich směsi. [44]



Obrázek 11 - Schéma reaktoru s kapacitně buzeným RF plazmatem (1. zdroj RF vln, 2. plášť reaktoru, 3. RF elektroda, 4. plazma, 5. uzemněná elektroda, 6. přívod plazmového plynu, 7. odsávání vývěvou) [44]

RF plazma se nejčastěji používá k leptání povrchů a odstraňování nečistot. Další využití nachází i v oblasti přípravy povrchových vrstev, od tvrdých až supertvrdých vrstev, organokřemičité vrstvy a případně i jiné funkční povrchy. Tento typ plazmatu může povrchy i chemicky redukovat za použití vodíkového plazma. Tato technika nejčastěji slouží k rekonstrukci zoxidovaných povrchů. Možné aplikace lze hledat v archeologii pro redukcí povrchově zoxidovaných kovových nálezů. [44]



Obrázek 12 - RF plazmový reaktor

## 7 ANTIBAKTERIÁLNÍ TESTY

Antibakteriální testy jsou v této práci prováděny pomocí difúzních plotnových (diskových) testů. Tyto testy spočívají v difúzi účinné látky, v našem případě antibakteriálního činidla, v agaru, který je předtím naočkován mikroorganismy (*S. aureus* a *E. coli*). Na naočkované půdy se kladou antimikrobiální disky, na plotnu o průměru 90 mm lze obvykle položit 5 - 6 disků. Disky se rozmístí do kruhu, přičemž vzdálenosti mezi středy disku a vzdálenost disku od kraje plotny musí být přibližně 20 mm. Účinné látky se aplikují na agarovou plotnu v discích filtračního papíru, které jsou namočené do filtrátů nebo extraktů. Pro účely této práce byly na agarovou plotnu pokládány disky PE s navázanými antibakteriálními činidly. Tyto difundují z místa aplikace do okolí a inhibují růst vybraných mikroorganismů. Je tak kvalitativně a semikvantitativně stanovena citlivost nebo rezistence dané bakterie na základě toho, jestli je na agarové půdě (ne)vytvořena přípustná inhibiční zóna kolem disku s antibakteriální látkou po předepsané době inkubace. V okolí disků se tak vytváří inhibiční zóny, jejichž průměr je měřen v milimetrech, vč. disků, povětšinou na pěti místech. [45, 46, 47, 48]

Průměr inhibice se porovnává s hraničním průměrem inhibiční zóny pro citlivé kmeny. Vytvoří-li vyšetřovaný kmen inhibiční zónu o stejném nebo větším průměru, než je hraniční průměr, pokládá se za citlivý (případně hraničně citlivý) k dané antimikrobiální látce; v opačném případě je kmen označen jako rezistentní. Velmi jemný nárůst na okrajích zón se ignoruje, jako citlivé se hodnotí kmeny, které mají inhibiční zónu o průměru alespoň 12 mm. Velikost inhibiční zóny je ovlivněna (kromě citlivosti dané bakterie k danému antibiotiku) množstvím antibiotika v disku, složením půdy, výškou agarové vrstvy, rychlostí difuze antibiotika v gelu a množstvím inokula mikroba. [45, 48, 49]

Při pečlivém provedení a přísném dodržení postupu se výsledky získané touto metodou vysoce shodují s výsledky dilučních metod. [49]



Obrázek 13 - Příklad inhibičních zón růstu bakterií [46]

## 8 METODY CHARAKTERIZACE VZORKŮ

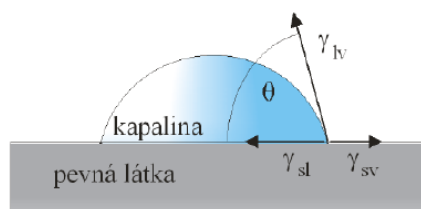
### 8.1 Měření povrchové energie a kontaktního úhlu

Povrchová energie obalových materiálů je veličina, která hraje důležitou roli pro jejich finální průmyslové zpracování. Je známo, že lepení nebo potiskování obalových materiálů představuje v mnoha případech složitý problém s ohledem na jejich hydrofobitu a nízkou povrchovou energii. Často je nutné provést povrchovou úpravu, která zvýší hydrofilitu a povrchovou energii a zároveň zdrsňuje povrch, čímž je umožněno nanášet tenké vrstvy jiných typů materiálů. Adheze barev k polymerním potravinářským balicím fóliím také čerpá z chemie povrchů. [50, 51, 52, 53, 54]

V důsledku složitosti měření povrchové energie pomocí přímých metod, bývají často použity metody nepřímé - jednou z nich je měření kontaktních úhlů smáčení několika kapalinami a následný výpočet povrchové energie. V závislosti na použité teorii je celková povrchová energie dále rozdělena do několika složek. Použitím teorie „OWRK“ (Owens - Wendt - Rabel - Kaelble), pro kterou stačí měření alespoň dvou kapalin, lze celkovou povrchovou energii rozdělit na polární a dispersní složku. [51, 53]

Úhel smáčení je jednou z mála přímo měřitelných vlastností fázového rozhraní pevná látka/kapalina/plyn. Může být stanoven přímým goniometrickým měřením nebo nepřímými, tenziometrickými metodami, popř. metodami založenými na geometrické analýze tvaru menisku. [52, 53]

Kontaktní úhel je úhel, který svírá tečna k povrchu kapky, vedená v bodě styku kapky s rozhraním - hlavní charakteristika tvaru kapky kapaliny umístěné na povrchu nerozpustné tuhé látky. [51, 52, 53]



Obrázek 14 - Povrchové napětí - energie na rozhraní [52]

Vztah mezi úhlem smáčení  $\theta$  a jednotlivými mezifázovými energiemi je dán Youngovou rovnicí [52]:

$$\gamma_{lv} \cos \theta = \gamma_{sv} \gamma_{sl} \quad (1)$$

kde:

$\gamma_{lv}$  ... mezipovrchová energie fázového rozhraní mezi kapalnou a plynnou fází,

$\gamma_{sv}$  ... mezipovrchová energie fázového rozhraní mezi tuhou a plynnou fází,

$\gamma_{sl}$  ... mezipovrchová energie fázového rozhraní mezi tuhou a kapalnou fází.

Z toho vztahu dostáváme podmínku pro kontaktní úhel  $\theta$ , který určuje tvar kapky:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lv}} \quad (2)$$

Podle velikosti úhlu smáčení rozlišujeme kapky, které tuhý povrch [52]:

- smáčeji - vytváří ostrý úhel smáčení,  $0 < \theta < 90^\circ$  ( $0 < \cos \theta < 1$ ),  $\gamma_{sg} > \gamma_{sl}$ ,
- nesmáčeji - vytváří tupý úhel smáčení,  $90^\circ < \theta < 180^\circ$  ( $0 > \cos \theta > -1$ ),  $\gamma_{sg} > \gamma_{sl}$ ,
- dokonale nesmáčeji -  $\theta = 180^\circ$ ,  $\gamma_{sg} = \gamma_{sl} - \gamma_{lg}$ .

Dle „OWRK“ teorie je možné celkovou povrchovou energii  $\gamma^{tot}$  rozdělit na disperzní  $\gamma^{LW}$  a polární  $\gamma^{AB}$  složku, přičemž platí, že [52]:

$$\gamma^{tot} = \gamma^{LW} + \gamma^{AB} \quad (3)$$

a dále, dle „Acid base“ teorie je možno disperzní složku rozdělit na donorovou  $\gamma^-$  a akceptorovou  $\gamma^+$  část dle rovnice [52]:

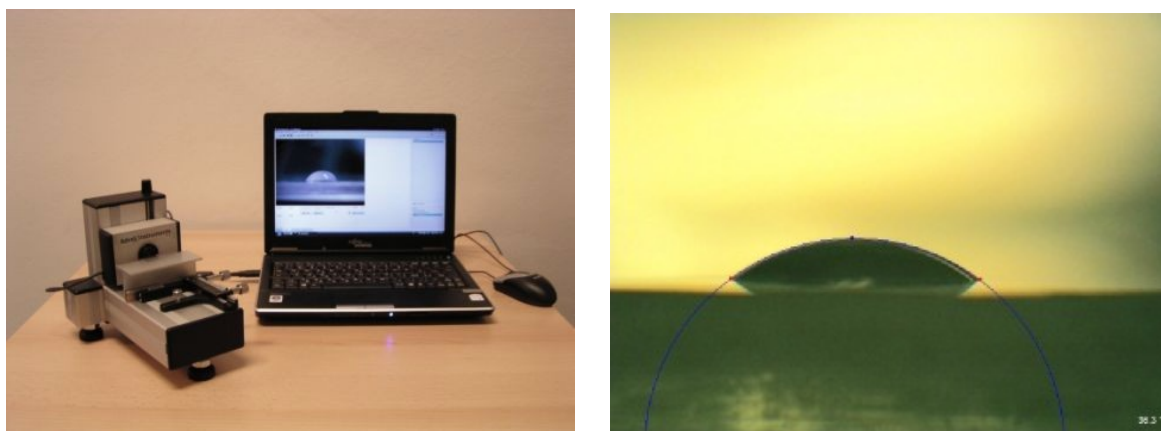
$$\gamma^{AB} = 2\sqrt{\gamma^+ \gamma^-} \quad (4)$$

Se znalostí takto získaných složek a komponent celkové povrchové energie je možné dostatečně popsat hydrofilitu/hydrofobitu a povrchovou energii systému a tím nastavit procesní parametry při výrobě. [52, 53]

### 8.1.1 Praktické měření pro účely práce

Měření probíhalo standardně na přístroji Surface Energy Evaluation System (SEE system) firmy Advex Instruments, s.r.o. z České republiky. Pro měření byly na každý vzorek naneseny tři druhy kapalin - voda (deionizovaná), ethylenglykol, diiodomethan - kde objem nanesených kapek byl 5  $\mu$ l, aby nedocházelo k možným chybám při odečtu u menších kapek nebo v důsledku deformací vlivem gravitace u kapek větších. Počet kapek na každém

substrátu byl stanoven na pět postupně nanesených kapek. Všechny výpočty byly dále prováděny v softwarovém prostředí SEE system. Výsledky měření jsou uvedeny v kap. 10.2.



Obrázek 15 - SEE system a SW prostředí pro měření [55]

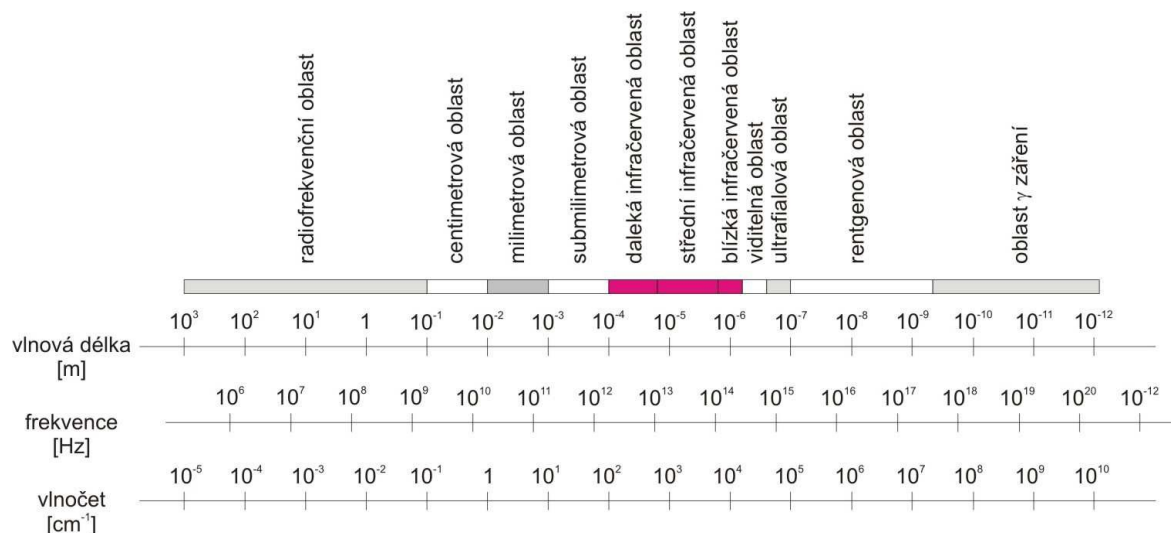
## 8.2 FT-IR - infračervená spektroskopie

Infračervená (IR) spektroskopie je analytická nedestruktivní metoda sloužící pro identifikace a strukturní charakterizaci organických sloučenin, nebo pro stanovení organických látek ve zkoumaném vzorku. Využívá se jak v kvantitativní, tak i v kvalitativní analýze. Metoda umožňuje studovat vzorky v pevné, kapalném nebo plynném skupenství. Celou oblast infračerveného záření dělíme na blízkou ( $13\ 000 - 4\ 000\ \text{cm}^{-1}$ ), střední ( $4\ 000 - 200\ \text{cm}^{-1}$ ) a vzdálenou ( $200 - 10\ \text{cm}^{-1}$ ). [56, 57]

U spektroskopických metod se studuje množství pohlceného záření v závislosti na jeho vlnové délce nebo vlnočtu, přičemž množství pohlceného světla se vyjadřuje buď transmittancí nebo absorbancí, kdy platí, že transmittance je dána poměrem intenzit prošlého a původního paprsku. Vlnocet ( $\text{cm}^{-1}$ ) je výhodné používat z toho hlediska, že je na rozdíl od vlnové délky, přímo úměrný energii. [56, 58]

Infračervená spektroskopie dává možnost odhadnout přítomnost jednotlivých funkčních skupin v molekule organické látky. Infračervenými spektry se sledují vibrační a rotační přechody v molekulách. Pokud je změna těchto vibračních či rotačních stavů spojena se změnou dipólových momentů, dochází k absorpci záření charakteristické pro danou vazbu v molekule. Největší význam při identifikaci organických sloučenin má oblast spektra v rozmezí vlnočtů  $400 - 4000\ \text{cm}^{-1}$ . V této oblasti se organické sloučeniny projevují největším počtem absorpčních pásů. Navíc oblast mezi  $650 - 1500\ \text{cm}^{-1}$  je typická pro každou organickou látku. Neexistují tady dvě různé organické sloučeniny se stejným spektrálním projevem v této oblasti. Značnou výhodou infračervené spektroskopie je možnost měření

vzorků ve všech skupenských stavech. Získané hodnoty vibračních energií souvisí s pevností chemických vazeb, molekulovou geometrií a strukturou, vlivem prostředí na studované molekuly a mnoha jinými oblastmi. [56, 58]



Obrázek 16 - Elektromagnetické spektrum [56]

Principem metody je absorpce infračerveného záření při průchodu vzorkem, při níž dochází ke změnám rotačně-vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Pro interpretaci IR spekter jsou důležité především změny vibračních stavů. Vazba mezi atomy v molekule se chová jako pružina, která je schopna absorbovat energii, která je kvantována. Přejít ze základního do vzbuzeného vibračního stavu je vyvolán absorpcí záření o frekvenci rovné frekvenci vibrace dotyčné vazby. Vibrace dvouatomové molekuly se znázorňuje pomocí harmonického oscilátoru. [56, 58]

### 8.2.1 ATR-FTIR

ATR-FTIR označuje techniku zeslabené úplné reflektance. Metoda je založena na principu jednoduchého či vícenásobného úplného odrazu záření na fázovém rozhraní měřeného vzorku a měřícího krystalu s dostatečně vysokým indexem lomu. [58, 59]

V případě takového měření se malé množství vzorku převede na krystal. Pomocí nástavce se vzorek přitlačí ke krystalu (vyroben z ZnSe, Ge, KRS-5, Si, AgCl, safír), aby byl s ním v dokonalém kontaktu (kvůli dostatečnému průniku záření ve formě evanescentní vlny do vzorku), a provede se měření. Krystal je většinou planární, ve tvaru lichoběžníkového hranolu, převážně umístěný v horizontálním uspořádání. Svazek paprsků je přiveden do krystalu soustavou zrcadel tak, aby úhel dopadu na fázové rozhraní vyhověl podmínce úpl-



ného (totálního) odrazu. Pokud měřený vzorek absorbuje záření o určité frekvenci, pak tato složka bude v totálně odraženém záření zeslabena. Takto získané spektrum se do značné míry podobá spektru změřenému v transmisním režimu, tedy v kyvetě. Penetrační hloubka záření do povrchu vzorku je řádově v jednotkách  $\mu\text{m}$ , tedy charakterizujeme pouze velmi tenké povrchové vrstvy vzorkovaného materiálu, avšak vzhledem k možnosti vícenásobného odrazu na fázovém rozhraní získáme velmi kvalitní spektrum, ekvivalentní transmisnímu spektru měřenému při tloušťce vzorku řádově desítek mm. Malá penetrační hloubka je naopak výhodou při měření silně absorbujících vodných roztoků, protože nedochází k deformaci tvaru pásů vody, a tudíž je možné je snadno odečítat. [56]

### 8.2.2 Praktické měření pro účely práce

Pro měření byl použit přístroj AVATAR 320 - FT-IR firmy Nicolet (USA). Jde o standardní jednopaprskový FT-IR spektrometr pracující v rozsahu vlnočtů  $4000$  až  $400\text{ cm}^{-1}$ . Vlnočtová stupnice FT-IR přístroje je kalibrována pomocí vlnočtu monochromatického záření pomocného He-Ne laseru, pro měření byl použit ZnSe krystal a úhel dopadu  $45^\circ$ . Kvalita výsledných spekter je závislá na zvolené IR metodě a také na obsluze, jež manipuluje s připravenými vzorky.

## 8.3 SEM - skenovací elektronová mikroskopie

Skenovací elektronový mikroskop, který je často označován jako rastrovací (REM) nebo řádkovací, je zařízení umožňující sledování povrchů zkoumaných objektů při velkém zvětšení. Paprsek elektronů v preparátové komoře mikroskopu řádkuje (skenuje) malou plošku na povrchu vzorku. Při interakci koncentrovaného svazku urychlených elektronů s atomy preparátu nastává řada jevů, jejichž důsledkem je vznik signálů, které se detekují a některé používají k tvorbě obrazu. [60]

Rozlišujeme tyto druhy elektronů pro využití SEM [61]:

- primární - uvolňované elektronovou tryskou, urychlené a procházející tubusem mikroskopu a dopadající na vzorek,
- sekundární - které jsou důsledkem interakcí primárních elektronů s atomy preparátu; od primárních se liší svojí velmi nízkou energií,
- zpětně odražené - které jsou opět produktem interakce primárních elektronů s atomy preparátů, jejich energie je však srovnatelná s energií primárních elektronů.

K zobrazení topografie vzorku se využívají právě elektrony sekundární. Zpětně odražené elektrony, lišící se svojí energií blížíci se původní hodnotě primárních elektronů, jsou velmi citlivé na změny atomového čísla. Z tohoto důvodu je jejich využití v získání informací o prvkovém složení preparátu, neboť v komoře preparátů vzniká např. i rentgenové záření a řada dalších signálů. Předností SEM je také velká hloubka ostrosti. Zvláštností SEM je, že ke zvětšení obrazu nepoužívá žádných čoček, ale toto je dáno poměrem skenované plochy na povrchu preparátu k velikosti monitoru. Lze tedy říct, že čím menší oblast dokáže elektronový svazek vyrastovat, tím větší zvětšení může být dosaženo. [60, 61]

V případě SEM mikroskopie je nutné pracovat ve vakuu (minimálně  $10^{-2}$  Pa). Povrch nevodivých materiálů je nutno opatřit asi 10 nm silnou vodivou vrstvou, aby nedocházelo ke vzniku náboje na jejich povrchu, který může zapříčinit zkreslené nebo naprosto odlišné zobrazení. [60, 61, 62]

### 8.3.1 Praktické měření pro účely práce

Snímky elektronové skenovací mikroskopie byly pořízeny na přístroji Tescan Vega II LMU z České republiky. Zařízení je osazeno žhavenou wolframovou katodou. Analytická komora je vybavena plně motorizovaným manipulátorem vzorku. Zvětšení skenovaných vzorků bylo různé (5, 10 a  $20 \times 10^3$ ). Snímky vzorků byly pořízeny pod úhlem  $15^\circ$ . Byly pořízeny pouze snímky těchto vzorků: PE, PE po výboji, PE po výboji s AA, PE po výboji s AMA a triclosanem, a PE po výboji s DMAA a triclosanem.

## 8.4 XPS - rentgenová fotoelektronová spektroskopie

Rentgenová fotoelektronová spektroskopie (X-Ray Photoelectron Spectroscopy - XPS nebo také Electron Spectroscopy for Chemical Analysis - ESCA) je spektroskopickou metodou kvantitativní analýzy chemického složení, empirického vzorce, chemického a elektronového stavu prvků přítomných ve vzorku. [63]

Je založena na fotoefektu, konkrétně měření kinetické energie elektronů, které jsou dopadajícím rentgenovým zářením vyraženy z hluboké slupky prvku. Kinetická energie fotoelektronů je však závislá na energii dopadajícího rentgenového záření a není tak pouze vlastností materiálu. Proto se v praxi uvádí vazebná energie, která je charakteristikou orbitálu, ze kterého elektron pochází. [62, 63]

Pomocí XPS můžeme měřit všechny prvky kromě vodíku a helia. Fotoelektrony se ze vzorku uvolňují jen pokud jsou vyraženy v hloubce přibližně do 10 nm - jde tedy o povr-

chovou analýzu vzorku. Hloubkové analýzy můžeme docílit, pokud využijeme leptání vzorku pomocí iontového bombardování. [63]

Jedno měření probíhá několik minut až několik hodin podle toho, jakého rozlišení potřebujeme docílit. Nejvyšší dosažitelné rozlišení je přibližně 100 ppm, v praxi se pohybuje spíše v řádu 1000 ppm. Celý systém pracuje při podmínkách ultra vysokého vakua, tedy řádově  $10^7$  až  $10^9$  Pa. Jako zdroj rentgenového záření se většinou používá hliníková nebo hořčíková rentgenka, konkrétně čáry Al K $\alpha$  s energií 1486,6 eV a šířkou čáry 0,85 eV, nebo Mg K $\alpha$  s energií 1253,6 eV a šířkou čáry 0,7 eV. [63]

#### **8.4.1 Praktické měření pro účely práce**

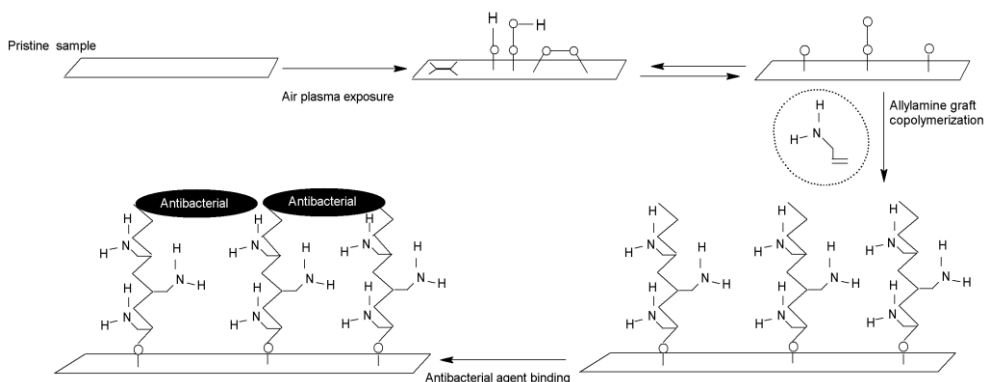
Měření bylo provedeno na přístroji TFA XPS firmy Physical Electronic. Hodnota ultra vakua byla přibližně  $10^{-8}$  Pa, přičemž vzorky byly excitovány monochromatickým rentgenovým zářením Al K $\alpha_{1,2}$  s energií 1486,6 eV. Detektor byl umístěn pod úhlem 45%. Toto měření probíhalo na spolupracující instituci ve Slovinsku (Jožef Stefan Institut). Následné vyhodnocení již probíhalo na naší univerzitě.

## 9 PŘÍPRAVA VZORKŮ

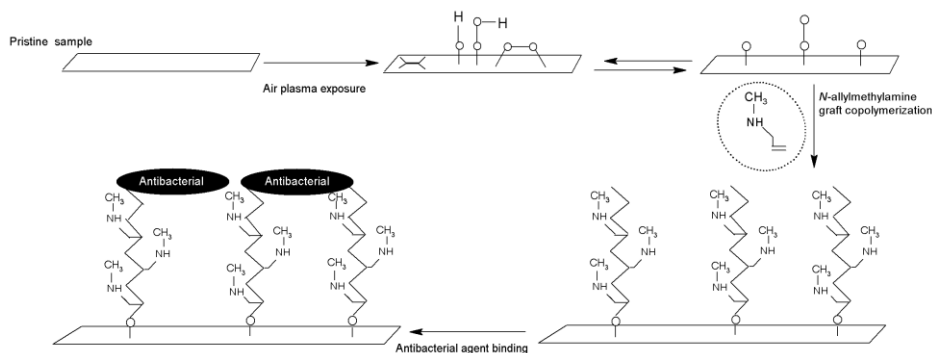
Vzorky PE-LD byly nastříhány na čtverce o rozměru  $5 \times 5$  cm, byly omyty v roztoku kationaktivního tenzoru a následně důkladně opláchnuty v dostatečném množství deionizované vody. Takto ošetřené vzorky byly za teplotních podmínek v laboratoři cca 2 hodiny sušeny.

Vzorky byly dále vystaveny působení nízkoteplotního plazmatu. Po dobu 5 minut byl každý vzorek z obou stran opracován plazmatem při výkonu reaktoru 50 W, frekvenci elektromagnetického vlnění 13,56 MHz, přičemž průtok plazmového plynu (vzduchu) byl nastaven na 25 scc/min.

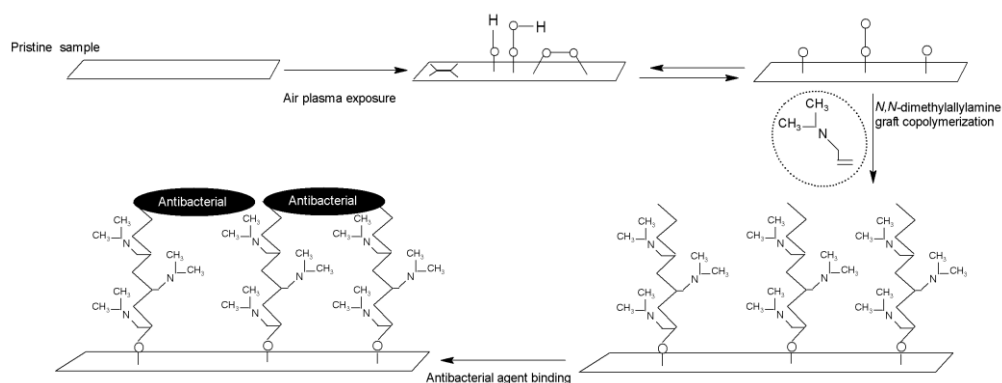
Okamžitě po vyjmutí z reaktoru byly jednotlivé vzorky substrátů vystaveny parám AA, AMA, nebo DMAA, vždy po dobu 15 sekund. Tyto páry posloužily pro funkcionalizaci povrchu jednotlivých vzorků, kdy se vytváří „polymerní hřeben“ s aminy jako funkčními skupinami pro navázání antibakteriálních činidel mezimolekulovými silami. Jednotlivé vzorky byly dále ponořeny do připravených roztoků triclosanu a chlorhexidinu, kde byly ponechány 24 hodin pro dosažení maximálního navázání. Po stanovené době byly vzorky vyjmuty a důkladně opláchnuty v dostatečném množství deionizované vody, aby došlo k důkladnému odstranění nenavázaných molekul antibakteriálních činidel. Poté byly vzorky opět za laboratorních podmínek sušeny.



Obrázek 17 - Schéma postupu přípravy vzorků nanesením antibakteriálního činidla na povrch PE-LD s AA



Obrázek 18 - Schéma postupu přípravy vzorků nanesením antibakteriálního činidla na povrch PE-LD s AMA



Obrázek 19 - Schéma postupu přípravy vzorků nanesením antibakteriálního činidla na povrch PE-LD s DMAA

## 9.1 Příprava vzorků pro antibakteriální testy

Fyziologický roztok (8,5 g NaCl/l) byl připraven do baněk s víčkem a nechal se sterilovat dvě hodiny v autoklávu při teplotě 170 °C.

Živný agar (6 g) byl přidán do 150 ml destilované vody a byl dvě hodiny sterilován v autoklávu při teplotě 170 °C. Poté byl rovnoměrně přelit na dno Petriho misek k zaschnutí. Byl proveden i slepý test, kdy po 24 hodinové inkubaci při 37 °C nedošlo podle předpokladu k žádnému růstu bakteriálních kmenů, tedy ke kontaminaci živné půdy.

Předpřipravené kolonie bakterií (kmen *E. coli* CCM 4517 a kmen *S. aureus* CCM 4516) byly za použití očkovací kličky (vyžíhanou kličkou buď dvě větší nebo čtyři menší kolonie  $\approx 1 \times 10^8$  bakterií) přeneseny do zkumavek s 10 ml fyziologického roztoku. Roztoky byly dokonale promíchány na třepačce a připraveny k nanesení na zaschlý agar. Na agar bylo naneseno 100  $\mu$ l bakteriálního roztoku, který byl dále po celé ploše misky rozetřen skleněnou tyčinkou. Po zaschnutí roztoku byly aplikovány jednotlivé vzorky PE (disky o průměru 8 mm). Inkubace probíhala 24 hodin při teplotě 37 °C. Po uplynutí této doby byly měřeny průměry inhibičních zón vždy v pěti směrech, jež byly následně zprůměrovány. Pro jednotlivé vzorky a pro každou bakterii byly zvoleny tři opakování.

## 10 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 10.1 Antibakteriální testy

Jednotlivé průměry a plochy naměřených inhibičních zón jsou uvedeny v následujících tabulkách. Vzhledem k tomu, že průměr disku byl 8 mm, je tento rozměr uveden u všech vzorků, kde se nevyskytly žádné inhibiční zóny. Toto je z důvodu, že s určitostí nelze vyloučit, že antibakteriální látky působí pouze v přímém kontaktu s aktivním obalem, a tudíž neznáme skutečnou velikost difúzní zóny.

Tabulka 5 - Průměry inhibičních zón

<i>Escherichia Coli</i>	Průměry inhibičních zón vzorků [mm]		
	1.	2.	3.
PE	8,0	8,0	8,0
PE po výboji	8,0	8,0	8,0
PE po výboji, AA	8,0	8,4	10,2
PE po výboji, AA + Chlorhexidin	8,0	10,0	8,6
PE po výboji, AA + Triclosan	18,2	16,2	16,6
PE po výboji, AMA	9,8	8,0	10,4
PE po výboji, AMA + Chlorhexidin	19,4	19,6	18,0
PE po výboji, AMA + Triclosan	19,4	18,4	18,8
PE po výboji, DMAA	8,0	8,0	8,0
PE po výboji, DMAA + Chlorhexidin	11,8	9,2	14,8
PE po výboji, DMAA + Triclosan	18,0	18,4	19,8
<i>Staphylococcus Aureus</i>			
PE	8,0	8,0	8,0
PE po výboji	8,0	8,0	8,0
PE po výboji, AA	11,4	14,6	8,4
PE po výboji, AA + Chlorhexidin	11,0	11,0	13,8
PE po výboji, AA + Triclosan	21,2	22,6	31,4
PE po výboji, AMA	8,0	8,0	8,0
PE po výboji, AMA + Chlorhexidin	26,8	19,4	26,6
PE po výboji, AMA + Triclosan	28,4	34,0	36,4
PE po výboji, DMAA	8,0	8,6	8,0
PE po výboji, DMAA + Chlorhexidin	23,4	21,0	23,4
PE po výboji, DMAA + Triclosan	35,0	32,2	34,0

Dle předpokladu, že do 12 mm neprokazuje daná látka žádnou antibakteriální schopnost, můžeme vyvodit z výsledků uvedených v tabulce 5, že disky neopracovaného PE, a stejně tak i disky PE po výboji a následném navázání AA, AMA, nebo DMAA nevykazují žádné

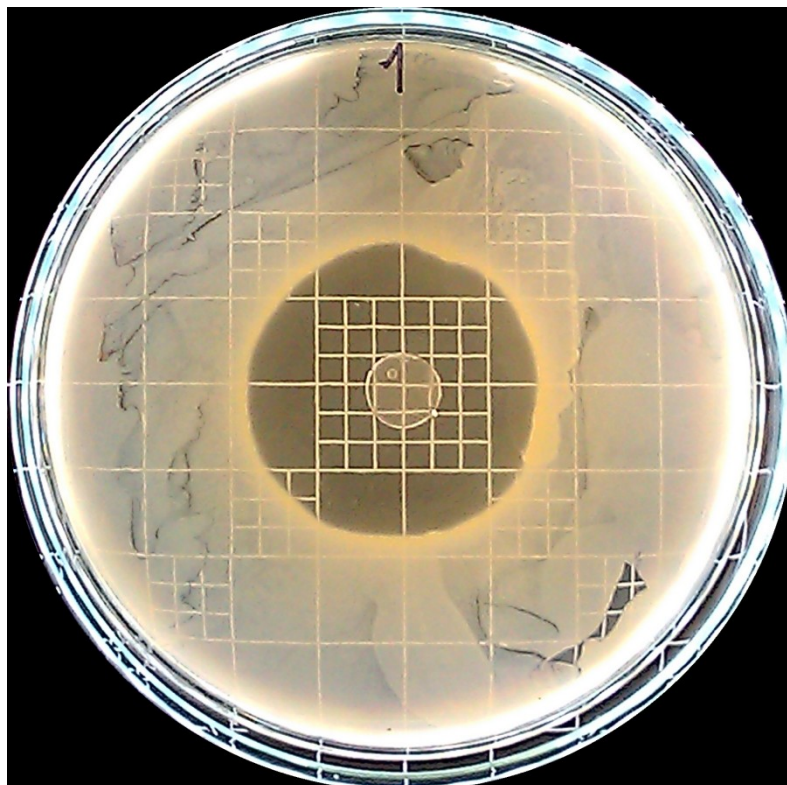
antibakteriální vlastnosti vůči *E. coli* a *S. aureus*. Ačkoli i disk s AA a chlorhexidinem a disk s DMAA a chlorhexidinem vytvořily difuzní zóny, jsou tyto bohužel pod hranicí pro průkaznou antibakteriální schopnost vůči *E. coli*, a tudíž bychom je neměli považovat za zcela průkazné. Disk s navázaným AA a chlorhexidinem ve dvou případech ze tří nevytvořil dostatečně velkou difuzní zónu, avšak třetí případ reprezentuje dostatečnou účinnost zvoleného antibakteriálního činidla vůči *S. aureus*. Tato skutečnost je však způsobena tím, že některé disky s antibakteriálními látkami vytvořily nerovnoměrně inhibiční zóny. Ve většině případů tak na určitých místech bylo dosaženo alespoň požadovaného minimálního průměru inhibiční zóny, což se však nepromítlo do celkového průměru.

Jako nejúčinnější antibakteriální vzorky můžeme pro bakterii *E. coli* označit vzorek s AMA a triclosanem nebo chlorhexidinem, a také vzorek s DMAA a triclosanem. Pro bakterii *S. aureus* to potom byly vzorky taktéž vzorky AMA s triclosanem a nebo chlorhexidinem, přičemž velmi dobrých výsledků bylo dosaženo s DMAA a triclosanem. Tyto velmi uspokojivé výsledky můžeme připsat především funkčním skupinám zvolených látek pro funkcionalizaci povrchu (AMA a DMAA), na které se antibakteriální látky lépe navázaly mezimolekulovými silami.

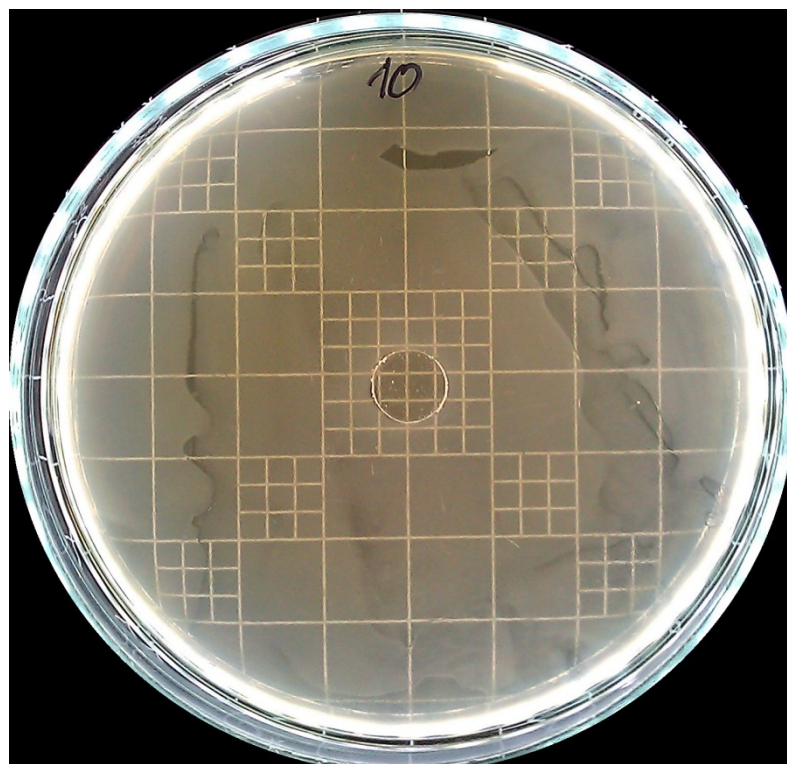
V tabulce 6 jsou uvedeny vypočtené plochy průměrných inhibičních zón, které odpovídají jedné z možností zápisu pro podobné účely. Celkové plochy inhibičních zón jsou vypočteny a uvažovány bez ploch antibakteriálních vzorků.

Tabulka 6 - Vypočtené průměrné plochy inhibičních zón pro *E. coli* a *S. aureus*

Vzorek	Průměrná plocha inhibiční zóny [mm <sup>2</sup> ]	
	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
PE	0,00	0,00
PE po výboji	0,00	0,00
PE po výboji, AA	58,04	12,20
PE po výboji, AA + Chlorhexidin	62,95	12,03
PE po výboji, AA + Triclosan	459,24	177,30
PE po výboji, AMA	0,00	19,95
PE po výboji, AMA + Chlorhexidin	421,54	233,66
PE po výboji, AMA + Triclosan	810,41	229,43
PE po výboji, DMAA	2,61	0,00
PE po výboji, DMAA + Chlorhexidin	351,89	65,69
PE po výboji, DMAA + Triclosan	844,52	225,83



Obrázek 20 - Vzorek se *S. aureus* a inhibiční zónou



Obrázek 21 - Vzorek *E. coli* bez inhibiční zóny



## 10.2 Měření povrchové energie a kontaktního úhlu

V tabulce 7 jsou uvedeny údaje o kontaktních úhlech deionizované vody ( $\theta_W$ ) jednotlivých vzorků. Je patrné, že námi zvolená PE-LD fólie vykazuje přirozené hydrofobní vlastnosti, které se mění díky oplazmování čistého vzorku - pozorováno zvýšení hydrofilicity. Hydrofilicita se poté lehce snižuje u všech vzorků, kde jsou navázány antibakteriální činidla. I tak je však hydrofilicita vzorků podstatně vyšší než u neopracovaného/čistého PE-LD vzorku.

Tabulka 7 - Kontaktní úhly jednotlivých vzorků - (deionizovaná voda (W), ethylenglykol (E), diiodomethan (D))

Vzorek	$\theta_W$ [°]	$\theta_E$ [°]	$\theta_D$ [°]
PE neopracovaný	87,06 ± 8,58	61,88 ± 3,26	44,32 ± 7,33
PE po výboji	63,02 ± 5,93	28,97 ± 5,79	37,04 ± 7,67
PE po výboji, AA	58,65 ± 6,90	28,09 ± 4,26	36,64 ± 3,94
PE po výboji, AA + Chlorhexidin	59,98 ± 6,83	28,30 ± 8,53	36,52 ± 9,79
PE po výboji, AA + Triclosan	66,23 ± 10,03	32,69 ± 11,16	34,21 ± 7,79
PE po výboji, AMA	62,40 ± 8,75	30,43 ± 8,82	38,15 ± 6,69
PE po výboji, AMA + Chlorhexidin	68,62 ± 9,92	31,23 ± 9,25	35,24 ± 12,18
PE po výboji, AMA + Triclosan	68,52 ± 5,90	40,54 ± 8,32	29,45 ± 23,85
PE po výboji, DMAA	59,47 ± 2,79	34,52 ± 9,04	35,30 ± 3,84
PE po výboji, DMAA + Chlorhexidin	59,65 ± 10,17	28,02 ± 22,70	35,06 ± 2,67
PE po výboji, DMAA + Triclosan	73,36 ± 16,54	47,68 ± 2,05	37,03 ± 9,98

Z výsledných hodnot povrchové energie, uvedených v tabulce 8, je zřejmé, že neopracovaný PE vykazuje nejnižší hodnotu celkové povrchové energie ( $\gamma^{tot}$ ), což odpovídá jeho přirozené hydrofobitě. Je ukázána také základní povaha povrchu, kdy donorová část převyšuje část akceptorovou ( $\gamma^- > \gamma^+$ ). Povrch ošetřený plazmovým výbojem svou  $\gamma^{tot}$  naopak zvýšil, což odpovídá jeho vyšší hydrofilitě (viz. Tabulka 7). U plazmovaného povrchu můžeme taktéž zaznamenat výrazné zvýšení polární složky ( $\gamma^{AB}$ ), která je dána především plazmatickou úpravou, kdy byly na povrch inkorporovány umělé polární funkční skupiny obsahující kyslík. V případě AA s chlorhexidinem/triclosanem a AMA s chlorhexidinem/triclosanem dochází k výraznému nárůstu  $\gamma^{tot}$  oproti neopracovanému PE-LD, a v případě plazmovaných povrchů (s výjimkou AMA a triclosan, DMAA a DMAA a triclosan) již nedochází k výraznějším rozdílům. Oproti ostatním vzorkům došlo k výraznějšímu poklesu  $\gamma^{tot}$  u vzorku s DMAA a triclosanem. Tento stav koresponduje s vyšším kontaktním úhlem  $\theta_W$  a tedy nižší hydrofilitou tohoto vzorku.

Tabulka 8 - Hodnoty povrchové energie jednotlivých vzorků

Vzorek	$\gamma^-$ [mJ/m <sup>2</sup> ]	$\gamma^+$ [mJ/m <sup>2</sup> ]	$\gamma^{AB}$ [mJ/m <sup>2</sup> ]	$\gamma^{LW}$ [mJ/m <sup>2</sup> ]	$\gamma^{tot}$ [mJ/m <sup>2</sup> ]
PE neopracovaný	4,74	0,06	1,10	37,37	38,47
PE po výboji	14,91	0,48	5,35	41,07	46,41
PE po výboji, AA	20,40	0,25	4,55	41,26	45,80
PE po výboji, AA + Chlorhexidin	18,64	0,31	4,78	41,32	46,10
PE po výboji, AA + Triclosan	12,59	0,30	3,87	42,39	46,26
PE po výboji, AMA	16,31	0,39	5,03	40,53	45,56
PE po výboji, AMA + Chlorhexidin	9,32	0,63	4,86	41,92	46,78
PE po výboji, AMA + Triclosan	13,65	0,00	0,08	44,45	44,53
PE po výboji, DMAA	22,69	0,01	1,16	41,89	43,05
PE po výboji, DMAA + Chlorhexidin	19,01	0,25	4,34	42,00	46,35
PE po výboji, DMAA + Triclosan	11,47	0,00	0,27	41,07	41,35

### 10.3 FTIR

Signály pozorované při ATR-FTIR u vzorku původního (čistého) PE-LD byly povětšinou, stejně jako u dalších vzorků, velmi nízké intenzity. V případě čistého vzorku PE-LD. Velmi slabý široký signál můžeme nalézt v oblasti 3900 - 3600 cm<sup>-1</sup>, které odpovídají -OH vibraci. Následují dva větší píky v oblasti 2944 - 2800 cm<sup>-1</sup>, kterým můžeme přiřadit C-H vibraci. V okolí 2326 cm<sup>-1</sup> je viditelný velmi slabý pík odpovídající CO<sub>2</sub> vibraci, kterýžto pravděpodobně pochází z okolního prostředí při měření vzorků. Na vlnočtu 2035 a jeho okolí můžeme spatřit vibraci odpovídající CH<sub>2</sub>, vlnočet 1884 poté odpovídá C-H vibraci. V oblasti 1768 - 1478 cm<sup>-1</sup> můžeme nalézt signál C=O skupiny. Pík v 1477 - 1385 cm<sup>-1</sup> odpovídá -OH. Signál na pozici 1384 - 1310 cm<sup>-1</sup> odpovídá C-H vibraci, navazující širší signál ležící na vlnočtu 1310 - 1156 cm<sup>-1</sup> náleží C=O vibraci. Vlnočty 1104 a 975 poukazují na C=N vibrace. Pík v oblasti 718 cm<sup>-1</sup> odpovídá C-H signálu, následující větší pík na vlnočtu 721 odpovídající CH<sub>2</sub> vibraci.

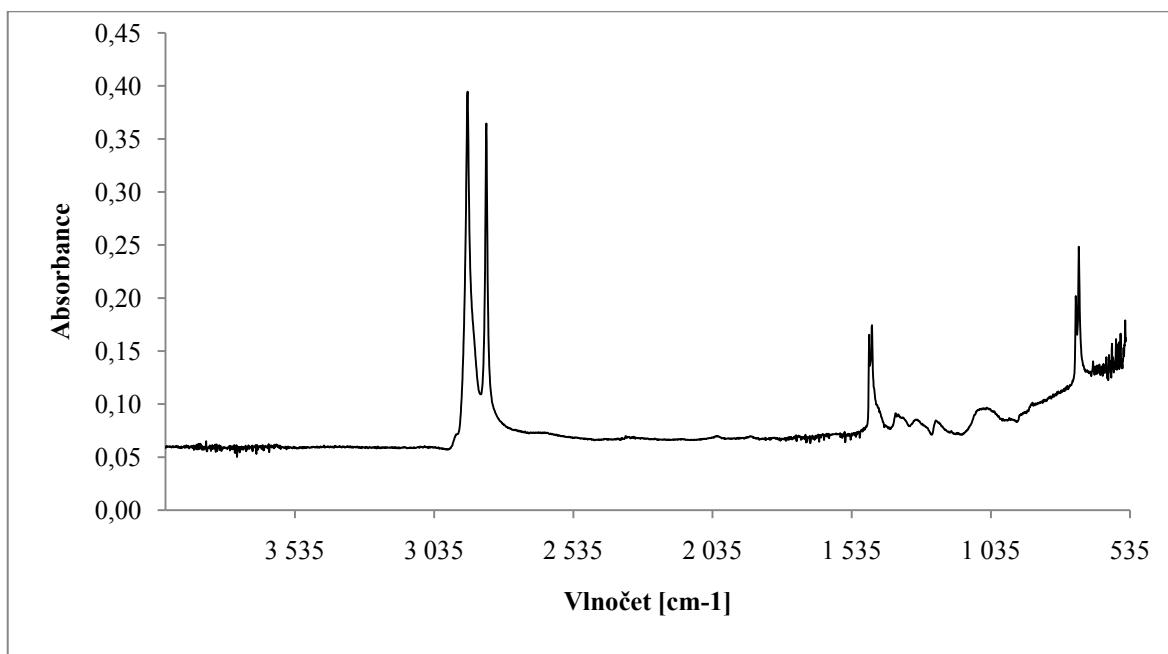
U vzorku opracovaného plazmatem můžeme pozorovat změny především v intenzitě získaných signálů. Jsou to zejména tyto oblasti: 3900 - 3710 cm<sup>-1</sup>, 1705 - 1477 cm<sup>-1</sup> a oblast 600 - 535 cm<sup>-1</sup>, které poukazují na opracovávání vzorku plazmatem za účasti kyslíku, který tvoří podmínky pro další roubování látek.

Po roubování AA se zvýraznily píky v oblasti 1705 - 1477 cm<sup>-1</sup> a oblast 600 - 535 cm<sup>-1</sup>. Po navázání chlorhexidinu a triclosanu lze pozorovat zvýraznění oblasti 3700 - 3750 cm<sup>-1</sup>, která odpovídá přítomnosti dusíku, který se nalézá jak v AA tak v samotném chlorhexidinu, tak triclosanu (tedy antibakteriálních činidlech všeobecně). Oblast 2351 - 2281 cm<sup>-1</sup> prošla také drobnou změnou, která však může být opět přičtena spíše přítomnosti CO<sub>2</sub>

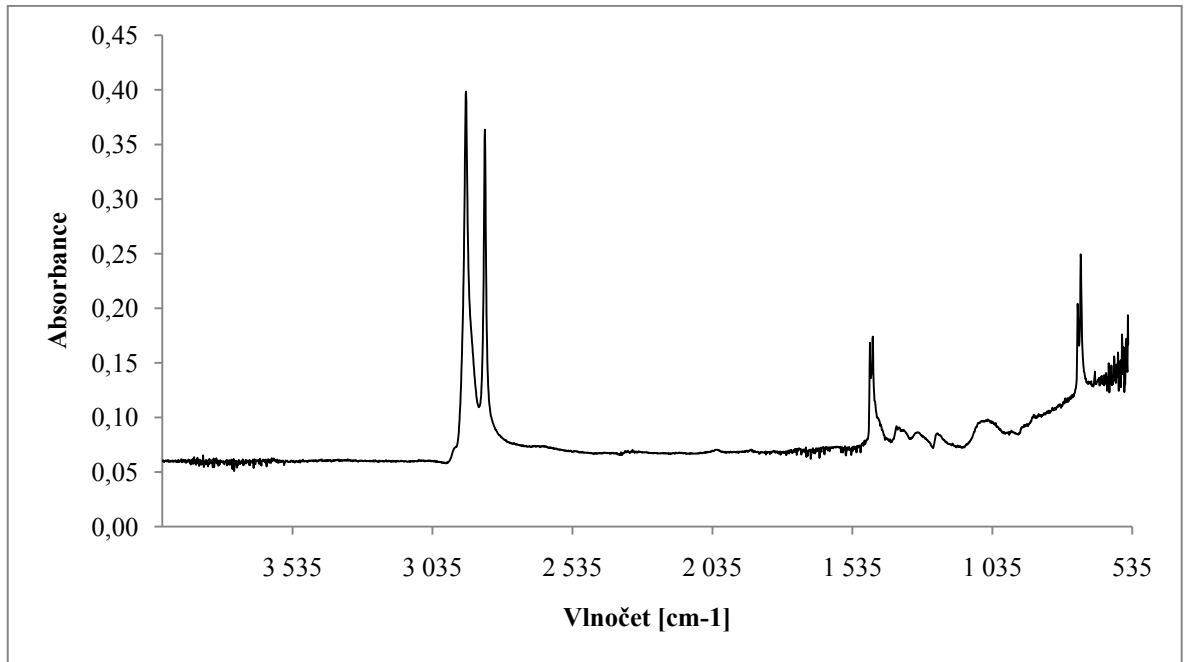
v průběhu měření v laboratoři. Naopak v oblasti  $1768 - 1478 \text{ cm}^{-1}$  došlo ke zmenšení intenzity signálu, které může být přičteno navázání antibakteriálního činidla. K další změně došlo opět v oblasti  $600 - 535 \text{ cm}^{-1}$ .

Po roubování AMA došlo pouze k několika drobným změnám v charakteru, a to v oblasti  $3878 - 3790 \text{ cm}^{-1}$ , kde se opět projevila přítomnost dusíku ve vzorku a v oblasti  $1700 - 1591 \text{ cm}^{-1}$  odpovídající C=N vibraci. Tyto drobné změny můžeme taktéž pozorovat u grafů po nanesení antibakteriálních činidel. Nejvýraznější změny bylo dosaženo při nanesení triclosanu, kdy se zřetelně zesílil pík na  $2848 \text{ cm}^{-1}$  náležící C-H vibraci. K další změně došlo opět v oblasti  $600 - 535 \text{ cm}^{-1}$ .

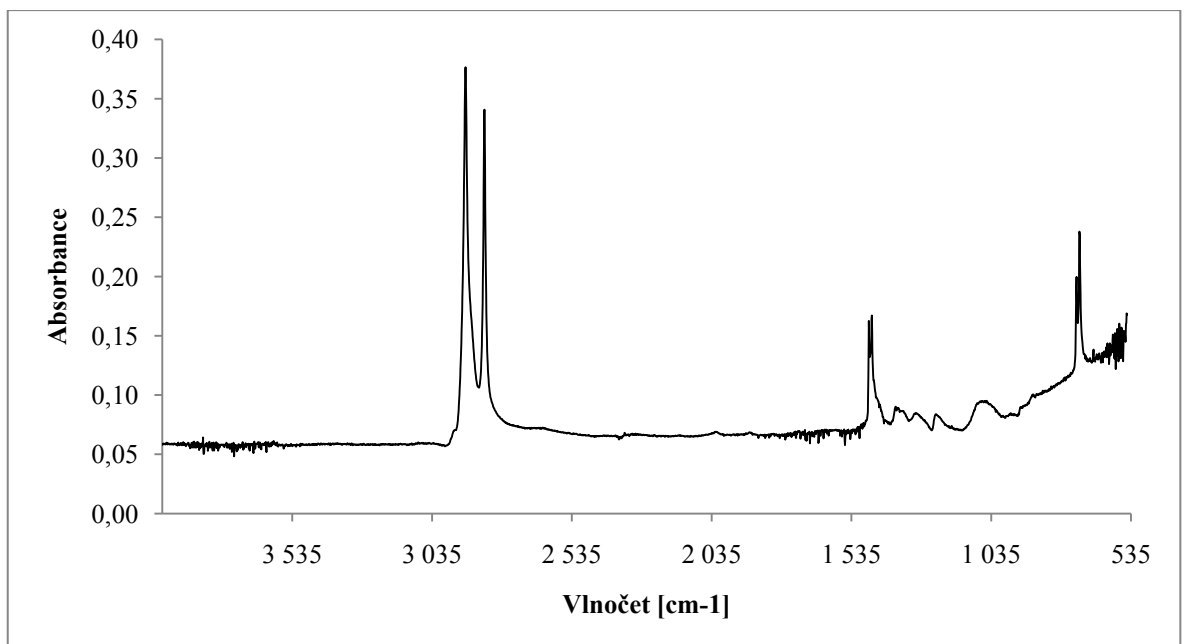
Po roubování DMAA se charakter grafu změnil taktéž na třech místech: v oblasti  $3878 - 3790 \text{ cm}^{-1}$ , kde se opět projevila přítomnost dusíku, v oblasti okolo drobného píku  $2035 \text{ cm}^{-1}$ , kde se nám objevila  $\text{CH}_2$  vibrace, a v oblasti  $1700 - 1591 \text{ cm}^{-1}$ , která se opět váže na přítomnost dusíku ve vzorku. V neposlední řadě se opět projevila změna v oblasti  $600 - 535 \text{ cm}^{-1}$ , respektive  $525 \text{ cm}^{-1}$  u navázaného triclosanu. V případě jak navázaného triclosanu, tak chlorhexidinu došlo navíc ke změnám v oblasti  $1154 \text{ cm}^{-1}$  odpovídající signálu C=C,  $1045 \text{ cm}^{-1}$  reprezentující vibraci C=N, a  $866 \text{ cm}^{-1}$  popisující C-H vibraci.



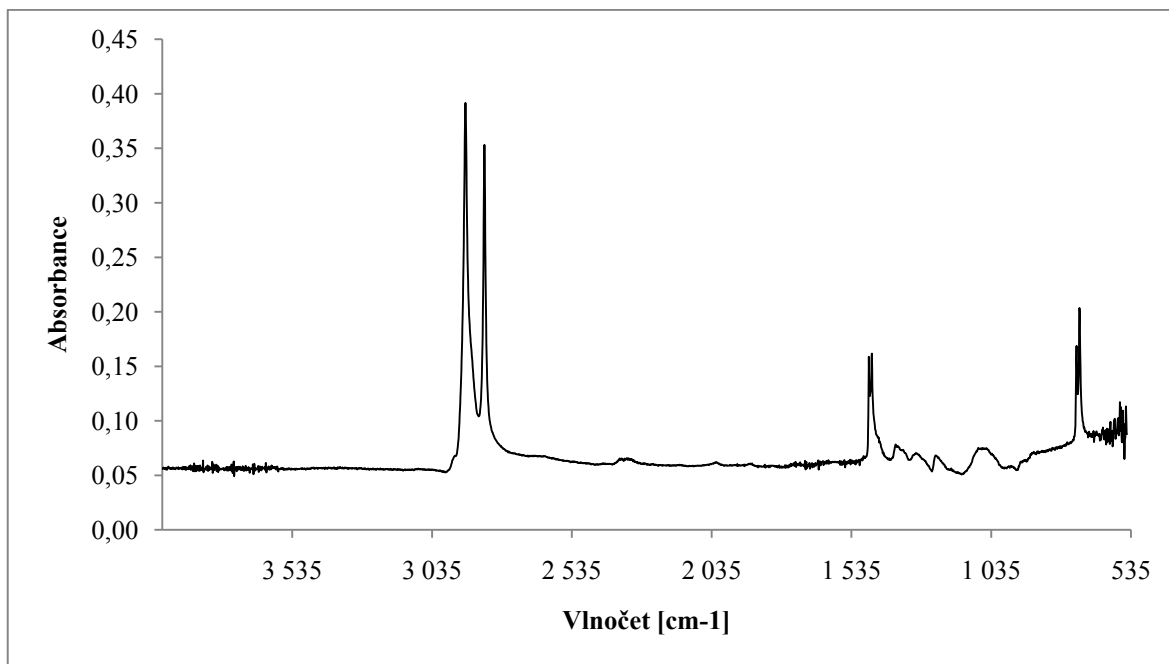
Obrázek 22 - Nepracovaný PE-LD



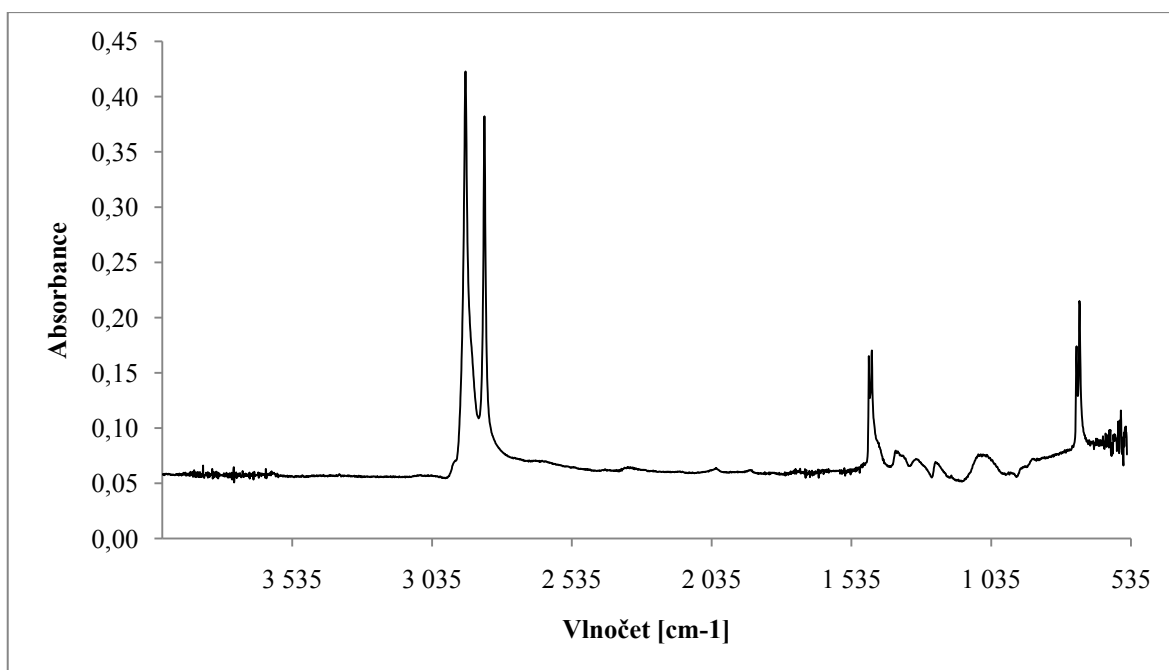
Obrázek 23 - PE-LD po výboji



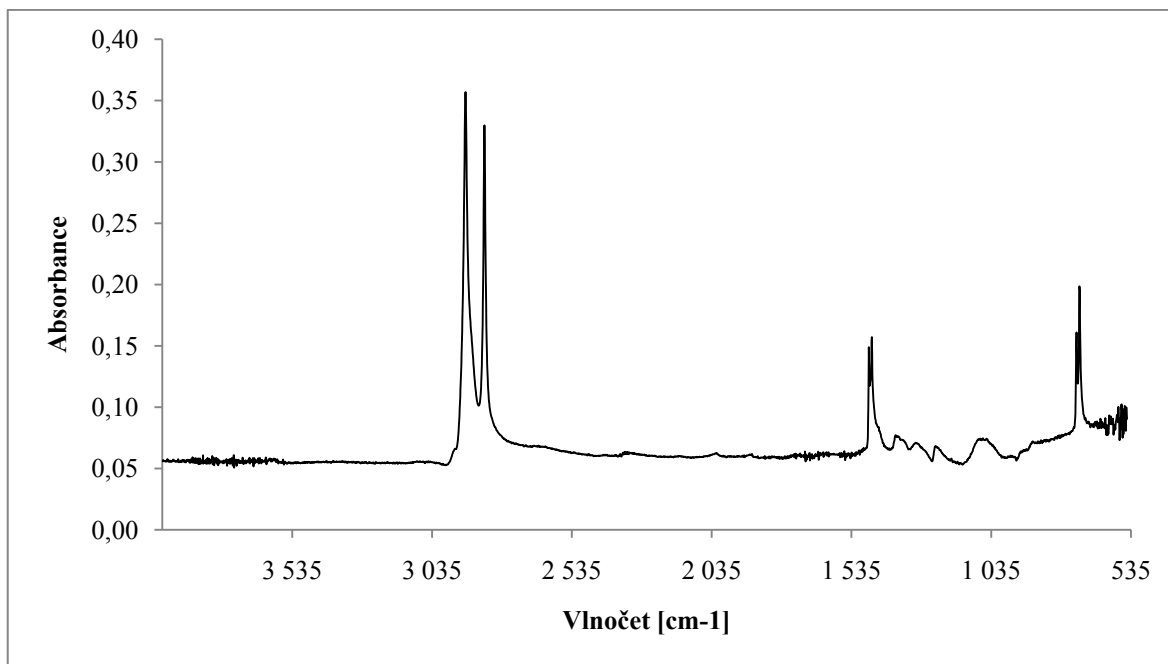
Obrázek 24 - PE-LD po výboji, AA



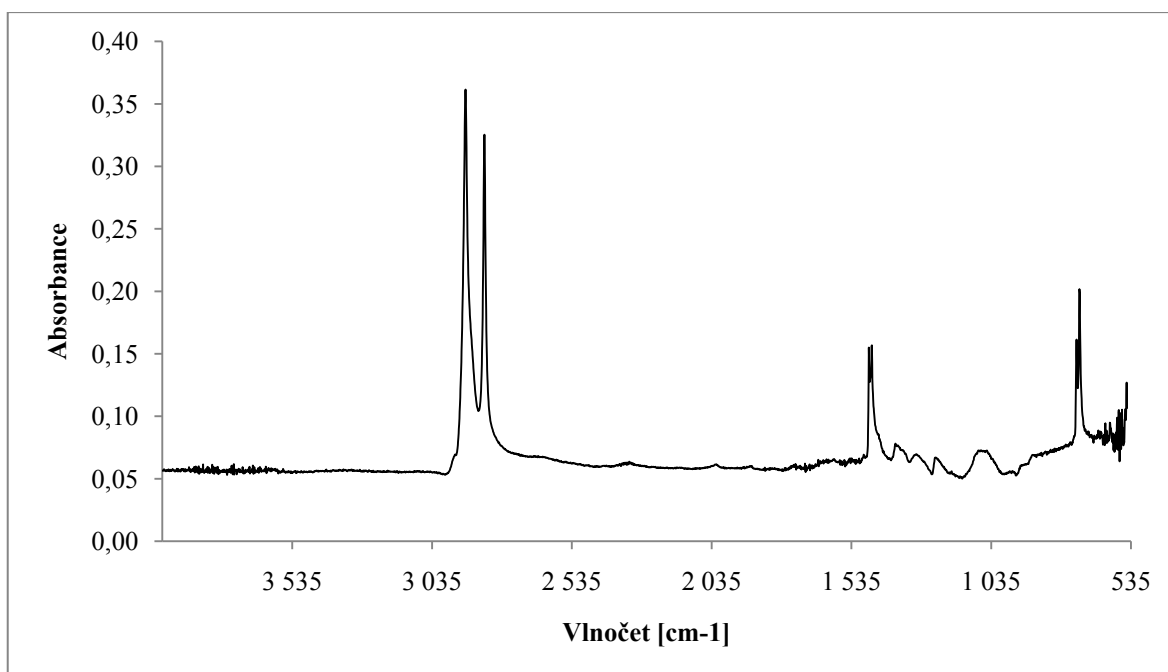
Obrázek 25 - PE-LD po výboji, AA + Chlorhexidin



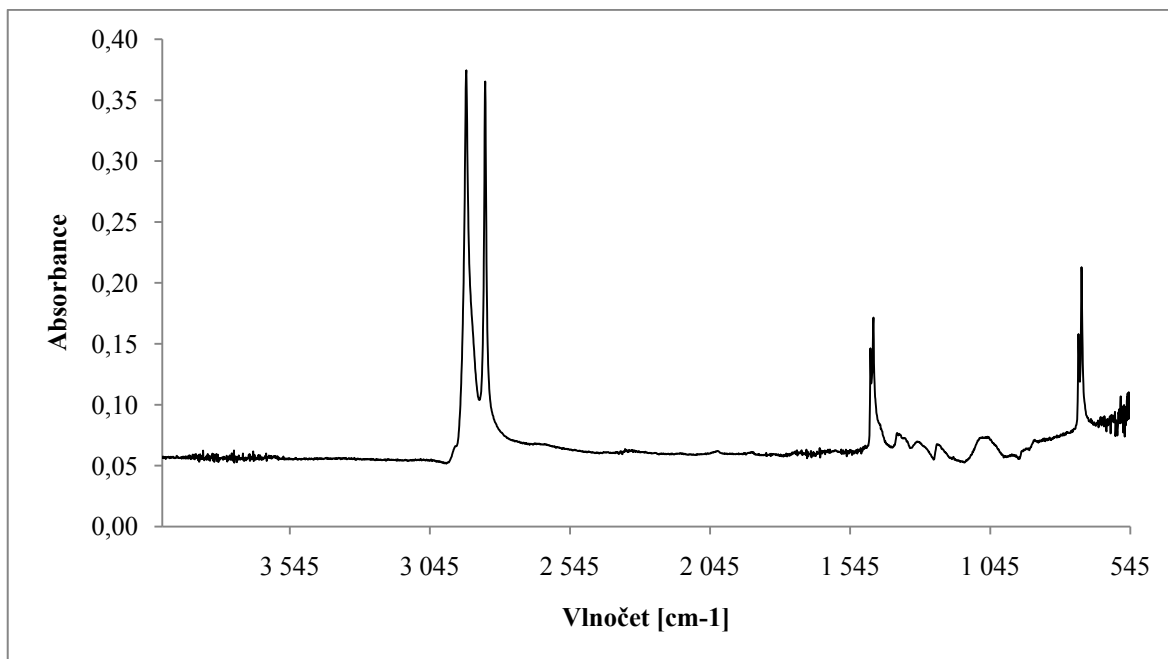
Obrázek 26 - PE-LD po výboji, AA + Triclosan



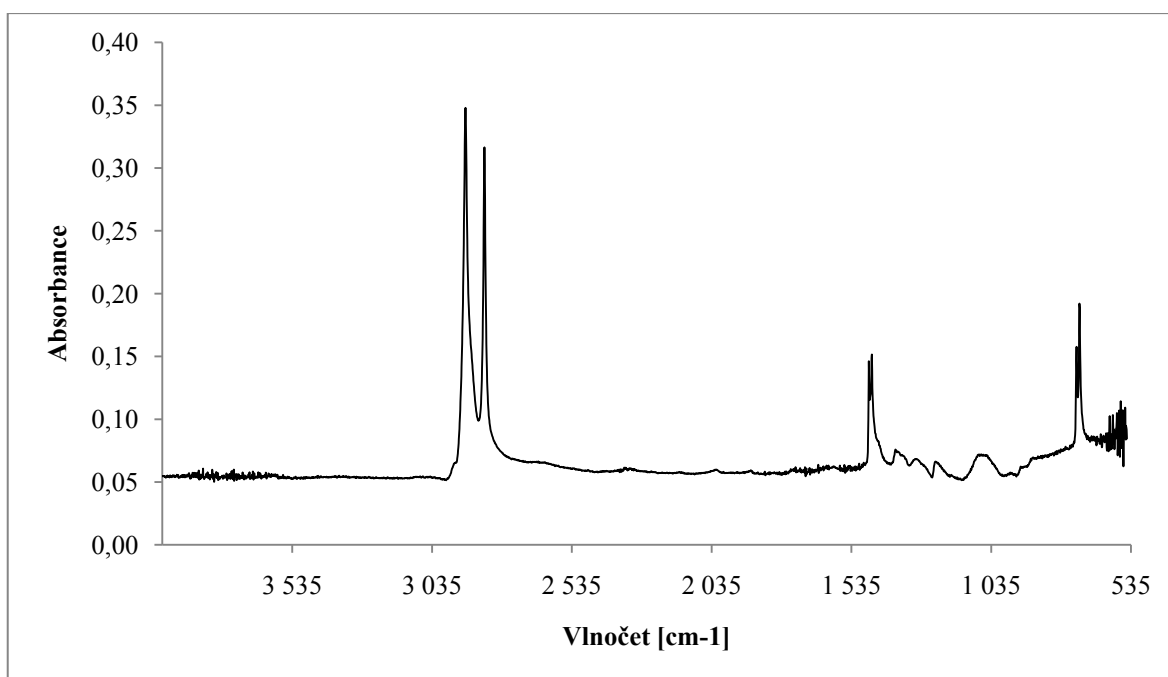
Obrázek 27 - PE-LD po výboji, AMA



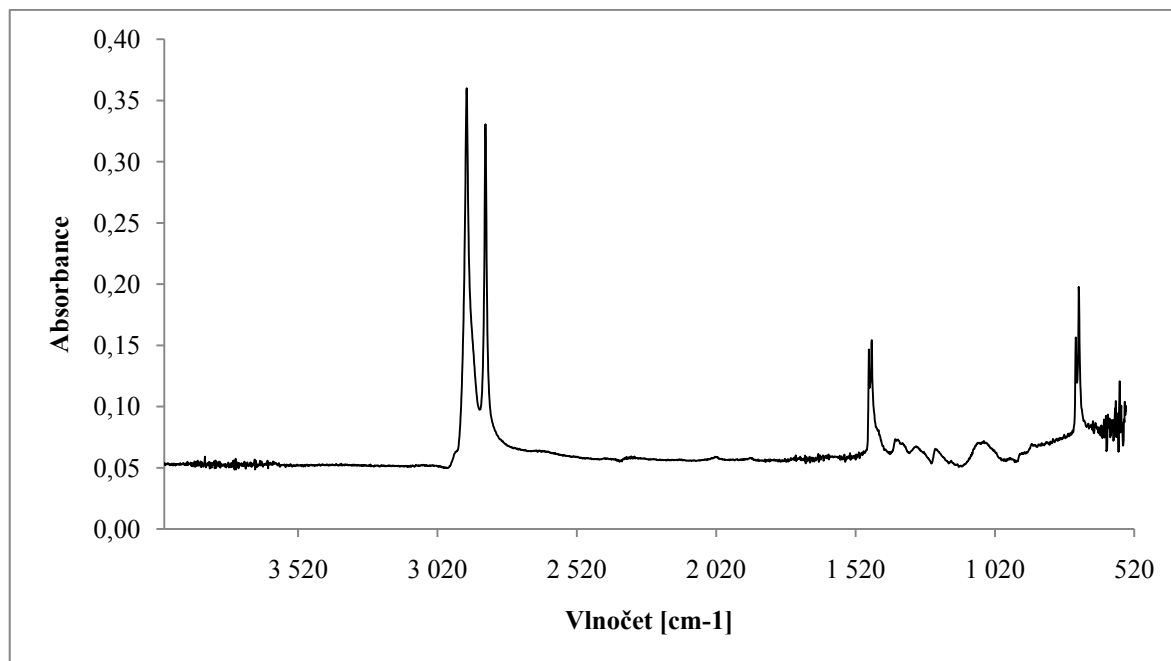
Obrázek 28 - PE-LD po výboji, AMA + Chlorhexidin



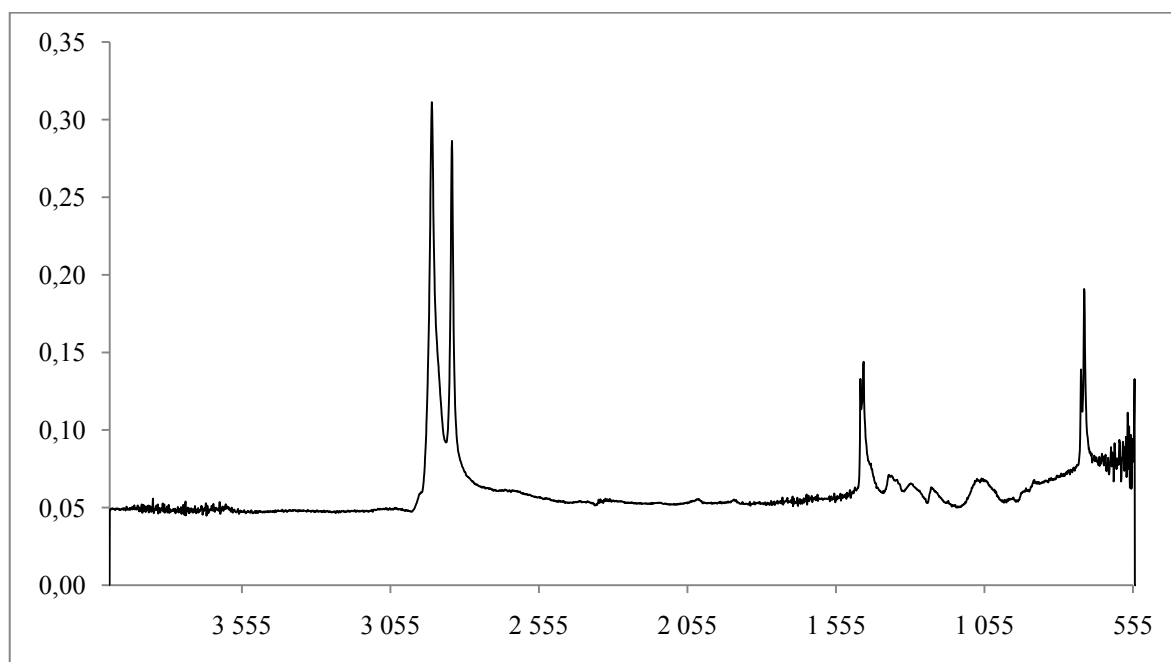
Obrázek 29 - PE-LD po výboji, AMA + Triclosan



Obrázek 30 - PE-LD po výboji, DMAA



Obrázek 31 - PE-LD po výboji, DMAA + Triclosan



Obrázek 32 - PE-LD po výboji, DMAA + Chlorhexidin

## 10.4 SEM

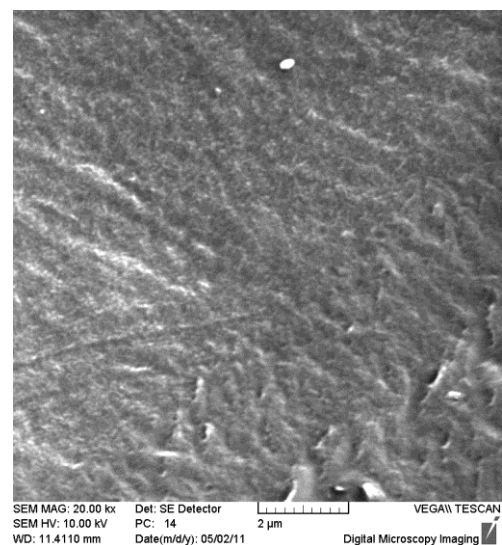
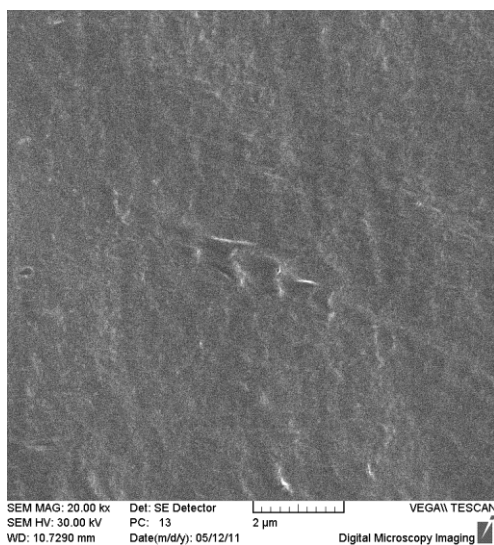
Ze snímku neopracovaného PE-LD je vidět, že jeho povrch je relativně hladký s jednotnou morfologií. Při větším zvětšení by nízký stupeň morfologie byl ještě patrnější. Povrch také vykazuje jisté diagonální zvrásnění, ke kterému pravděpodobně došlo již při výrobě samotné PE-LD folie. Poté, co je vzorek oplazmován, můžeme vidět změnu v morfologii



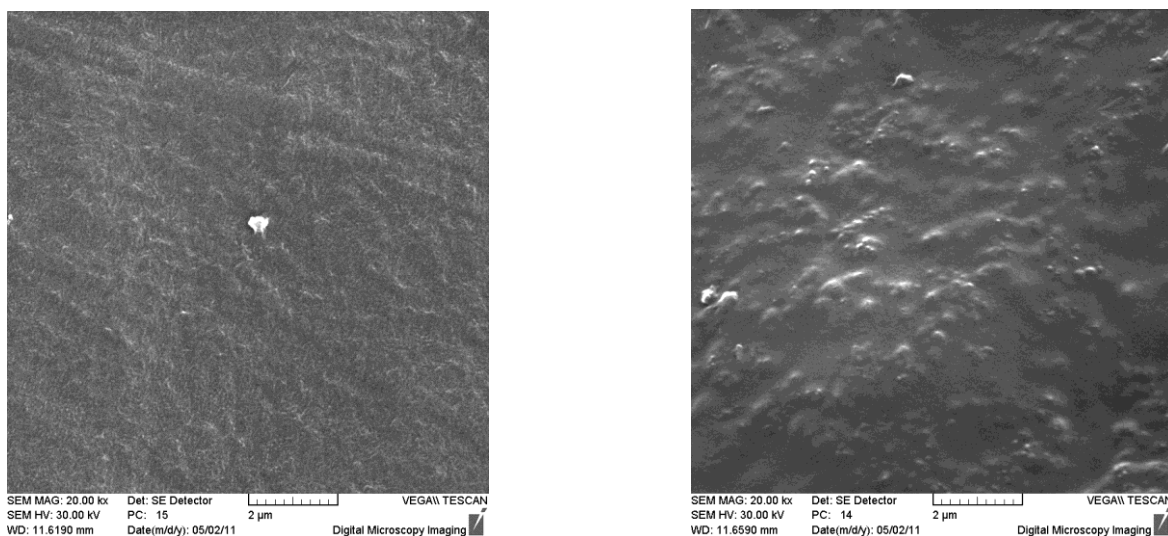
povrchu - naleptání - s texturou nepravidelného tvaru, kdy se na toto zdrsnění postupně naváží další látky.

Na dalším snímku můžeme vidět PE-LD, který byl po opracování v plazmovém reaktoru vystaven parám AA. Morfologie je téměř obdobná jako ta u vzorku, jež byl pouze plazmován, na tomto snímku je však kompaktnější. Zároveň se nedá hovořit o výrazném vlivu funkcionalizace povrchu na celkovou morfologii vzorku. Oproti tomu vzorek s roubovaným AMA a navázaným triclosanem má zcela rozdílnou strukturu. Zde můžeme vidět evidentní zdrsnění povrchu vzniklé roubováním AMA, což usnadnilo následné navázání triclosanu, který povrch pokryl tenkou vrstvou.

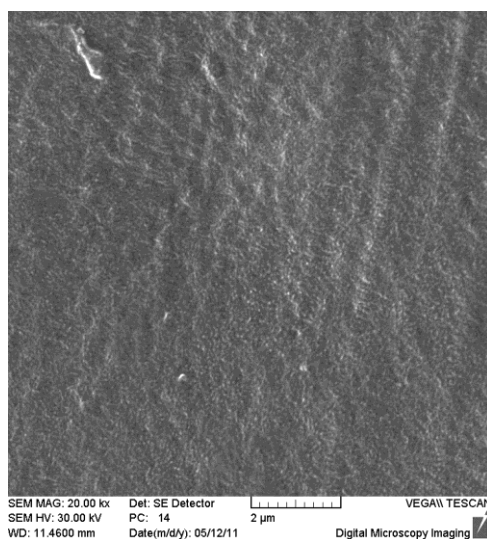
Téměř hladký povrch byl poté získán pro vzorek, který byl opracován nízkoteplotním plazmatem, vystaven parám DMAA s následně navázaným chlorhexidinem. Je zřejmé, že vrstva chlorhexidinu překrývá zdrsněný povrchový reliéf a tento je poté vyhlazen.



Obrázek 33 - SEM snímek neopracovaného PE-LD (vlevo) a PE-LD opracovaného v plazmatu (vpravo)



Obrázek 34 - SEM snímek PE-LD + plazma + AA (vlevo) a PE-LD + plazma + AMA + triclosan (vpravo)



Obrázek 35 - SEM snímek PE-LD + plazma +  
DMAA + chlorhexidin

## 10.5 XPS

Ze základní analýzy můžeme zjistit přítomnost základních prvků - uhlíku (C1s), kyslíku (O1s), dusíku (N1s) a chlóru (Cl2p), jejichž skladba a poměry jsou uvedeny v tabulce 10 a 11. Na základě uvedených dat můžeme říct, že podíl C1s v povrchové struktuře PE-LD je podle předpokladu velmi výrazný. U tohoto vzorku se také objevilo menší množství O1s, které můžeme připsat přítomnosti nečistot nebo určitému stupni degradace. Po plazmování došlo k výraznému nárůstu O1s na hodnotu 12,1 %, což odpovídá tomuto procesu, kdy dochází k inkorporaci skupin obsahujících kyslík. Vzhledem k tomu, že médiem pro ošetření pomocí plazmatu byl vzduch, můžeme zde také nalézt 1,1 % N1s, zároveň však úměr-

ně klesla koncentrace C1s. V případě PE-LD s navázaným AA, AMA, nebo DMAA můžeme pozorovat výrazné snížení O1s, které úzce souvisí s navázáním těchto látek přes kyslíkové skupiny na povrchu PE-LD. Důkaz přítomnosti triclosanu můžeme vidět v přítomnosti Cl2p a v opětovném navýšení O1s na 12 %, jelikož triclosan obsahuje kyslík ve své struktuře. Důkaz chlorhexidinu představuje opět přítomnost Cl2p a výrazné navýšení N1s, který je součástí struktury chlorhexidinu. Po navázání AA, AMA, nebo DMAA přes kyslíkové skupiny oplazmovaného povrchu dochází ke snížení O1s, jehož procentuální zastoupení se dále lehce snižuje po navázání antibakteriální látky (chlorhexidinu), který v konečné fázi zastíní další malou část spektra.

Tabulka 9 - Procentuální zastoupení chemických prvků na testovaných površích

Vzorek	C1s [%]	O1s [%]	N1s [%]	Cl2p [%]
PE	98,8	1,2	-	-
PE po výboji	86,8	12,1	1,1	-
PE po výboji, AA	87,0	8,9	3,9	-
PE po výboji, AA + Chlorhexidin	84,5	7,1	6,4	2,0
PE po výboji, AA + Triclosan	84,6	12,0	0,7	2,7
PE po výboji, AMA	88,2	8,2	3,6	-
PE po výboji, AMA + Chlorhexidin	83,9	6,4	5,8	3,9
PE po výboji, AMA + Triclosan	82,2	13,2	0,5	4,1
PE po výboji, DMAA	89,2	7,0	3,4	-
PE po výboji, DMAA + Chlorhexidin	84,1	6,4	5,7	3,8
PE po výboji, DMAA + Triclosan	82,0	13,3	0,5	4,2

Tabulka 10 - Charakteristické poměry chemických prvků na povrchu měřených substrátů ku množství uhlíku

Vzorek	O/C	N/C	Cl/C
PE	0,0121	-	-
PE po výboji	0,1394	0,0127	-
PE po výboji, AA	0,1023	0,0448	-
PE po výboji, AA + Chlorhexidin	0,0840	0,0757	0,0237
PE po výboji, AA + Triclosan	0,1418	0,0083	0,0319
PE po výboji, AMA	0,0930	0,0408	-
PE po výboji, AMA + Chlorhexidin	0,0763	0,0691	0,0465
PE po výboji, AMA + Triclosan	0,1606	0,0061	0,0499
PE po výboji, DMAA	0,0785	0,0381	-
PE po výboji, DMAA + Chlorhexidin	0,0761	0,0678	0,0452
PE po výboji, DMAA + Triclosan	0,1622	0,0061	0,0512

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvořit materiál s antibakteriálními vlastnostmi pro použití v potravinářství. Za materiál byl zvolen PE-LD, který byl definovaným způsobem zbaven nečistot a byl opracován v nízkoteplotním plazmatu, kde došlo k modifikaci povrchu jednotlivých vzorků. Vzorky byly dále vystaveny parám AA, AMA, nebo DMAA za účelem naroubování řetězců s koncovými aminovými skupinami. Na takto připravené substráty bylo možno fyzikálně navázat vybraná antibakteriální činidla, která umožnila postupné uvolňování těchto do okolí. Antibakteriální schopnosti takto připravených vzorků byly otestovány a byla provedena charakterizace všech vzorků pomocí dostupných moderních analytických metod.

Z výsledků získaných v průběhu antibakteriálních testů můžeme říci, že námi navázané antibakteriální látky vykazovaly s větším či menším efektem účinnost vůči bakteriím rodu *E. coli* a *S. aureus*. Čistý PE-LD, jeho forma opracovaná v nízkoteplotním plazmatu ani vzorky po navázání AA, AMA a DMAA nevykazovaly žádné případně nepatrné antibakteriální účinky. Bakterie rodu *E. coli* byly taktéž resistantní vůči vzorkům s allylaminem a chlorhexidinem a *N,N*-dimethylallylaminem s chlorhexidinem. V případě rodu *S. aureus* byly neúčinné pouze vzorky s roubovaným allylaminem a chlorhexidinem. Ostatní připravené vzorky vykazovaly velmi dobré antibakteriální schopnosti jak vůči *S. aureus*, tak *E. coli*.

Z výsledných hodnot povrchové energie je zřejmé, že neopracovaný PE vykazuje nejnižší hodnotu celkové povrchové energie, což odpovídá jeho přirozené hydrofobitě. Povrch ošetřený plazmovým výbojem svou celkovou povrchovou energii naopak zvýšil, což odpovídá jeho vyšší hydrofilitě. V případě AA s chlorhexidinem nebo triclosanem, AMA s chlorhexidinem nebo triclosanem a DMAA s chlorhexidinem dochází k výraznému nárůstu celkové povrchové energie oproti neopracovanému PE-LD. Oproti ostatním vzorkům došlo k výraznějšímu poklesu celkové povrchové energie u vzorku s DMAA a triclosanem. Hodnoty celkové povrchové energie byly konfrontovány s naměřenými kontaktními úhly.

Signály ATR-FTIR byly popsány v příslušné kapitole a vzhledem k tomu, že dosahovaly velmi nízké intenzity signálu, bylo nutné porovnat získané výsledky s rentgenovou fotoelektronovou spektroskopií.

Ze snímku neopracovaného PE-LD je vidět, že jeho povrch je relativně hladký s jednotnou morfologií. Poté, co je vzorek oplazmován, můžeme vidět změnu v morfologii povrchu s

texturou zdrsňeného nepravidelného tvaru pro postupné navázání další látky. Po vystavení parám AA je morfologie téměř obdobná jako u oplazmovaného vzorku, je však kompaktnější. Zároveň se nedá hovořit o výrazném vlivu funkcionalizace povrchu na celkovou morfologii vzorku. Oproti tomu vzorek s roubovaným AMA a navázaným triclosanem můžeme vidět evidentní zdrsňení povrchu vzniklé roubování AMA, kdy se řetězce AMA na některých místech shlukly do větších formací, na které se následně navázal triclosan, který povrch vyhladil. Téměř hladký povrch byl poté získán pro vzorek, který byl opracován nízkoteplotním plazmatem, vystaven parám DMAA s následně navázaným chlorhexidinem. Je zřejmé, že vrstva chlorhexidinu překrývá zdrsňený povrchový reliéf a tento je poté takřka vyhlazen.

Vyhodnocení rentgenové fotoelektronové spektroskopie ukázalo velmi vysoký podíl uhlíku v povrchové struktuře neopracovaného PE-LD. U plazmovaného vzorku dochází k výraznému nárůstu zastoupení kyslíku přesahující hodnotu 12 %. V případě PE-LD s navázaným AA, AMA, nebo DMAA můžeme pozorovat výrazné snížení O1s. Důkaz přítomnosti antibakteriálních činidel můžeme vidět v přítomnosti Cl2p. V případě triclosanu můžeme pozorovat opětovné navýšení O1s na 12 %. Důkaz chlorhexidinu představuje opět přítomnost Cl2p a výrazné navýšení N1s.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Urbánková M.: Princip a význam bariérových vlastností plastových obalů pro potravinářské aplikace. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín 2010, vedoucí práce Ing. Vladimír Sedlařík, Ph.D.
- [2] Kačeňák I.: Obaly a obalová technika. SVŠT, Bratislava 1989, ISBN 80-227-0301-X
- [3] Čurda D.: Balení potravin. SNTL, Praha, 1982, ISBN 04-832-82
- [4] Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech, ve znění pozdějších předpisů
- [5] Referáty-seminárky.cz: Obaly a obalové materiály. online, 23.9.2006, [cit. 3.12.2010], dostupné z www: <<http://referaty-seminarky.cz/obaly-a-obalove-materialy/>>
- [6] Abušínov A.: Od plastů se v roce 2010 očekávalo více. In MM Spektrum 2011/1, 16. února 2011, str. 22, ISSN 1212-2572
- [7] Štěpek D.: Polymery v obalové technice. SNTL, Praha 1981, ISBN 04-608-81
- [8] ČSN 77 0052-2, Obaly - Obalové odpady - Část 2: Identifikační značení pro zhodnocení
- [9] Brody A. L. et al.: Active Packaging for Food Applications. CRC Press LLC, New York 2001, ISBN 1-58716-045-5
- [10] Piringer O.-G. et al: Plastic Packaging Materials for Food: Barrier Function, Mass Transport, Quality Assurance, and Legislation. WILEY-VCH Verlag GmbH, Weinheim 2000, ISBN 3-527-28868-6
- [11] Sosnovcová J.: Aktivní a inteligentní obalové systémy pro balení potravin. In Vědecký výbor pro potraviny - Informace vědeckého výboru, 2008, deklasifikovaný dokument, online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <[http://www.chpr.szu.cz/vedvybor/dokumenty/informace/info\\_2007\\_22\\_deklas\\_FCM.pdf](http://www.chpr.szu.cz/vedvybor/dokumenty/informace/info_2007_22_deklas_FCM.pdf)>
- [12] Vörös F.: Polymery ve světě a v ČR. Svaz chemického průmyslu České republiky, online, 7.1.2011, [cit. 22.3.2011]. Dostupný z www: <<http://www.schp.cz/html/index.php?>>
- [13] Kvasničková A.: Aktivní obaly potravin a možnosti využití nanotechnologií. In CPS\_brezen2010\_anotace, online, VŠCHT Praha: VŠCHT Praha, březen 2010 [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <[http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kvasnickova2/CPS\\_brezen2010\\_anotace.pdf](http://www.bezpecnostpotravin.cz/UserFiles/File/Kvasnickova2/CPS_brezen2010_anotace.pdf)>

- [14] Ducháček V.: Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. ISBN 80-7080-617-6
- [15] Robertson G. L.: Food Packaging: Principles and Practice Packaging and Converting Technology. CRC Press, New York 1993, ISBN 0-8247-0175-5
- [16] Dobiáš J.: Současný stav využívání aktivních systémů balení při výrobě potravin (I). In Packaging: Obal a věda, online, Prosinec 2003/36, [cit. 23.3.2011], dostupné z WWW: <[http://www.packaging-cz.cz/printernet/Packaging/PAC062003/Pdf/packa\\_06\\_03\\_bk06.pdf](http://www.packaging-cz.cz/printernet/Packaging/PAC062003/Pdf/packa_06_03_bk06.pdf)>
- [17] Krpálková M.: Aktivní obaly. Diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, Liberec 2010, vedoucí práce Ing. Aleš Gardián, MBA
- [18] Brody A. L. et al.: Innovative Food Packaging Solutions. In Journal of Food Science, Vol. 73, Nr. 8, 2008
- [19] Wikipedia: Polyetylén. Online, [cit. 22.3.2011], dostupné z www: <<http://sk.wikipedia.org/wiki/Polyetylén>>
- [20] Wikipedia org.: Polyethylene. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <<http://en.wikipedia.org/Polyethylene>>
- [21] Tice P.: Packaging Materials: 4. Polyethylene for Food Packaging Applications. Report, ILSI Europe Packaging Material Task Force, 2003, online, [cit. 1.3.2011], zdroj WWW: <[http://www.agronavigator.cz/UserFiles/File/Agronavigator/Kvasnickova\\_2/ILSI\\_4.pdf](http://www.agronavigator.cz/UserFiles/File/Agronavigator/Kvasnickova_2/ILSI_4.pdf)>
- [22] Vasile C. et al.: Practical Guide to Polyethylene. Rapra Technology Limited, Shropshire 2005, ISBN 1-85957-493-9
- [23] Adámek R.: Vliv záření na vlastnosti vybraných plastů. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín 2008, vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
- [24] Petroleum cz: Nízkohustotní polyethylen (LDPE). Online, [cit. 22.3.2011], dostupné z www: <<http://www.petroleum.cz/vyrobky/ldpe.aspx>>
- [25] Malpass D. B.: Introduction to Industrial Polyethylene: Properties, Catalysts, Processes, Scrivener Publishing LLC, New Jersey 2010, ISBN 978-0-470-62598-9
- [26] Wikipedia: Escherichia coli. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Escherichia\\_coli](http://cs.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli)>  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Escherichia\\_coli](http://en.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli)>

- [27] Repetitorium mikrobiologie: Escherichia coli. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: < <http://old.lf3.cuni.cz/ustavy/mikrobiologie/rep/esco.htm>>
- [28] Wikipedia: Staphylococcus aureus. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Staphylococcus\\_aureus](http://cs.wikipedia.org/wiki/Staphylococcus_aureus)> a < [http://en.wikipedia.org/wiki/Staphylococcus\\_aureus](http://en.wikipedia.org/wiki/Staphylococcus_aureus)>
- [29] Repetitorium mikrobiologie: Staphylococcus aureus. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: < <http://old.lf3.cuni.cz/ustavy/mikrobiologie/rep/stau.htm>>
- [30] Toxikon: Staphylococcus aureus. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: [http://www.biotox.cz/toxikon/bakterie/bakterie/staphylococcus\\_aureus.php](http://www.biotox.cz/toxikon/bakterie/bakterie/staphylococcus_aureus.php)
- [31] McGhee A.: Triclosan. Online, [23.3.2011], dostupné z www: < <http://www.health-report.co.uk/triclosan.html>>
- [32] Wikipedia: Triclosan. Online, [23.3.2011], dostupné z www: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Triclosan>>
- [33] Menoutis J. et al.: Technology Review Series: Triclosan and Its Impurities. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <<http://www.quantexlabs.com/AboutTriclosan/ABOUTTRICLOSAN.htm.htm>>
- [34] Chlorhexidin. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <<http://www.corsodyl.cz/index.php?corsodyl/pripravky-corsodyl/chlorhexidin/>>
- [35] Wikipedia org.: Chlorhexidine. Online [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <<http://en.wikipedia.org/Chlorhexidine>> a <<http://cs.wikipedia.org/Chlorhexidin>>
- [36] Science Lab.com: Chemicals & Laboratory Equipment: Material Safety Data Sheet: Allylamine MSDS. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <<http://www.sciencelab.com/xMSDS-Allylamine-9922832>>
- [37] Apollo Scientific Ltd.: Safety Data Sheet: N-Allylmethylamine. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <[http://www.apolloscientific.co.uk/downloads/msds/OR3619\\_msds.pdf](http://www.apolloscientific.co.uk/downloads/msds/OR3619_msds.pdf)>
- [38] SynQuest Laboratories, Inc.: Material Safety Data Sheet: N-Allylmethylamine. Online, dostupné z www: < <http://www.synquestlabs.com/msds/3331-1-01.pdf>>
- [39] Sigma-Aldrich: Safety Data Sheet: N,N-Dimethylallylamine. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www: <<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/DisplayMSDSContent.do>>



- [40] Chemical Book: N,N-Dimethylallylamine. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z [www: <http://www.chemicalbook.com/ProductMSDSDetailCB7450262\\_EN.htm>](http://www.chemicalbook.com/ProductMSDSDetailCB7450262_EN.htm)
- [41] ChemCAS: N,N-Dimethylallylamine. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z [www: <http://www.chemcas.com/material/cas/archive/2155-94-4.asp>](http://www.chemcas.com/material/cas/archive/2155-94-4.asp)
- [42] Křížová T.: Příprava a charakterizace aktivních obalových materiálů. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín 2010, vedoucí práce doc. Ing. Marián Lehocký, Ph.D.
- [43] Bílek F.: Příprava bioaktivních povrchů pomocí fyzikálně-chemických metod a jejich aplikace. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín 2006, vedoucí práce doc. Ing. Marián Lehocký, Ph.D.
- [44] Ústav fyziky a materiálového inženýrství: Radiofrekvenční a mikrovlnné plazma. Studijní materiály. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z [www: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH\\_07.pdf>](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH_07.pdf)
- [45] Učebnice mikrobiologie - Diskový difúzní test. Online, [cit. 11.4.2011], dostupné z [www: <http://old.lf3.cuni.cz/mikrobiologie/bak/uceb/obsah/disktest/disktest.htm>](http://old.lf3.cuni.cz/mikrobiologie/bak/uceb/obsah/disktest/disktest.htm)
- [46] Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests; Approved Standard - Ninth Edition, Standard agar disk diffusion techniques. Online, [cit. 11.4.2011], dostupné z [www: <http://www2.edah.org.tw/cp/study/04\\_961023m2a9.pdf>](http://www2.edah.org.tw/cp/study/04_961023m2a9.pdf)
- [47] Smíšek J.: Prezentace pro obor: Všeobecné lékařství ÚLM 3. LF UK 2007: Antibakteriální látky. Online, [cit. 11.4.2011], dostupné z [www: http://mikrobiologie.unas.cz/soubory/atb.pdf](http://mikrobiologie.unas.cz/soubory/atb.pdf)
- [48] Antibiotika - obecná část. Přednášky 2. LF UK, online, [cit. 10.4.2011], dostupné z [www: <http://mefanet-motol.cuni.cz/download.php?fid=16>](http://mefanet-motol.cuni.cz/download.php?fid=16)
- [49] Mikrobiologie pro farmaceuty:  $\beta$ -laktamázy. Online, [cit. 11.4.2011], dostupné z [WWW: <http://fv1.vfu.cz/export/sites/fv1/sekce\\_ustavy/mikrobiologie/mikrobiologie\\_pro\\_farmaceuty/B-laktamazy.pdf>](http://fv1.vfu.cz/export/sites/fv1/sekce_ustavy/mikrobiologie/mikrobiologie_pro_farmaceuty/B-laktamazy.pdf)
- [50] Dědek S.: Bariérové vlastnosti obalů využívaných pro balení potravin. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín 2009, vedoucí práce doc. Ing. Jan Hrabě, Ph.D.
- [51] Jančík M.: Měření kontaktního úhlu u malých kapek pomocí skenovacího mikroskopu. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, Zlín 2010, vedoucí práce Ing. Milan Navrátil, Ph.D.

- [52] Krásný I.: Měření kontaktních úhlů smáčení a určování povrchové energie plastů. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín 2010, vedoucí práce prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D.
- [53] Úloha č. 5 - Stanovení povrchové energie obalových materiálů. Online, [cit. 23.3.2011], dostupné z www:  
<[http://web.ft.utb.cz/cs/docs/\\_loha\\_\\_\\_slo\\_5.pdf?PHPSESSID=ed40a6352746095896f4949064981545](http://web.ft.utb.cz/cs/docs/_loha___slo_5.pdf?PHPSESSID=ed40a6352746095896f4949064981545)>
- [54] Laboratorní cvičení z Plazmochemie - Úloha č. 3: Topografické změny v plazmaticky modifikovaných povrchích. Online, [cit. 30.3.2011], dostupné z www:  
<[http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH\\_lab\\_03.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH_lab_03.pdf)>
- [55] Advex Instruments - See System. Online, [cit. 14.4.2011], dostupné z www:  
<[http://www.advex-instruments.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1&Itemid=26](http://www.advex-instruments.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=1&Itemid=26)>
- [56] Kania P.: Infračervená spektrometrie. Online, [cit. 14.4.2011], dostupné z www:  
<[http://www.vscht.cz/anl/lach1/7\\_IC.pdf](http://www.vscht.cz/anl/lach1/7_IC.pdf)> a  
<[http://www.vscht.cz/ktk/www\\_324/lab/texty/ana/IC.pdf](http://www.vscht.cz/ktk/www_324/lab/texty/ana/IC.pdf)>
- [57] Infračervená spektroskopie. Online, [cit. 14.4.2011], dostupné z www:  
<[http://fch.upol.cz/skripta/zfcm/ir/ir\\_teorie.htm](http://fch.upol.cz/skripta/zfcm/ir/ir_teorie.htm)>
- [58] Infračervená spektrometrie. Učební texty, online, [cit. 14.4.2011], dostupné z www: <[http://tpt.zcu.cz/files/pdf/skripta\\_kap3\\_irspektrometrie.pdf](http://tpt.zcu.cz/files/pdf/skripta_kap3_irspektrometrie.pdf)>
- [59] Laboratoř molekulové spektroskopie. Online, [cit. 14.4.2011], dostupné z www:  
<<http://lms.vscht.cz/>>
- [60] Šafařová K.: Skenovací (rastrovací) elektronová mikroskopie. Centrum pro výzkum nanomateriálů, Olomouc, online, [cit. 14.4.2011], dostupné z www:  
<[http://nanosystemy.upol.cz/upload/18/safarova\\_sem.pdf](http://nanosystemy.upol.cz/upload/18/safarova_sem.pdf)>
- [61] Juračka P. J., Nebesářová J.: Skenovací elektronový mikroskop (SEM) ve službách biologie. Online, [cit. 14.4.2011], dostupné z www:  
<[http://petr.juracka.eu/user\\_files/skripta/ZOBME\\_Juracka\\_Nebesarova\\_SEM.pdf](http://petr.juracka.eu/user_files/skripta/ZOBME_Juracka_Nebesarova_SEM.pdf)>
- [62] Souček P.: Příprava nanokompozitních vrstev na bázi titanu. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Brno 2010, vedoucí práce Mgr. Marek Eliáš, Ph.D.
- [63] XPS: Princip metody. Online, [cit. 14.4.2011], dostupné z www:  
<<http://physics.mff.cuni.cz/to/kfpp/s4r/povrch/xps.html>>

- [64] Ebewe R. O.: Polymer Science and Technology. CRC Press LLC, New York 2010, ISBN 0-0849-8939-9
- [65] Vergnaud J.-M. et al.: Assessing Food Safety of Polymer Packaging. Smithers Rapra Limited, Shropshire 2006, ISBN-13: 098-1-84735-026-8
- [66] Ahvenainen R.: Novel Food Packaging Techniques. Woodhead Publishing Limited, Cambridge 2003, ISBN 1-85573-702-7
- [67] Ganbold S.: Advanced Packaging for Food and Pharmaceutical Applications Based on Water-soluble Polymer. Dizertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín 2010, vedoucí práce prof. Ing. Petr Sáha, CSc.
- [68] Lapčík L. et al.: Nauka o materiálech II. Učební texty pro VŠ. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2004, ISBN 80-7318-229-7.
- [69] Otgonzul M.: Bioactive Polymeric Systems for Food and Medical Packaging Applications. Dizertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Zlín 2010, vedoucí práce prof. Ing. Petr Sáha, CSc.
- [70] Lehocký M. et al.: Plasma Surface Modification of Polyethylene. In Colloids and Surfaces: Physicochem. Eng. Aspects 222 (2003), pgs. 125 - 131
- [71] Asadinezhad A. et al.: An In Vitro Bacterial Adhesion Assessment of Surface-Modified Medical-Grade PVC. In Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 77 (2010), pgs. 246 - 256
- [72] Zhang W. et al.: Plasma Surface Modification of Poly Vinyl Chloride for Improvement of Antibacterial Properties. In Biomaterials 27 (2006), pgs. 44 - 51
- [73] Asadinezhad A. et al.: A Physicochemical Approach to Render Antibacterial Surfaces on Plasma-Treated Medical-Grade PVC: Irganon Coating. In Plasma Processes and Polymers 7 (2010), pgs. 504 - 514
- [74] Asadinezhad A. et al.: Polysaccharides Coatings on Medical-Grade PVC: A Probe into Surface Characteristics and the Extent of Bacterial Adhesion. In Molecules 15 (2010), pgs. 1007 - 1027
- [75] Gomathi N. et al.: RF Plasma-Treated Polymers for Biomedical Applications. In Current Science, Vol. 94, No. 11, 2008, pgs. 1478 - 1486
- [76] Rupová M. et al.: Aktuální otázky bezpečnosti práce s nanomateriály. NANOCON 2009, 20. - 22.10.2009, Rožnov pod Radhoštěm, online, [cit. 3.12.2010], dostupné z WWW: <<http://www.nanocon.cz/data/nanocon2009/sbornik/Lists/Papers/058.pdf>>

- [77] Zákon č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích, ve znění pozdějších předpisů
- [78] Eko-kom a.s., Kolář Z.: Nové nařízení pro plastové obaly. Zpravodaj EkoKOMunikace 15/11, online, [cit. 22.3.2011], dostupné z [www: <http://www.ekokom.cz/assets/Pro-klienty/soubory-ke-stazeni/eko-komunikace\\_15\\_11.pdf>](http://www.ekokom.cz/assets/Pro-klienty/soubory-ke-stazeni/eko-komunikace_15_11.pdf)
- [79] Zákon č. 125/1997 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů
- [80] Říhová Z.: Studium struktury a mechanických vlastností nanostrukturních biokompatibilních povlaků na Ti a Ti slitinách. In Sborník Konference Studentské Tvůrčí Činnosti, Praha 29. března 2011. Vedoucí práce doc. RNDr. Vladimír Starý, CSc., online, [cit. 30.3.2011], dostupné z [www: <http://stc.fs.cvut.cz/pdf/RihovaZuzana-329270.pdf>](http://stc.fs.cvut.cz/pdf/RihovaZuzana-329270.pdf)
- [81] Metody charakterizace materiálů. Přednášky VŠCHT 2010, Fakulta chemicko-technologická. Poznámky Denisy Vlčkové
- [82] Interaktivní atlas potravinářské mikrobiologie. Online, [cit. 12.4.2011], dostupné z [www: http://vfu-www.vfu.cz/mikrob-atlas/Main.html](http://vfu-www.vfu.cz/mikrob-atlas/Main.html)
- [83] McBain A. J. et al.: Selection for high-level resistance by chronic triclosan exposure is not universal. In Journal of Antimicrobial Chemotherapy (2004) vol. 53 no. 5, 772 - 777
- [84] Mohan Ch. et al.: Effects of Triclosan on Medical Grade Antibiotic Resistance in Bacteria. In Topics in Biology, online, [cit. 23.3.2011], dostupné z [www: <http://education.uncc.edu/cmste/summer%20ventures/2010%20Topics%20in%20Biology/SVSM\\_Research\\_Project%20Charan%20Mohan.pdf>](http://education.uncc.edu/cmste/summer%20ventures/2010%20Topics%20in%20Biology/SVSM_Research_Project%20Charan%20Mohan.pdf)
- [85] Levy S. B.: Antibacterial Household Products: Cause for Concern. Presentation from the 2000 Emerging Infectious Diseases Conference in Atlanta, Georgia, online, [cit. 23.3.2011], dostupné z [www: <http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol7no3\\_supp/levy.htm>](http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol7no3_supp/levy.htm)
- [86] Laboratorní cvičení z Plazmochemie - Úloha č. 2: Základy obsluhy plazmatických reaktorů, seznámení s laboratorní technikou. Online, [cit. 14.4.2011], dostupné z [www: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH\\_lab\\_02.pdf>](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH_lab_02.pdf)
- [87] Reakce mezi plazmatem a povrchem. Online, [cit. 14.4.2011], dostupné z [www: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH\\_09.pdf>](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH_09.pdf)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

AA	Allylamin
AMA	<i>N</i> -allylmethylamin
AMP	Adenosinmonofosfát
ATR-FTIR	Úplná zeslabená reflektance měření infračervených spekter
CCM	Česká sbírka mikroorganismů
CNS	Centrální nervový systém
DMAA	<i>N,N</i> -dimethylallylamin
EAEC	Enteroadherentní <i>E. coli</i>
EHEC	Enterohemoragická <i>E. coli</i>
EIEC	Enteroinvazivní <i>E. coli</i>
ENR	Enoyl-acyl bílkoviny
EPEC	Enteropatogenní <i>E. coli</i>
ESCA	Electron spectroscopy for chemical analysis
ETEC	Enterotoxická <i>E. coli</i>
FabI (FabK)	Alternativní geny
FTIR	Fourier-transformation infrared spectroscopy
IR	Infrared
KRS-5	Thalium-Bromid-Iodid krystal
LC <sub>50</sub>	Smrtelná koncentrace, po které uhynulo 50 ze 100 jedinců (pro plyny)
LD <sub>50</sub>	Smrtelná dávka, po které uhynulo 50 ze 100 jedinců (perorální, inhalační, parenterální (injekční), rektální, atd.)
NAD	Nikotinamid adenin dinukleotid
OWRK	Owens-Wendt-Rabel-Kaelble teorie
PE-HD/HDPE	Vysokohustotní (lineární) polyethylen
PE-LD/LDPE	Nízkohustotní (rozvětvený) polyethylen

---

PE-LLD	Polyethylen lineární o nízké hustotě
PE-MD	Polyethylen o střední hustotě
PET	Polyethylentereftalát
PE-UHMW	Polyethylen o velmi vysoké molekulární hmotnosti
PE-VLD	Polyethylen s lineárním řetězcem
PE-X	Polyethylen s různou hustotou
PP	Polypropylen
ppm	Parts per million
PPS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
REM	Rastrovací elektronová mikroskopie
RF	Radiofrekvenční
scc/min	Standard cubic centimeter/min
SEM	Skenovací elektronová mikroskopie
USA	Spojené státy americké
UV	Ultra violet
XPS	Rentgenová fotoelektronová spektroskopie
$\gamma^-$	Donorová část
$\gamma^+$	Akceptorová část
$\gamma^{AB}$	Polární složka
$\gamma^{LW}$	Disperzní složka
$\gamma^{tot}$	Celková povrchová energie
$\theta_D$	Diiodomethan
$\theta_E$	Ethylenglycol
$\theta_W$	Deionizovaná voda

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 - Spotřeba plastů evropských zemí v roce 2009 (45 mil. tun) [6].....	14
Obrázek 2 - Grafické značky [4, 8].....	15
Obrázek 3 - Možnosti označení výrobku [8] .....	16
Obrázek 4 - Antibakteriální funkce aktivního obalu v závislosti na typu aktivní složky [15].....	19
Obrázek 5 - Prostorový model ethylenu (vlevo), řetězec polyethylenu (vpravo) [20] .....	20
Obrázek 6 - Rozvětvení řetězce PE [24].....	22
Obrázek 7 - Kolonie <i>E. coli</i> (10 000 násobné zvětšení) [26].....	23
Obrázek 8 - <i>Staphylococcus Aureus</i> [28].....	25
Obrázek 9 - Triclosan [32].....	27
Obrázek 10 - Chlorhexidin [35].....	29
Obrázek 11 - Schéma reaktoru s kapacitně buzeným RF plazmatem (1. zdroj RF vln, 2. plášť reaktoru, 3. RF elektroda, 4. plazma, 5. uzemněná elektroda, 6. přívod plazmového plynu, 7. odsávání vývěvou) [44] .....	35
Obrázek 12 - RF plazmový reaktor.....	35
Obrázek 13 - Příklady inhibičních zón růstu bakterií [46] .....	36
Obrázek 14 - Povrchové napětí - energie na rozhraní [52].....	37
Obrázek 15 - SEE system a SW prostředí pro měření [55] .....	39
Obrázek 16 - Elektromagnetické spektrum [56].....	40
Obrázek 17 - Schéma postupu přípravy vzorků nanesením antibakteriálního činidla na povrch PE-LD s AA .....	44
Obrázek 18 - Schéma postupu přípravy vzorků nanesením antibakteriálního činidla na povrch PE-LD s AMA.....	44
Obrázek 19 - Schéma postupu přípravy vzorků nanesením antibakteriálního činidla na povrch PE-LD s DMAA .....	45
Obrázek 20 - Vzorek se <i>S. aureus</i> a inhibiční zónou.....	48
Obrázek 21 - Vzorek <i>E. coli</i> bez inhibiční zóny.....	48
Obrázek 22 - Neopracovaný PE-LD.....	51
Obrázek 23 - PE-LD po výboji .....	52
Obrázek 24 - PE-LD po výboji, AA .....	52
Obrázek 25 - PE-LD po výboji, AA + Chlorhexidin.....	53
Obrázek 26 - PE-LD po výboji, AA + Triclosan.....	53

---

Obrázek 27 - PE-LD po výboji, AMA.....	54
Obrázek 28 - PE-LD po výboji, AMA + Chlorhexidin .....	54
Obrázek 29 - PE-LD po výboji, AMA + Triclosan .....	55
Obrázek 30 - PE-LD po výboji, DMAA.....	55
Obrázek 31 - PE-LD po výboji, DMAA + Triclosan .....	56
Obrázek 32 - PE-LD po výboji, DMAA + Chlorhexidin .....	56
Obrázek 33 - SEM snímek neopracovaného PE-LD (vlevo) a PE-LD opracovaného v plazmatu (vpravo).....	57
Obrázek 34 - SEM snímek PE-LD + plazma + AA (vlevo) a PE-LD + plazma + AMA + triclosan (vpravo).....	58
Obrázek 35 - SEM snímek PE-LD + plazma + DMAA + chlorhexidin.....	58



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 - Identifikační kódy plastů [8] .....	16
Tabulka 2 - Typy aktivních obalů a jejich praktické využití [17] .....	18
Tabulka 3 - Srovnání typických vlastností základních druhů polyetylenů [19, 20, 23] .....	21
Tabulka 4 - Využití PE v praxi [20] .....	21
Tabulka 5 - Průměry inhibičních zón .....	46
Tabulka 6 - Vypočtené průměrné plochy inhibičních zón pro <i>E. coli</i> a <i>S. aureus</i> .....	47
Tabulka 7 - Kontaktní úhly jednotlivých vzorků - (deionizovaná voda (W), ethylenglykol (E), diiodomethan (D)) .....	49
Tabulka 8 - Hodnoty povrchové energie jednotlivých vzorků .....	50
Tabulka 9 - Procentuální zastoupení chemických prvků na testovaných površích .....	59
Tabulka 10 - Charakteristické poměry chemických prvků na povrchu měřených substrátů ku množství uhlíku .....	59

**SEZNAM ROVNIC**

Youngova rovnice (1) .....	38
Kontaktní úhel $\theta$ (2) .....	38
Celková povrchová energie (3) .....	38
Disperzní složka (4) .....	38