

# Antibakteriální polymery v kosmetice

Kateřina Pekárková

---

Bakalářská práce  
2019

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky  
akademický rok: 2018/2019

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kateřina Pekárková**  
Osobní číslo: **T16356**  
Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Technologie výroby tuků, kosmetiky a detergentů**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Antibakteriální polymery v kosmetice**

Zásady pro vypracování:

**Polymery v kosmetice.**

**Mechanismus působení antibakteriálních polymerů.**

**Typy polymerů s antibakteriální aktivitou.**

**Antibakteriální činidla pro zakomponování do polymerní matrice.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] LOH, X. J. **Polymers for personal care products and cosmetics**, The Royal Society of Chemistry 2016, ISBN 978-1-78262-295-6. USA.

[2] GODDARD, D. **Principles of polymer science and technology in cosmetics and personal care**, Marcel Dekker inc. 1999, ISBN 0-8247-1923-9.

[3] KALIA, S. **Biopolymers biomedical and environmental applications**, Scrivener Publishing LLC 2011, ISBN 978-0-470-63923-8.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jana Sedlaříková, Ph.D.**

Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**20. května 2019**

Ve Zlíně dne 12. března 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

*děkan*

doc. Ing. Marián Lehocký, Ph.D.

*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: PEKÁRKOVÁ KATEŘINA

Obor: 3KS1

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 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/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, 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 .....

.....

<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 vzdělávacího 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). Odpírá-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**

Bakalářská práce se zabývá problematikou antibakteriálních polymerních materiálů. V úvodu jsou klasifikovány polymery a jejich význam v kosmetice. Druhá kapitola je věnována tématu bakteriálních infekcí a typům bakterií. Stěžejní část práce je zaměřena na antibakteriální polymery, konkrétní typy, mechanismus působení a dále pak na aktivní látky, které jsou využívány pro inkorporaci do polymerních matic. Poslední kapitola je soustředěna na praktické využití antibakteriálních polymerů a v neposlední řadě je uveden přehled dostupných komerčních produktů, které tyto materiály obsahují.

Klíčová slova: antibakteriální polymery, biocidy, kosmetika, polyquaternium.

## **ABSTRACT**

The Bachelor thesis is focused on the issue of antibacterial polymer materials. The introduction clarifies the classification of polymers and their cosmetic purpose. The second chapter is devoted to the topic of bacterial infections and the types of bacteria. The main part of the thesis is focused on the antibacterial polymers, their concrete types, and the mechanism of action and also active substances which are used for incorporation into the polymeric matrix. The last chapter deals with the practical applications of antibacterial polymers, as well as an overview of available commercial products containing these materials is included.

Keywords: antibacterial polymers, biocides, cosmetics, polyquaternium.

Mé poděkování patří především vedoucí mé bakalářské práce Ing. Janě Sedlaříkové, Ph. D., za její odborné vedení, cenné rady, trpělivost a v neposlední řadě za její ochotu a velmi vstřícný přístup. Chtěla bych poděkovat také své rodině, konkrétně tatínkovi a babičce, kteří mě po celou dobu studia velmi podporovali. Dále patří můj obrovský dík přátelům, bez jejichž pomoci a psychické podpory bych tuto práci nikdy nenapsala.

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



# OBSAH

ÚVOD.....	9
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>10</b>
<b>1 POLYMERY V KOSMETICE .....</b>	<b>11</b>
1.1 TYPY POLYMERŮ .....	12
1.1.1 Přírodní polymery .....	12
1.1.1.1 Proteiny a polypeptidy .....	12
1.1.1.2 Polysacharidy.....	13
1.1.2 Syntetické polymery.....	13
<b>2 BAKTERIÁLNÍ INFEKCE .....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Charakteristika bakterií .....	14
2.1.2 Buněčná stěna gram pozitivních bakterií .....	14
2.1.3 Buněčná stěna gram negativních bakterií .....	15
<b>3 ANTIBAKTERIÁLNÍ POLYMERY .....</b>	<b>17</b>
3.1 HISTORIE ANTIBAKTERIÁLNÍCH POLYMERŮ.....	17
3.2 ROZDĚLENÍ ANTIBAKTERIÁLNÍCH POLYMERŮ DLE MECHANISMU PŮSOBNÍ.....	17
3.2.1 Polymerní biocidy .....	18
3.2.2 Biocidní polymery.....	19
3.2.3 Polymery uvolňující biocidy .....	20
3.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ANTIBAKTERIÁLNÍ AKTIVITU POLYMERŮ .....	20
3.3.1 Molekulová hmotnost.....	20
3.3.2 Vliv protiontů .....	21
3.3.3 Délka alkylového řetězce .....	21
3.4 TYPY ANTIBAKTERIÁLNÍCH POLYMERŮ .....	21
3.4.1 Chitin, chitosan a jeho deriváty.....	21
3.4.2 Kvartérní amoniové polymery .....	23
3.4.3 Hyperrozvětvené polymery .....	24
3.4.4 Polymery obsahující guanidinové skupiny .....	25
3.4.5 Antimikrobiální peptidy .....	26
3.4.6 Chemicky modifikované polymery – N-halaminy.....	27
<b>4 ANTIBAKTERIÁLNÍ ČINIDLA PRO ZAKOMPOOVÁNÍ DO POLYMERŮNÍ MATRICE.....</b>	<b>28</b>
4.1 STRĚBRO .....	28
4.2 ZINEK.....	29
4.3 KVARTERNÍ AMONIOVÉ SLOUČENINY .....	30
4.4 NISIN .....	31
4.5 ESENCIÁLNÍ OLEJE.....	32
<b>5 PRAKTICKÝ VÝZNAM ANTIBAKTERIÁLNÍCH POLYMERŮ.....</b>	<b>34</b>



5.1	POTRAVINÁŘSKÝ PRŮMYSL .....	34
5.2	ZDRAVOTNICTVÍ.....	34
5.3	ÚPRAVA VOD.....	35
5.4	TEXTILNÍ PRŮMYSL .....	35
5.5	KOSMETIKA.....	36
5.6	PRODUKTY S OBSAHEM ANTIBAKTERIÁLNÍCH POLYMERŮ .....	37
5.6.1	Produkty na bázi polyquaternium .....	37
5.6.1.1	Charakteristika polymerů typu polyquaternium .....	39
5.6.2	Produkty na bázi biguanidu.....	40
5.6.2.1	Charakteristika polyaminopropyl biguanidu .....	41
5.6.3	Produkty na bázi chitosanu .....	42
5.6.3.1	Charakteristika chitosanu a jeho derivátů .....	42
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>43</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>44</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>49</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>50</b>

## ÚVOD

Bakteriální infekce představují v dnešní době intenzivně diskutované téma. Zejména rostoucí rezistence některých bakterií vůči používaným antibakteriálním látkám představuje značné riziko pro mnoho průmyslových odvětví, jako je zdravotnictví, kosmetika, nebo potravinářství. Tato skutečnost představuje velkou výzvu pro týmy vědců, kteří se snaží hledat nové možnosti a strategie, jak eliminovat výše uvedená rizika a snížit tak nežádoucí ekonomické dopady s nimi spojené.

Jednou z možností je využívání antimikrobiálních účinků různých polymerních materiálů. Tyto systémy se mohou dělit podle mechanismu působení na aktivní a pasivní. Antibakteriální vlastnosti těchto materiálů jsou ovlivněny řadou faktorů, jako je například molekulová hmotnost polymeru, nebo délka alkylového řetězce. V ideálním případě by antibakteriální systémy měly mít schopnost působit proti co největší škále bakterií, a to při co nejnižší koncentraci.

Příkladem antibakteriálních polymerů je přírodní chitosan, získávaný z chitinu mořských korýšů, který je v současnosti velmi populární. Dalšími používanými polymery jsou kvartérní amoniové polymery, či polymery obsahující guanidinové skupiny. Z antimikrobiálních činidel lze potom zmínit stříbro, kvartérní amoniové soli nebo také esenciální oleje.

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat literární rešerši na téma antibakteriálních polymerů a činidel, s důrazem na jejich využití zejména v kosmetickém průmyslu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERY V KOSMETICE

Polymery jsou makromolekulární látky, které jsou složeny z opakujících se atomů nebo skupin (konstitučních jednotek), které se nazývají monomery. Z molekuly monomeru se jejím zavedením do makromolekuly polymeru stane základní stavební jednotka makromolekuly, která se nazývá mer. Polymery mají velmi vysokou relativní molekulovou hmotnost, která se pohybuje od desítek tisíc až do miliónu, je tudíž o mnoho vyšší než u ostatních tzv. nízkomolekulárních látek. I díky tomu mají polymery velké využití v různých oblastech průmyslu, včetně kosmetického [1].

Vývoj kvalitních kosmetických produktů vyžaduje stále lepší chemické a fyzikální vlastnosti, které nemohou poskytnout tradičně používané přírodní suroviny, jako jsou tuky, oleje a vosky. Polymery se v dnešní době díky svým rozmanitým vlastnostem běžně využívají v mnoha kosmetických výrobcích a mohou být navrženy tak, aby splňovaly požadavky trhu a spotřebitelů [2]. Polymery v kosmetice jsou aplikovány například jako zahušťovadla, emulgátory, filmotvorné látky či humektanty.

Z důvodu rostoucí poptávky spotřebitelů po přírodních produktech mají v kosmetickém průmyslu velký význam přírodní polymery a pryskyřice. Většinou jde o biodegradabilní a biokompatibilní materiály. Existují však i nevýhody použití polymerů izolovaných z přírodních zdrojů. Liší se například v čistotě a fyzickém vzhledu a jsou relativně drahé ve srovnání s běžnými syntetickými polymery. Příklady některých biopolymerů a jejich využití v kosmetice jsou shrnuty v Tabulce 1 [3].

Tab. 1 Biopolymery a jejich použití v osobní péči [4]

Biopolymer	Původ	Použití v kosmetice
Xanthanová guma	Fermentace syrovátky, kukuřice, pšenice, mléka nebo sóji bakterií <i>Xanthomonas campestris</i>	Zahušťovadlo, emulgátor, regulátor viskozity
Agar	Červené thaloidní řasy <i>Gelidium</i> a <i>Gracilaria</i>	Zahušťovadlo, stabilizátor, želírující činidlo
Celulózová guma	Bavlníková vlákna	Zahušťovadlo, emulgátor, filmotvorné činidlo
Hydroxymethyl celulóza	Bavlníková vlákna	Regulátor viskozity, zahušťovadlo, stabilizátor
Methylcelulóza	Bavlníková vlákna	Zahušťovadlo, emulgátor
Chitin a chitosan	Exoskelety krevet a jiných mořských korýšů	Filmotvorné činidlo, látka s antibakteriální aktivitou
Arabská guma	Pryskyřice různých druhů akácií	Emulgátor, zahušťovadlo
Kyselina hyaluronová	Membránové proteiny, kůže, chrupavky a sklivec	Humektant

## 1.1 Typy polymerů

Dle jejich původu můžeme polymery rozdělit do dvou skupin, a to na polymery syntetické a polymery přírodního původu, tzv. biopolymery.

### 1.1.1 Přírodní polymery

Biopolymery lze klasifikovat do dvou skupin, první je tvořena materiály, které jsou produkovány mikroorganismy, rostlinami nebo živočichy. Do druhé skupiny poté patří ty, které jsou syntetizovány chemicky, ale jsou získávány z biologických materiálů. Významnými přírodními polymery jsou proteiny, polysacharidy, nukleové kyseliny a gemy, přičemž opakující se jednotky proteinů se nazývají aminokyseliny, nukleové kyseliny se skládají z nukleotidů a polysacharidy jsou složeny z jednotek cukru [3].

#### 1.1.1.1 Proteiny a polypeptidy

Aminokyseliny v proteinech jsou spojeny amidovou vazbou mezi aminoskupinou jedné molekuly a karboxylovou skupinou molekuly druhé. Tato amidová vazba se často nazývá peptidová vazba. Existují jednoduché proteiny složené pouze z aminokyselin, jako je albumin,

želatina, kasein, kolagen nebo také keratin. Jiné proteiny obsahují nejen aminokyselinové zbytky, ale i jiné skupiny, jako jsou například glycidy v glykoproteinech nebo lipidy lipoproteinů. Proteiny, které mají katalytickou aktivitu, jsou známé jako enzymy [3].

#### ***1.1.1.2 Polysacharidy***

Opakující se jednotky polysacharidů jsou monosacharidy (cukry), které jsou navzájem spojeny acetalovými vazbami. Mezi důležité polysacharidy patří homopolymery glukózy (škrob, glykogen a celulóza), manózy (guarová guma) nebo aminosacharidy, jako je chitosan nebo hyaluronan. Polysacharidy jsou velmi důležitými materiály kosmetického průmyslu [3].

#### **1.1.2 Syntetické polymery**

Syntetické polymery lze klasifikovat do dvou tříd podle způsobu jejich přípravy, a to na kondenzační polymery a adiční polymery. Při polykondenzaci nebo postupné polymeraci se polymery získají reakcí mezi dvěma polyfunkčními molekulami za eliminace malé molekuly, například vody. Typické kondenzační polymery jsou polyestery nebo polyuretany. Adiční polymery jsou tvořeny z nenasycených monomerů při řetězové reakci. Ty zahrnují například polyetylen, polyvinylchlorid nebo polystyren [3].

## 2 BAKTERIÁLNÍ INFEKCE

I když většina bakterií pro člověka není škodlivá, některé patogenní druhy mohou způsobovat různá infekční onemocnění. Bakteriální infekce se mohou objevit téměř všude na zemi a jejich prevence je jedním z nejdůležitějších faktorů zejména v oblasti zdravotní péče, ale i v jiných průmyslových odvětvích [4]. Je známo, že některé bakteriální kmeny vykazují schopnosti mutací a zvyšuje se tak jejich rezistence vůči používaným antibakteriálním látkám, jako jsou například antibiotika.

### 2.1.1 Charakteristika bakterií

Bakterie jsou obecně jednobuněčné prokaryotní mikroorganismy a vyznačují se některými společnými znaky, i když z hlediska morfologické stránky se značně liší. Mohou být ve formě koků, diplokoků, tyčinek, vláken nebo mohou mít spirálovitý tvar. Patří do skupiny aktivních mikrobů, které se v přírodě podílejí na mnoha procesech.

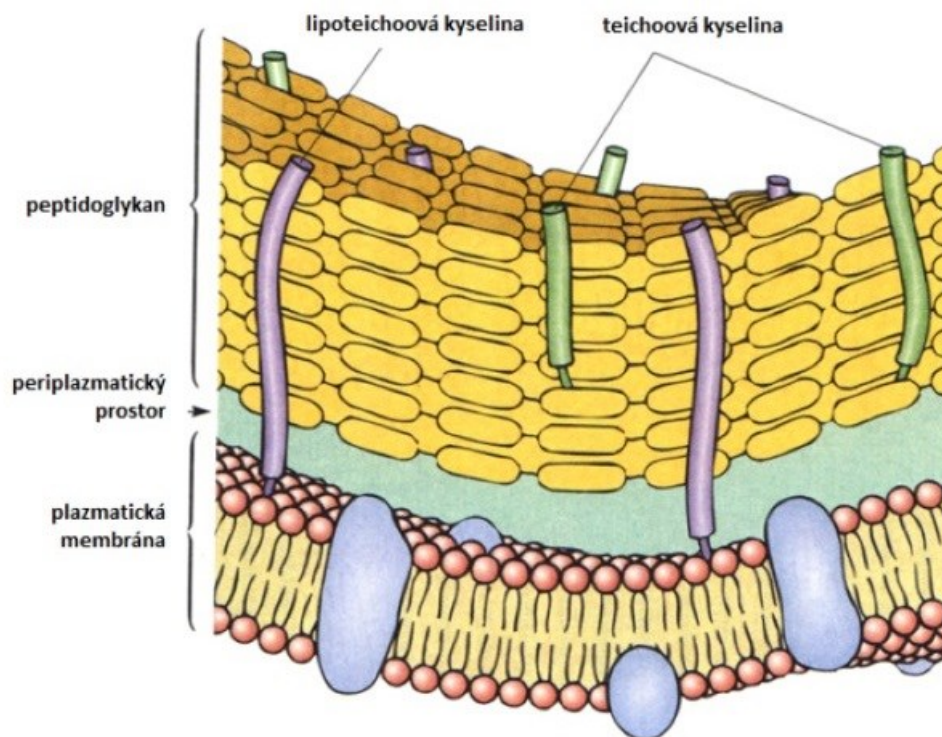
Některé druhy bakterií jsou pro člověka patogenní a mohou poškozovat organismus různými mechanismy. Mohou poměrně jednoduše proniknout do tkání, ve kterých se pak množí, nebo také produkují toxiny a vyvolávají imunopatologické reakce negativně zaměřené proti vlastnímu organismu. Za ideálních podmínek je jejich rychlost množení velká, a proto mohou být některé druhy bakterií pro organismus člověka nebezpečné [5].

Na těchto mikroorganismech o velikosti několika mikrometrů je důležitá hlavně jejich buněčná stěna, která buňce dává tvar a poskytuje jí podporu a ochranu. Dle ní můžeme bakterie klasifikovat do dvou hlavních skupin a to na grampozitivní ( $G^+$ ) a gramnegativní ( $G^-$ ) bakterie [4].

### 2.1.2 Buněčná stěna grampozitivních bakterií

Hlavní složkou stěny  $G^+$  bakterií je silná vrstva peptidoglykanu (neboli mureinu), která je prostoupena lineárními řetězci teichoových kyselin, jež mají za úkol upevnit peptidoglykan k cytoplazmatické membráně (Obr. 1). Teichoové kyseliny se skládají z polymerů glycerolfosfátu nebo ribitol fosfátu s glykosidicky navázanými cukry a jsou rozpustné ve vodě. Murein, který tvoří až 90 % buněčné stěny  $G^+$  bakterií, je lineární polymer dvou střídajících se aminocukrů, konkrétně N-acetylglukosaminu a jeho laktylderivátu, nazvaného N-acetylmuramová kyselina, které jsou navzájem spojeny  $\beta$ -1,4 vazbami. Buněčná stěna těchto bakterií neobsahuje lipidy a kromě kyseliny teichoové bývají na peptidoglykan navázány také polysacharidy, které se mohou skládat např. z glukózy nebo jiných monosacharidů [5][6].

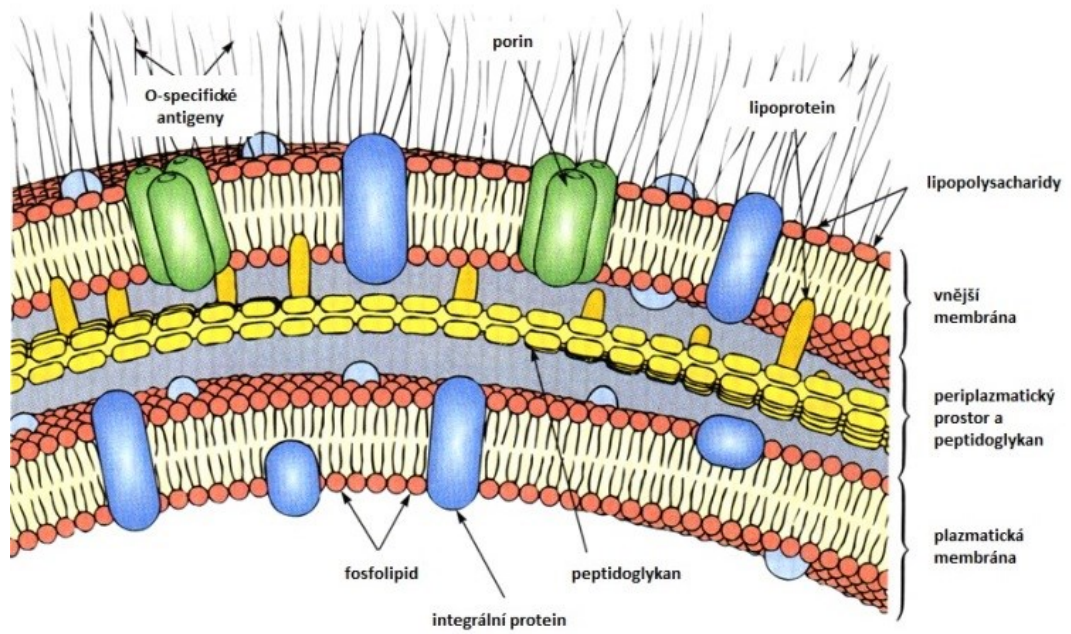




Obr. 1 Buněčná stěna  $G^+$  bakterií [7]

### 2.1.3 Buněčná stěna gramnegativních bakterií

V buněčné stěně  $G^-$  bakterií je vrstva peptidoglykanu značně tenčí a na stavbě stěny má procentuální podíl pouze z 10 %. Buněčná stěna je dále složena z vnější membrány, která je prostupná pro malé molekuly rozpuštěných látek a obsahuje zanořené proteiny poriny, které uvnitř vytvářejí kanálky. Na povrchu vnější membrány se nachází lipopolysacharid, jehož lipidická část je vázaná uvnitř vnější membrány a polysacharidová část zasahuje až nad povrch bakteriální buňky (Obr. 2). Lipopolysacharid je oligomer, obsahující několik monomerních jednotek a jeho složení závisí na druhu a kmeni bakterie. Buněčná stěna  $G^-$  bakterií je díky svému odlišnému složení chemicky odolnější než buněčná stěna  $G^+$  bakterií, a proto je také složitější najít vhodnou látku s antimikrobiálními účinky, která by inhibovala růst těchto bakterií [5][6].



Obr. 2 Buněčná stěna  $G^-$  bakterií [7]

### 3 ANTIBAKTERIÁLNÍ POLYMERY

#### 3.1 Historie antibakteriálních polymerů

Jeden z prvních objevů v oblasti antibakteriálních polymerů se datuje do roku 1965, kdy Cornell a Donaruma připravili polymer na bázi 2-methakryloxytroponu s antibakteriálními účinky. V roce 1970 už bylo syntetizováno několik dalších polymerních struktur, které vykazovaly antimikrobiální aktivitu. Byla to např. kyselina salicylová nebo polymery s kvartérními amoniiovými skupinami [8].

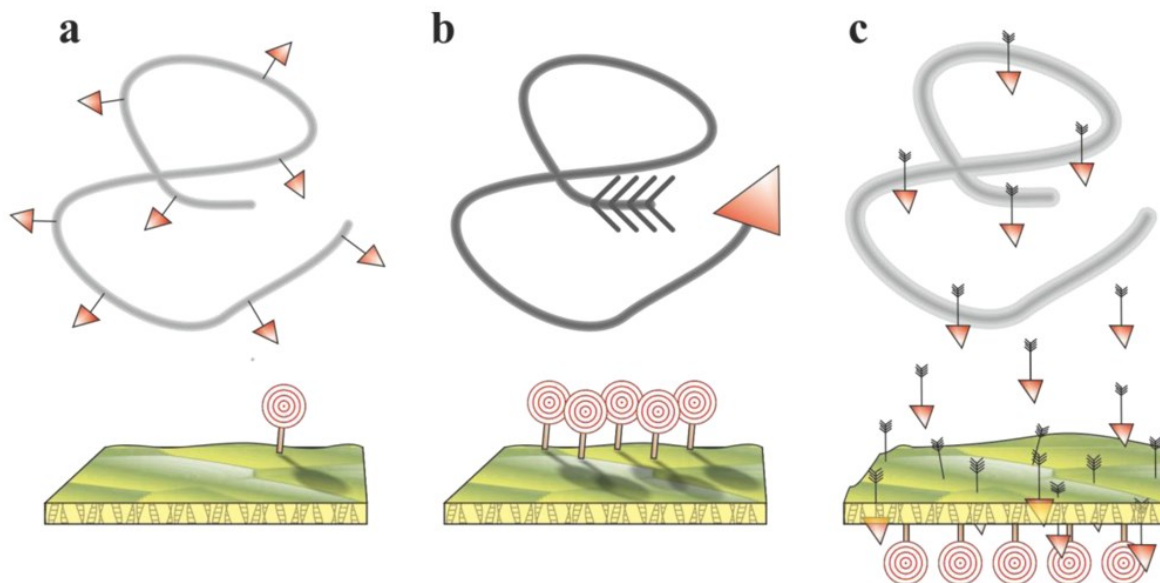
Během posledních dvou desetiletí byl v oblasti makromolekul s antimikrobiálními účinky, včetně syntézy nových struktur a modifikace známých polymerů, uskutečněn velký pokrok. Důvodem je stále větší důraz na prevenci před mikrobiálními infekcemi, navíc je známo, že některé typy bakterií jsou rezistentní vůči antibiotikům, příkladem může být bakterie *Staphylococcus aureus*, která je odolná vůči methicillinu. V důsledku výše uvedených faktů v současnosti pokračuje výzkum ve vývoji antibakteriálních polymerů pro textilní průmysl, úpravy vod, balení potravin, ale také v oblasti zdravotní péče [4][9].

V současné době je známo mnoho funkčních skupin vykazujících antibakteriální vlastnosti. Existuje řada kationických polymerů, jako jsou např. polymery obsahující kvartérní dusík a sulfoniové nebo fosfoniové skupiny. Pro svou antibakteriální aktivitu jsou také využívány polymery ze skupiny polyguanidinů a N-halaminů.

#### 3.2 Rozdělení antibakteriálních polymerů dle mechanismu působení

Účinky antibakteriálních polymerů lze stanovit pomocí minimální inhibiční koncentrace (MIC) a minimální baktericidní koncentrace (MBC). Hodnota MIC odpovídá nejnižší koncentraci bakteriálního činidla, která inhibuje růst bakterií z inokula. Hodnota MBC je určena nejnižší koncentrací antibakteriálního činidla, která snižuje životaschopnost počátečního bakteriálního inokula. Antibakteriální činidla jsou obvykle považována za baktericidní, tj. schopná usmrcovat bakterie, pokud MBC nedosahuje více než čtyřnásobek MIC [4].

Antibakteriální polymery lze rozdělit dle mechanismu působení na tři skupiny, a to na polymerní biocidy, biocidní polymery a polymery, uvolňující biocidní látky (Obr. 4) [10].

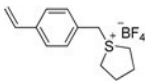
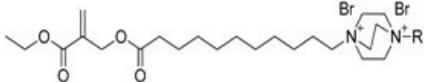
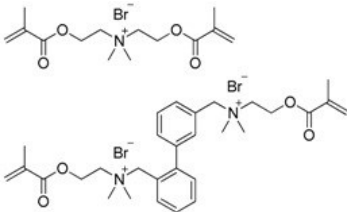
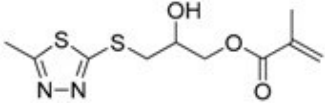
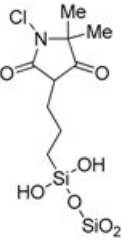
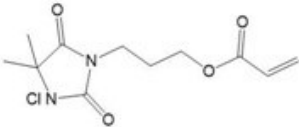


Obr. 3 Mechanismy působení antibakteriálních polymerů a) polymerní biocidy b) biocidní polymery c) polymery uvolňující biocidy [8]

### 3.2.1 Polymerní biocidy

Polymerní biocidy jsou polymery, které se skládají z opakujících se bioaktivních jednotek, které v molekule fungují podobně jako klasické monomery. Bioaktivními jednotkami mohou být například aminoskupiny, karboxylové nebo hydroxylové skupiny. Je důležité si uvědomit, že polymerace biocidních monomerů může výslednou antimikrobiální aktivitu zvýšit, ale i snížit. Příkladem je polymerace antimikrobiálního 4-vinyl-N-benzylpyridiniumchloridu a následné zesítnění, které vede k tvorbě ve vodě nerozpustného polymeru, který mikroorganismy pouze zachytí, ale nezničí [8][10].

Tab. 2 Příklady polymerních biocidů a jejich účinnost na konkrétní MO [10]

Typ monomeru	Cílový mikroorganismus	Antimikrobiální látka
	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Sulfoniová sůl
	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Kvartérní amoniová sůl
	<i>Escherichia coli</i>	Kvartérní amoniová sůl
	<i>Micrococcus luteus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	Benzimidazol
	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Halogen
	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	N-halamin

### 3.2.2 Biocidní polymery

Ve struktuře biocidních polymerů není vyžadována přítomnost opakujících se biocidních jednotek, antimikrobiální účinek je tedy zajištěn molekulou polymeru jako takovou. Mnoho biocidních polymerů obsahuje kvartérní amoniové, fosfoniové nebo guanidinové funkční skupiny. Mikrobiální buňky mají obecně na povrchu záporný náboj, u G<sup>+</sup> bakterií díky mem-

bránovým proteinům a teichoovým kyselinám, a u  $G^-$  z důvodu přítomnosti negativně nabitých fosfolipidů. Z toho důvodu jsou k nim tyto polykationty přitahovány, a pokud mají amfifilní charakter, jsou schopny narušit vnější i cytoplazmatickou membránu a umožnit tak lýzu buňky vedoucí k její smrti. Do této skupiny polymerů patří například chitosan, poly(n-vinylimidazol) a polymethakryláty [10]. Některé budou zmíněny v kapitole 3.4.

### 3.2.3 Polymery uvolňující biocidy

Polymery uvolňující biocidy jsou systémy, kde polymer funguje pouze jako nosič pro transport aktivních biocidů do buněk. Systém řízeného uvolňování biocidy z polymerních nosičů má řadu výhod, jako je například udržení vysoké lokální koncentrace aktivních látek v blízkosti mikroorganismů a usnadnění dodávání biocidů s krátkými poločasy rozpadu. Tento typ antimikrobiálních polymerů má velký potenciál pro využití ve zdravotnictví, konkrétně se často využívají jako nosiče pro antibiotika [10].

Tab. 3 Příklady polymerů uvolňujících biocidy a jejich účinnost na konkrétní MO [10]

Typ polymeru	Cílový mikroorganismus	Antimikrobiální látka
Dextran	<i>Staphylococcus aureus</i>	Gentamicin
Cyklodextrin	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Triklosan
Poly(methylmethakrylát)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	Stříbro
Cyklodextrin	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i>	Stříbro, chitosan
Polykaprolakton	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Stříbro

## 3.3 Faktory ovlivňující antibakteriální aktivitu polymerů

Antibakteriální účinky polymerů ovlivňuje mnoho faktorů, mezi ně patří například molekulová hmotnost polymeru, délka vazby mezi funkční skupinou a hlavním hydrofobním řetězcem, hydrofilně-hydrofobní rovnováha a povaha protiontů [11].

### 3.3.1 Molekulová hmotnost

Molekulová hmotnost je velmi důležitým faktorem ovlivňujícím antimikrobiální vlastnosti. Z literární studie ovšem vyplynulo, že nelze vyvodit jednotný trend ve vztahu molekulové hmotnosti a antimikrobiální aktivity. Význam má více faktorů a je třeba podotknout, že důležitou roli hraje i typ mikroorganismu, resp. jedná-li se o  $G^+$  nebo  $G^-$  bakterii. Studie Yadav a kol. [11] uvádí optimální oblast molekulové hmotnosti mezi  $5 \cdot 10^4$  g/mol až  $1,2 \cdot 10^5$  g/mol.

V práci No a kol. byl sledován vliv molekulové hmotnosti na aktivitu chitosanu a jeho derivátů. Bylo zjištěno, že zatímco většina  $G^+$  bakterií byla inhibována vzorky chitosanu o různé  $M_w$ , vůči  $G^-$  bakteriím byly zaznamenány zásadní rozdíly v závislosti na konkrétním typu mikroorganismu a právě molekulové hmotnosti. Další studie zabývající se testování chitosanových filmů s obsahem karvakrolu potvrdila, že molekulová hmotnost chitosanu ovlivňuje i rychlost uvolňování aktivní látky, konkrétně s rostoucí  $M_w$  docházelo ke zvýšení rychlosti uvolňování z chitosanové matrice [12].

### 3.3.2 Vliv protiontů

Antimikrobiální aktivita je rovněž ovlivněna typem protiontu. Protiont, který tvoří těsný iontový pár s fosfoniovým iontem, vykazoval nižší aktivitu, zatímco v případě protiontů, které usnadňují proces disociace na volné ionty, byla monitorována vysoká účinnost. Bylo zjištěno, že antimikrobiální aktivita klesá v závislosti na typu ionu v pořadí chlorid>tetrafluorid>perchlorát>hexafluorofosfát, což může souviset s rozpustností polymeru [11].

### 3.3.3 Délka alkylového řetězce

Délka hlavního uhlíkového alkylového řetězce je dalším faktorem ovlivňujícím antimikrobiální aktivitu polymeru. Bylo zjištěno, že nejlepších účinků bylo dosaženo s polymery s delším alkylovým řetězcem. Pro tento jev existují dvě vysvětlení. Za prvé, delší řetězec má více aktivních míst pro potenciální adsorpci s bakteriální buněčnou stěnou a cytoplazmatickou membránou, a za druhé se delší řetězce agregují odlišně než kratší řetězce, což opět poskytuje lepší podmínky pro adsorpci [11].

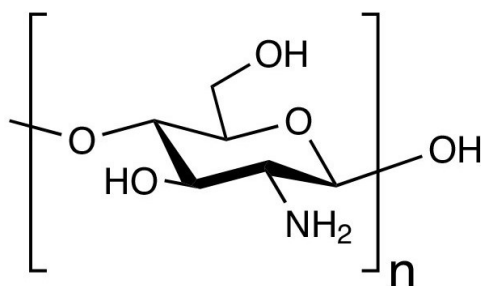
## 3.4 Typy antibakteriálních polymerů

### 3.4.1 Chitin, chitosan a jeho deriváty

Chitosan je lineární polymer složený z  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glukopyranózy a 2-amino-2-deoxy- $\beta$ -D-glykopyranózy. Jedná se o přírodní polysacharid odvozený z chitinu, který je přítomen v exoskeletu korýšů, jako jsou krevety a krabi, a je to jeden z nejhojnějších polysacharidů na zemi. Obecně bylo zjištěno, že se skořápka těchto korýšů skládá z 30–40 % bílkovin, 30–50 % uhličitanu a fosforečnanu vápenatého a 20–30 % chitinu. Chitin se přirozeně nachází i v několika druzích hub. Chitiny a chitosany obsahují vysoké procento dusíku (6,9 %) např. ve srovnání se synteticky substituovanou celulórou (1,3 %). Chitosan



obsahuje ve své molekule tři reaktivní skupiny: primární hydroxylovou skupinu, sekundární hydroxylovou skupinu a aminoskupinu [13][14].



Obr. 4 Struktura chitosanu [14]

Antibakteriální aktivita chitosanu byla objevena v roce 1979 Allanem a Hadwigerem, kteří zjistili, že ve srovnání s chitinem vykazuje chitosan nižší hodnotu minimální inhibiční koncentrace a má tedy silnější antibakteriální aktivitu. Dále se ukázalo, že chitosan je účinný jak proti grampozitivním, tak proti gramnegativním bakteriím, přestože názory, který druh bakterií je více rezistentní, se rozcházejí. Zatímco v roce 2004 jedna výzkumná skupina prokázala, že se chitosan lépe absorbuje na stěny gramnegativních bakterií, což vede k vyššímu antibakteriálnímu účinku, v roce 2008 bylo v jiné práci prohlášeno, že je chitosan účinnější právě proti bakteriím grampozitivním, z důvodu tlusté vnější buněčné membrány gramnegativních typů [4].

Chitosan jako takový vykazuje svou antibakteriální aktivitu pouze v kyselém prostředí, kvůli své špatné rozpustnosti nad pH~6,5. Chemickou modifikací aminoskupiny je možné syntetizovat mnoho ve vodě rozpustných derivátů, jedním z nich může být například karboxymethylchitosan. Antibakteriální aktivita chitosanu je ovlivněna řadou faktorů, které zahrnují stupeň polymerace a některé další jeho fyzikálně-chemické vlastnosti, jako je např. molekulová hmotnost [14][15].

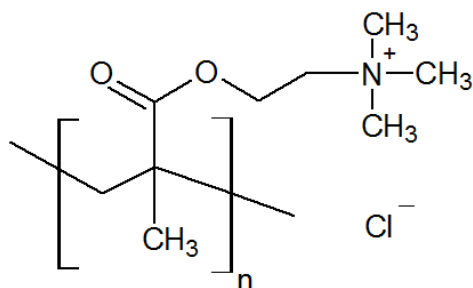
Z chitinu se chitosan získává deacetylací, které lze dosáhnout hydrolýzou acetamidových skupin s koncentrovanými roztoky NaOH nebo KOH (40–50 %) při teplotách nad 100 °C. Tato reakce se obvykle provádí za heterogenních podmínek. Stupeň deacylace chitosanu závisí na podmínkách reakce. Jako alternativa byly navrženy biotechnologické procesy založené na enzymatické deacetylaci chitinu za účelem minimalizace účinků chemických roz-

pouštědel. K tomuto účelu se používají enzymy nazývané chitin-deacetylasy. Enzymatickými procesy je možno lépe regulovat vlastnosti konečného produktu, jako je stupeň acetylace a průměrná molekulová hmotnost [16].

Současný výzkum chitosanu zahrnuje mnoho aplikačních oblastí, jako jsou např. biomedicínské, textilní a potravinářské obaly. Důvodem je nejen jeho antibakteriální aktivita, ale také fakt, že chitosan je biokompatibilní, netoxický, biologicky odbouratelný a šetrný k životnímu prostředí. Chitosan je také využíván jako potravinářské aditivum, které pomáhá uchovávat potraviny a zvyšovat jejich trvanlivost. Chitosan může být zpracován v mnoha různých formách, jako jsou filmy, hydrogely, membrány nebo vlákna. Používá se také ve farmaceutickém průmyslu pro výrobu obvazů, jelikož mimo antimikrobiální účinky také podporuje hojení ran. Využití nachází i jako vehikulum pro léky, jelikož podporuje jejich rozpustnost v lidském organismu. V kosmetickém průmyslu je využíván hlavně pro své antibakteriální, antioxidační, emulgační a hydratační účinky [4][14].

### 3.4.2 Kvartérní amoniové polymery

Polymery obsahující kvartérní amoniové skupiny jsou jedním z nejrozšířenějších antibakteriálních polymerů. Vykazují výjimečnou schopnost penetrace do buněčné membrány, nízkou toxicitu a iritaci vůči pokožce. Tyto látky jsou charakteristické lepší interakcí s gram pozitivními bakteriálními buňkami ve srovnání s gramnegativními typy, protože lépe pronikají do jejich buněčné struktury. Navíc gramnegativní bakterie mají další vrstvu vnější membrány, která zajišťuje vyšší rezistenci vůči kvartérním polymerům. Jedním z příkladů těchto polymerů je poly(2-(dimethylaminoethyl)methakrylát), který vykazuje antimikrobiální aktivitu proti širokému spektru bakterií (Obr. 4). Syntézou monomerů kvartérních amoniových solí z dimethylaminoethylmethakrylátu kvarternizací benzylchloridem, butylbromidem, dodecylbromidem nebo hexadecylbromidem bylo dosaženo antibakteriálních účinků proti *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli*. Do skupiny kationických polymerů s kvartérními amoniovými skupinami lze řadit i pyridiniové sloučeniny, které byly vyvinuty již v roce 1988 [4][17].



Obr. 5 Struktura poly(2-(dimethylaminoethyl)methakrylátu)  
[vlastní zdroj]

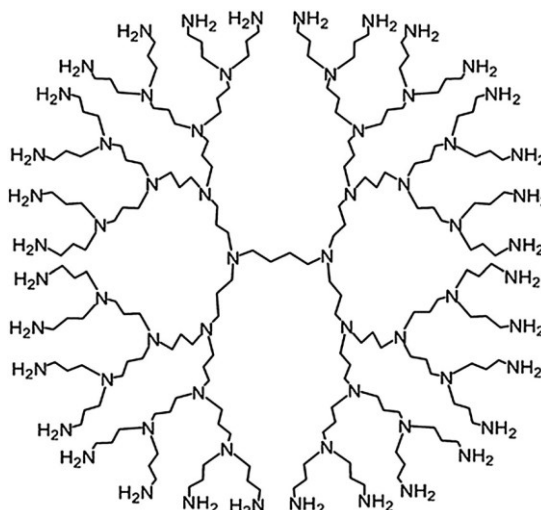
### 3.4.3 Hyperrozvětvené polymery

Hyperrozvětvené polymery (HRP) jsou vedle obvyklých lineárních, rozvětvených a zesíťovaných polymerů jednou z nejdůležitějších podskupin dendritických makromolekul. První zmínka o vysoce rozvětvených polymerech pochází z roku 1952, termín hyperrozvětvený polymer byl uveden až v roce 1980, a to pro definici náhodně se větvící dendritické makromolekuly syntetizované z rozpustných polyfenylenů. HRP jsou analogy běžných lineárních polymerů a dendrimerů, ale vykazují velkou nadřazenost ve struktuře a aktivitě. Ve srovnání s lineárními polymery mají nízký bod tání, nízkou viskozitu, vysokou rozpustnost a velké množství funkčních skupin, které lze snadno chemicky modifikovat. Kromě toho, na rozdíl od komplikované syntézy dendrimerů, je syntéza HRP často založena na relativně jednoduché reakci, která v podstatě nevyžaduje žádné další čištění vzniklého produktu.

Modifikace HRP je nezbytná pro kontrolu jejich rozpustnosti, kompatibility, reaktivity, adheze k různým povrchům, atd. Velký počet funkčních skupin umožňuje přizpůsobení jejich tepelných, mechanických a reologických vlastností pro širokou škálu aplikací. HRP mohou obsahovat hydroxylové, karboxylové, aminové, thiolové a halogenidové funkční skupiny a jejich přítomnost má také velký vliv na konečné chování polymerů [18].

HRP mají také antibakteriální účinky a jsou schopné solubilizovat ve vodě i přes svou velmi rozvětvenou strukturu. K antibakteriálním účinkům přispívá celkový kationtový náboj polymeru na aminoskupinách obsažených v makromolekulárním řetězci, které způsobují usmrcení bakterií narušením jejich buněčné membrány. Jedním příkladem vysoce rozvětveného polymeru je rozvětvený polyethylenimin (PEI), který vykazuje antibakteriální aktivitu právě díky svému kationtovému náboji, a to například proti *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus*. Mezi HRP patří také kvartérní amoniové polymery, jako jsou propylenimin

(PPI) (Obr. 5) a polyamidoamin (PAMAM), které se běžně používají při podávání léků. Antibakteriální aktivita těchto sloučenin závisí na velikosti molekuly, stejně jako délce hydrofobních řetězců. K hodnocení antibakteriální aktivity se v tomto případě používá bioluminiscenční metoda (měření množství ATP nacházejícího se v mikroorganismech, ve kterých slouží jako zdroj energie), kde nižší hodnota bioluminiscence poukazuje na silnější antibakteriální aktivitu [4].



Obr. 6 Struktura komerčně dostupného dendrimera propyleniminu [4]

Vzhledem ke svým fyzikálně-chemickým vlastnostem, jako jsou např. biokompatibilita a biologická odbouratelnost, mají HRP velký význam ve vývoji a výrobě biomateriálů. Důležitou roli hrají i relativně nízké výrobní náklady [18].

#### 3.4.4 Polymery obsahující guanidinové skupiny

Guanidinové polymery obsahují guanidinové funkční skupiny  $\text{HNC}(\text{NH}_2)_2$ , které se používají hlavně jako antimikrobiální činidla. Mohou se syntetizovat z hexamethylenových a guanidinových solí a díky své vysoké rozpustnosti ve vodě, netoxicitě a významné antibakteriální aktivitě jsou používány v mnoha průmyslových aplikacích. Guanidinové polymery mohou také reagovat s jinými chemikáliemi nebo mohou štěpit některé polymery s dlouhým řetězcem, díky aktivní aminoskupině obsažené ve své struktuře. Výsledkem reakce může být větší množství rozdílných guanidinových polymerních derivátů, čímž se rozšiřuje jejich aplikace a použití. Tyto polymery byly testovány proti široké škále grampozitivních a gramnegativních bakterií, a také některým kvasinkám a houbám. Guanidinové polymery ničí buněčnou membránu bakteriálních buněk, což následně způsobí únik intracelulárního obsahu a tím se účinně inhibuje růst bakterií [19].

Předmětem experimentů bývají nejčastěji tyto čtyři polymery: polyhexamethylen guanidin hydrochlorid, polyhexamethylen biguanidin hydrochlorid, polyhexamethylen guanidin steáráť a polyhexamethylen biguanidin steáráť. Tyto polymery vykazují řadu důležitých vlastností, jako je rozpustnost ve vodě a tepelná stabilita. I přes jejich hodnoty minimální inhibiční koncentrace, které se liší u různých kmenů bakterií, stále vykazují silnou antibakteriální aktivitu [4].

### 3.4.5 Antimikrobiální peptidy

Antimikrobiální peptidy a proteiny (AMP) jsou rozmanité skupiny přirozeně se vyskytujícími molekul, které jsou produkovány jako primární obranný mechanismus všemi mnohobuněčnými organismy. Tyto proteiny mají přímý vliv na usmrcování bakterií, kvasinek, hub a virů a dokonce i rakovinných buněk. Tato vlastnost obvykle závisí na schopnosti interagovat s bakteriálními membránami a buněčnými stěnami. Selektivita pro konkrétní druhy je způsobena rozdíly ve složení membrán různých mikroorganismů a typů buněk. Vedle přímé antimikrobiální aktivity jsou některé AMP schopné narušit stávající biofilmy a také inhibovat jejich tvorbu. Hmyz a rostliny AMP primárně využívají jako antibiotikum k ochraně proti potencionálním patogenním mikrobům. Jako zástupce těchto peptidů lze uvést magainin a kalicidin. Magaininy byly poprvé izolovány v roce 1988 z kůže africké žáby *Xenopus laevis*. Během dalších let byly AMP prokázány prakticky ve všech mnohobuněčných organismech, které byly pro tuto aktivitu studovány. V současné době je v databázi AMP uloženo více než 2500 druhů těchto látek, přičemž je pravděpodobné, že tento seznam představuje pouze malý zlomek všech geneticky kódovaných antibiotických bílkovin produkovaných v přírodě [20].

Kationické AMP se typicky skládají z 10 až 50 aminokyselinových zbytků s celkovým kladným nábojem. Tyto peptidy často obsahují bazické aminokyseliny a hydrofobní zbytky, které tvoří unikátní kladně nabitě a hydrofobní struktury, které jsou rozpustné ve vodě [20]. AMP vykazují silnou antibakteriální účinnost proti širokému spektru grampozitivních a gramnegativních bakterií. Podobnou antibakteriální aktivitu prokázaly synteticky připravené peptidy se strukturou analogickou ve srovnání s přírodními typy. Řetězce AMP jsou schopny narušit bakteriální buněčné membrány, což vede k okamžitému usmrcení buněk [4].

V současnosti používané polykationické antibakteriální polymery jsou ve skutečnosti velmi podobné magaininu. Jediným významným rozdílem je tuhá struktura peptidu, která by mohla být důvodem, proč mají AMP obecně silnější antimikrobiální účinky než většina ostatních

antibakteriálních polymerů. Dalšími polymery, které vykazují srovnatelný mechanismus působení, jako mají AMP, jsou strukturálně podobné polymery na bázi poly(fenylethylenethynylenu), které vykazují antibakteriální účinky proti bakteriím jako je *Escherichia coli* a *Staphylococcus aureus* [4].

Bylo také syntetizováno několik arylamidových sloučenin s různými postranními skupinami, u nichž byla stanovována jejich molekulová hmotnost, struktura a hydrofobicita vzhledem k jejich antibakteriální aktivitě a toxicitě vůči červeným krvinkám. Tyto syntetické polymery taktéž vykazovaly významnou účinnost proti bakteriím *E. coli* a *S. aureus*, avšak ve srovnání s přirozenými AMP byla u srovnatelných koncentrací prokázána toxicita pro lidské červené krvinky [4].

### 3.4.6 Chemicky modifikované polymery – N-halaminy

Organické N-halaminy patří do skupiny silných biocidů s rozsáhlou inhibiční aktivitou. N-halamin je sloučenina obsahující jednu nebo více kovalentních vazeb mezi dusík-halogen, které jsou tvořeny halogenací imidových, amidových nebo aminových skupin, a může obsahovat organické skupiny jako je alkyl a karbonyl. Antimikrobiální aktivita N-halaminu je důsledkem reakce výměny halogenů mezi N-halaminy a mikroorganismy, což vede k jejich usmrcení. Na rozdíl od anorganických halogenů (chlor nebo brom) jsou organické N-halaminy stabilnější a méně korozivní a mají také mnohem menší tendenci vytvářet vedlejší produkty – halogenové uhlovodíky [21].

Aby byla zajištěna antibakteriální aktivita N-halaminových skupin, musí proběhnout chlorační reakce, tedy chemická modifikace zaváděním N-halaminových struktur do polymerů. Tato reakce ale není vhodná pro všechny typy polymerů, jelikož v některých případech jsou polymery chemicky inertní. V jiných případech může uvedená reakce zhoršit fyzikální vlastnosti polymerů, anebo může zkomplikovat výrobní procesy konečných produktů [4].

## 4 ANTIBAKTERIÁLNÍ ČINIDLA PRO ZAKOMPOOVÁNÍ DO POLYMERNÍ MATRICE

Další možností, jak získat polymery s antibakteriální aktivitou, je použití různých antibakteriálních činidel pro zakomponování do polymerní matrice. Příkladem mohou být různé anorganické látky jako stříbro nebo zinek. Z organických látek lze využít například bakteriocin nisin, což je polypeptid produkovaný některými bakteriemi mléčného kvašení. Jelikož současným trendem je návrat k přírodním složkám, mají velký význam i esenciální oleje získávané z různých rostlin (například bazalka, tymián, oregano).

### 4.1 Stříbro

Využití iontů stříbra má dlouhou historii. Už v dávných dobách byly tyto látky aplikovány jako dezinfekční prostředky při čištění a skladování vody. Je potvrzeno, že Alexandr Veliký (335 př. n. l.) na mnoha válečných taženích pil vodu pouze ze stříbrných nádob. Antibakteriální vlastnosti stříbra byly dokonce využívány ke skladování vody i na palubě kosmické lodi Apollo či v raketoplánech NASA. V 19. století se stříbro používalo jako antiseptikum při pooperačních infekcích, ve stomatologii, při léčbě ran apod. Dusičnan stříbrný byl používán pro léčbu různých infekčních onemocnění dlouho před vědeckým vysvětlením mechanismu působení těchto patogenních organismů. Objev penicilinu a sulfonamidu, jakožto účinných antibiotik, vedl ve většině zemí světa k dočasnému pozastavení používání stříbra a stříbrných sloučenin. Ovšem, během dalších let, kdy byl prokázán vznik nových rezistentních kmenů bakterií vůči některým antibiotikům, bylo nutno hledat další alternativy efektivních antibakteriálních látek. Opět se začaly využívat sloučeniny stříbra, konkrétně například dusičnan a sulfadiazin stříbrný. Během posledních dvou desetiletí došlo k významnému pokroku v oblasti výzkumu antibakteriálních účinků stříbra a jeho sloučenin. Začaly se syntetizovat nové a bezpečnější sloučeniny stříbra, stejně jako nové metody pro jeho doručování, pro široké spektrum využití [22].

Stříbro je obvykle inertní, ale v ionizovaném stavu se stává vysoce reaktivní a je schopno vázat se na proteiny, rozrušovat buněčné stěny a membrány bakterií. Přesný mechanismus této antibakteriální aktivity není dosud vysvětlen, ale výsledky experimentů ukazují na významné změny v morfologii a struktuře bakteriálních buněk před a po interakci se stříbrnými ionty. Může docházet k potlačení dýchacích funkcí citlivých mikroorganismů, destrukci bu-



něčných stěn, narušení funkcí esenciálních enzymů, snížení metabolické aktivity anebo změnám RNA a DNA. Snížení velikosti částic vede ke zvýšení velikosti plochy povrchu, což umožňuje větší interakci mezi ionty stříbra a bakteriemi, a tudíž i větší antibakteriální aktivitu. Existuje celá řada postupů, jak modifikovat polymery stříbrnými částicemi, například míchání, nebo potahování. Jednou z možností je i inkorporace do polyvinylalkoholu (PVA), jelikož ten působí jako redukční činidlo a zároveň jako matrice pro dispergované částice. U takto modifikovaného PVA se zabudovanými částicemi stříbra byla prokázána až 99,9 % účinnost na bakterie *Staphylococcus aureus* a *Klebsiella pneumoniae* [4].

Antimikrobiální účinnost těchto nanočástic byla prokázána i u mnoha dalších bakterií, včetně *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* či *Streptococcus mutans*. Navíc mají i významné fungicidní účinky, a to např. proti *Candida albicans*, či *Candida krusei* [23]. Kompozity na bázi polymerů a stříbra lze připravit také zpracováváním v tavenině, kdy následně dochází k pomalému a řízenému uvolňování stříbrných iontů, což je významné pro mnoho praktických aplikací [4].

Nanočástice stříbra jsou tedy díky svým antibakteriálním vlastnostem používány ve velké míře hlavně v oblasti zdravotnictví, a to např. jako složka obvazů na rány anebo jako dezinfekční prostředek, či v kosmetickém průmyslu. Dále se používají při skladování potravin, přidávají se do různých textilií, anebo se využívají při úpravě vody [24].

Známým faktem je, že je stříbro toxicitější vůči bakteriím ve srovnání s jinými kovy, ale zároveň je méně toxické pro buňky savců. Nicméně i přesto nanočástice stříbra představují potenciální riziko, protože mohou způsobit argyrosu nebo argyrii, což jsou nemoci, které vznikají právě v důsledku hromadění sloučenin stříbra v lidském těle. Navíc mohou být ionty stříbra cytotoxické pro buňky, jako jsou například fibroblasty [4].

## 4.2 Zinek

Antibakteriální vlastnosti zinku jsou, stejně jako v případě stříbra, známy již dlouho dobu, aktivita vůči streptokokům a stafylokokům byla popsána již v roce 1949. Zinek je užitečný pro rychlejší hojení ran, pomáhá reprodukci buněk, posiluje imunitu a podporuje syntézu proteinů [25][26].

Mezi nejčastěji používané a zkoumané sloučeniny zinku patří nanočástice ZnO a octan zinečnatý. Existuje několik možných mechanismů pro antibakteriální působení iontů zinku. Zinek se dokáže vázat na buněčné membrány bakterií podobně jako na buněčné membrány

eukaryot. Byla zjištěna dostatečná antibakteriální aktivita vůči grampozitivním bakteriím, zatímco gramnegativní typy nebyly inhibovány ani při nejvyšší sledované koncentraci. Bylo také prokázáno, že kombinace oxidu zinečnatého a pryskyřic má proti grampozitivním bakteriím synergické účinky. Odlišné antibakteriální účinky na grampozitivní a gramnegativní bakterie by mohly být způsobeny rozdíly v proteinových složkách buněčných stěn [26].

Nanočástice ZnO jsou dostupné buď ve formě prášků, anebo jako disperzí. Tyto nanočástice kromě antibakteriálních účinků vykazují taktéž fungicidní a antikorozi aktivitu a pro svou nízkou toxicitu a biologickou odbouratelnost jsou využívány pro různé biomedicínské aplikace [27]. Dále jsou používány jako biosenzory, plynové senzory, katalyzátory, plniva, UV absorbéry v kosmetických přípravcích a také se využívají při úpravě vody [28].

### 4.3 Kvartérní amoniové sloučeniny

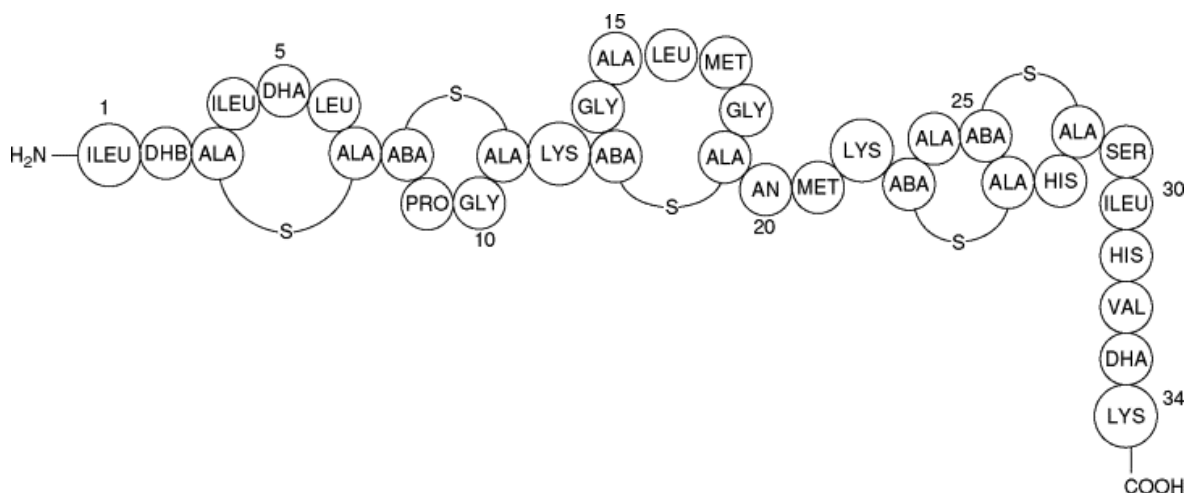
Kvartérní amoniové sloučeniny (KAS) jsou látky, které lze pro jejich vlastnosti využít jak v kosmetickém, tak v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Jedná se o iontové sloučeniny, v nichž je kationická část tvořena kvartérním amoniovým kationtem  $NR_4^+$ , kde R představuje zbytky uhlovodíkových řetězců navázaných na kladně nabitý dusíkový atom. Některé typy obsahují kvartérní dusík přímo jako součást aromatického nebo alifatického cyklu. Kvartérní kationty jsou na rozdíl od primárních, sekundárních nebo terciárních kationtů permanentně nabité, bez ohledu na pH roztoku. Anionická část je nejčastěji tvořena halogenidovými ionty, případně anionty sulfátů, či sulfonátů, ale existují i struktury s jinými protionty. KAS lze připravit mnoha způsoby, výchozí surovinou jsou většinou terciární aminy, kterou jsou alkylovány pomocí různých činidel (např. alkylhalogeniny), což vede ke vzniku KAS. V poslední době se pro přípravu KAS využívá i mikrovlnná syntéza.

Díky své amfifilní chemické struktuře a výborným antimikrobiálním vlastnostem, jež jsou dány elektrostatickými interakcemi mezi pozitivně nabitým atomem dusíku v molekule a negativně nabitou bakteriální buněčnou membránou, nacházejí KAS široké uplatnění v klinické praxi, např. jako antiseptika nebo látky s antibakteriálními a fungicidními účinky. KAS mohou být také využity pro své povrchově aktivní, emulzifikační, změkčující vlastnosti a konzervační vlastnosti. V kosmetickém průmyslu se využívá například benzalkonium chlorid, dimethyl(distearyl)amonium-chlorid a dodecyl(dimethyl)amonium-chlorid [29].

#### 4.4 Nisin

V posledních letech je jednou z výzev kosmetického průmyslu aplikace přírodních konzervačních látek do kosmetických přípravků, aby se zabránilo možným alergickým reakcím, které jsou často spojeny s použitím chemických složek. Konzervační látky mají antimikrobiální vlastnosti a v kosmetických přípravcích jsou využívány za účelem zvýšení trvanlivosti a k zabránění růstu nežádoucích mikroorganismů. Základními vlastnostmi konzervačních přísad by měla být účinnost při nízkých koncentracích, nulová toxicita, rozpustnost ve vodě, dobrá stabilita. Také by nemělo docházet k interakci s ostatními složkami přípravku. Z toho důvodu se nejčastěji používají kombinace více konzervačních přísad, aby byly nežádoucí účinky minimální [30].

Nisin, přírodní konzervační látka, obsahující ve struktuře 34 aminokyselinových zbytků (Obr. 6), je syntetizována určitými druhy *Lactococcus lactis subsp. lactis* a také *Streptococcus*. Patří do skupiny lantibiotik, což je skupina antimikrobiálních peptidů (bakteriocinů) produkovaná širokou škálou grampozitivních bakterií. Bakteriociny jsou bílkoviny, nebo komplexy proteinů, které působí proti grampozitivním bakteriím, zatímco pro gramnegativní bakterie, plísně a kvasinky je jejich aktivita nízká. Gramnegativní bakterie jsou rezistentní díky své vnější buněčné membráně, nicméně přidáním chelatačního činidla, čímž může být například kyselina ethylendiamintetraoctová (EDTA), se můžou membrány destabilizovat a tím se citlivost buněk na nisin zvyšuje [30].



Obr. 7 Struktura biocinu nisin [31]

První izolovanou formou nisinu byl nisin A, avšak doposud bylo popsáno dalších pět variant (nisin Z, F, Q, U a U2), které se liší procentuálním zastoupením aminokyselin. *Lactotocus lactis* produkuje varianty A, Z, F a Q, zatímco *Streptococcus* produkuje varianty U a U2. Nisin není karcinogenní ani mutagenní a nevykazuje žádnou reprodukční nebo vývojovou toxicitu, je tedy považován za bezpečný a je uplatňován jako konzervační přísada hlavně v mlékárenském průmyslu. Nisin představuje velmi zajímavou alternativu, zejména z toho důvodu, že jeho přidáním lze snížit podíl syntetických konzervačních látek. Kromě použití v potravinářském průmyslu jej lze aplikovat v mnoha dalších oblastech, jako je farmaceutický a mimo jiné také kosmetický průmysl [30].

#### 4.5 Esenciální oleje

Esenciální oleje (jinak silice) jsou aromatické sloučeniny získávané z rostlinných materiálů, např. z květů, pupenů, semen či kůry, přičemž nejběžnější metodou extrakce těchto látek je destilace parou. EO mohou obsahovat až 60 různých složek, hlavními látkami jsou terpeny (limonen,  $\beta$ -linalool,  $\beta$ -pinen, citral) a fenoly (karvakrol, thymol), které jsou rovněž zodpovědné za antimikrobiální aktivitu EO. Ta je vysvětlována pomocí kombinace více mechanismů působících v různých částech buňky. Díky jejich hydrofobicitě dochází k rozpouštění v bakteriální membráně, čímž dojde k narušení jejich struktury a zvýšení permeability. Důsledkem je únik iontů a buněčného obsahu, včetně ATP, což pak vede k usmrcení buněk [32]. Aktivní látky vybraných esenciálních olejů jsou uvedeny v Tabulce 4.

Tab. 4 Účinné složky vybraných silic a jejich koncentrace v % [32]

Esenciální olej	Hlavní sloučeniny	Obsah [%]
Bazalka	Estragol	45,8–86,1
	Linalool	20,3–60,6
Skořicový list	Eugenol	76,74–87,3
Citrón	Limonene	59,10–71,06
Oregano	Karvakrol	32,0–61,3
	Thymol	13,9–35,0
Tymián	Thymol	2,9–43
	Karvakrol	0,3–40,1
	p-cymen	16,0–19,8

Význam EO jako konzervačních činidel v posledních letech stoupá. Důvodem jsou rizika vyskytující se v souvislosti s používáním syntetických konzervantů, jako je zvýšený iritační potenciál a alergické reakce. Antimikrobiální účinek EO závisí na typu, koncentraci a vzájemných interakcích mezi hlavními aktivními látkami. Účinná konzervační činidla by měla mít široké spektrum antimikrobiální aktivity při minimální koncentraci. Nejslibnějšími kandidáty jsou EO získávané z oregana, tymiánu, citronové trávy či skořice. Je třeba poznamenat, že i EO mohou u některých jedinců vyvolávat nežádoucí účinky v podobě alergických reakcí. Existují také přípravky obsahující kombinaci esenciálních olejů a syntetických konzervačních prostředků, které umožňují snížení koncentrace obou složek v důsledku jejich synergických účinků. [33].

EO mají kromě antimikrobiálních účinků i řadu dalších důležitých vlastností, například působí jako antioxidanty, tudíž kůži chrání před volnými radikály, které jsou zodpovědné za její stárnutí. Dále je lze využít v přípravcích vlasové kosmetiky, jelikož vlasům poskytují lesk a mají také kondiční účinky. V současné době jsou EO široce využívány i v kosmetice, kam patří kosmetické přípravky s farmakologickými vlastnostmi. Například geraniový olej se pro své protizánětlivé účinky používá jako čisticí prostředek pro mastnou pleť, akné a také ekzémy. EO se v neposlední řadě přidávají do kosmetických produktů za účelem parfemace [34].

## 5 PRAKTICKÝ VÝZNAM ANTIBAKTERIÁLNÍCH POLYMERŮ

Eliminací dopadů bakteriálních infekcí se v současné době zabývají různá průmyslová odvětví. Mezi nejvýznamnější zástupce určitě patří zdravotnický, potravinářský a kosmetický průmysl.

### 5.1 Potravinářský průmysl

Kvůli obavám o zdraví spotřebitelů je v posledních letech kladen větší důraz na bezpečnost a kvalitu potravin. [10]. Použití antimikrobiálních látek v obalech potravin může napomoci odolávat bakteriálnímu osidlování se zaměřením na specifické organismy tak, aby byla zajištěna větší bezpečnost, kvalita a také trvanlivost produktů. V tomto ohledu bylo dosaženo značného pokroku v kvalitě balení potravin právě díky využití antibakteriálních polymerů. Obal může sloužit jako nosič antimikrobiální, či antioxidační sloučeniny, aby se udržela vysoká koncentrace konzervačních látek na povrchu potravin [11].

Z aktivních látek byly studovány například různé organické kyseliny, bakteriociny a extrakty z koření [11]. Významnou bioaktivní molekulou je nisin, což je jediný bakteriocin schválený jako konzervační látka pro potraviny, díky svým příznivým vlastnostem, nízké toxicitě a antibakteriálním účinkům. Pro tyto aplikace byly vyvinuty antimikrobiální filmy na bázi nisinu a kyseliny polymléčné. Bylo dosaženo kontrolovaného uvolňování nisinu z připraveného polymerního filmu s vysokou antimikrobiální aktivitou proti *Staphylococcus aureus* [10].

### 5.2 Zdravotnictví

Povrchy všech zdravotnických prostředků poskytují vhodné prostředí pro růst mikroorganismů. Použití antibakteriálních polymerů má tedy v této oblasti velký význam. Pro snížení tendence tvorby biofilmu a zajištění možnosti dlouhodobějšího využití zdravotnických pomůcek byly vyvinuty různé antibakteriální polymery, například směs 4-vinyl-n-hexylpyridinium bromid a dimetyl(2-methakryloyloxyethyl)fosfonátu. Film na bázi tohoto kopolymeru aplikovaný na titanové povrchy zajistil zásadní pokles adheze různých patogenních bakterií [10].

Antimikrobiální peptidy a jejich syntetické analogy v kombinaci s chitosanem se hojně používají jako složky obvazů na rány. Pro rychlejší hojení ran byl také vyvinut kompozitní gel

na bázi oxidu zinečnatého, gentamicinu a chitosanu. Díky pomalému uvolňování antibiotika bylo dosaženo významných antibakteriálních vlastností proti *S. aureus* a *P. aeruginosa* [10].

### 5.3 Úprava vod

Dezinfekční prostředky rozpustné ve vodě nebo s obsahem chloru jsou problémové kvůli zbytkové toxicitě, a to i v případě, že je použito minimální množství těchto látek. Toxické zbytky těchto látek se mohou koncentrovat v potravinách, ve vodě i v prostředí. Kromě toho mohou volné ionty chloru a další příbuzné chemikálie reagovat s organickými látkami ve vodě za vzniku sloučenin na bázi trihalometanu, který je nebezpečný z důvodu karcinogenity. Proto je třeba se použití těchto látek vyvarovat, přičemž jednou z možností je použití nerozpustných dezinfekčních prostředků, které inaktivují, nebo usmrcují cílové mikroorganismy pouhým kontaktem a bez uvolnění jakýchkoliv reaktivních činidel [11].

V tomto ohledu byla zkoumána antibakteriální aktivita nerozpustného polymeru pyridiniového typu, kdy bylo prokázáno, že tento polymer je schopný zachytit bakteriální buňky v živém stavu adsorpcí nebo adhezí. Navíc bylo zjištěno, že tento typ polymeru dokáže zachytit i mrtvé bakteriální buňky. Tyto výsledky dokládají široké možnosti využití nerozpustných polymerů pyridiniového typu, například v nových technikách úpravy vody a procesech imobilizace buněk [11].

### 5.4 Textilní průmysl

Antibakteriální textilie nabírají v posledních letech na popularitě, protože mají potenciál poskytovat lidem pocit většího bezpečí a zvyšovat míru oděvního komfortu a svým způsobem i kvalitu života. Textil představuje skvělou živnou půdu pro mikroorganismy, které mohou způsobovat onemocnění, nepříjemný zápach, degradaci barev a celkové zhoršení kvality materiálu. Antibakteriální polymery jsou používány spíše pro výrobu sportovního oblečení, spodního prádla, nemocničního prádla, bot, atd., a to kvůli zvýšenému riziku výskytu mikroorganismů. Na trhu jsou k dispozici různé možnosti výroby antibakteriálních textilií, například insolubilizace účinné látky v textilních vláknech, povrchová úprava vláken, ošetření textilu pomocí zesíťovadel nebo chemická modifikace prostřednictvím kovalentních vazeb [11].

Často je využíván chitosan nebo jeho deriváty. Byly připraveny například nanokompozitní povlaky na bázi stříbra a oxidu zinečnatého v kombinaci s chitosanem. Zajímavou aplikací jsou morušová vlákna s povrchovou úpravou na bázi  $\text{TiO}_2$ . Výhodami této jedinečné textilie

jsou kromě antimikrobiálních vlastností i samočisticí schopnosti a prevence proti žloutnutí [10].

Ideální antimikrobiální textilie by měly vykazovat aktivitu vůči širokému spektru mikroorganismů a tyto vlastnosti by neměly být sníženy ani během opakovaného používání či praní. Dále by neměly obsahovat toxické migrující látky a antimikrobiální účinek by měl být omezen pouze na povrch materiálu, to znamená, že by látky neměly interferovat s bakteriemi kožního povrchu [11].

## 5.5 Kosmetika

Polymerní materiály v kosmetice mohou plnit různé funkce, běžně se používají jako filmotvorné látky, emulgátory, zahušťovadla, modifikátory viskozity, emolienty a v neposlední řadě jako konzervanty [2]. Kosmetické produkty obsahující směsi organických a anorganických sloučenin vyžadují přítomnost konzervačních činidel za účelem ochrany proti mikrobiální kontaminaci, prodloužení trvanlivosti a zajištění bezpečnosti pro spotřebitele. K tomuto účelu mohou sloužit polykationické polymery, které jsou známé jako polyquaterna. V micelárních vodách a odstraňovačích očního make-upu lze nalézt polyaminopropyl biguanid, který vykazuje širokospektrální antibakteriální aktivitu a nízký iritační potenciál. V kosmetických aplikacích má význam antibakteriální polymer chitosan a jeho deriváty, které představují velmi perspektivní netoxické, biodegradabilní přírodní materiály. Tyto látky jsou složkami přípravků pro ústní hygienu, jako jsou zubní pasty a ústní vody, kde napomáhají snižovat výskyt zubního plaku a redukovat záněty dásní. K těmto aplikacím slouží například deriváty imidazolu, N-karboxymetyl chitosan, nebo sulfatovaný chitosan. Další aplikaci představují vlasové přípravky, kde jsou chitosanové deriváty využívány z důvodu schopnosti interagovat s keratinem za tvorby transparentních elastických filmů, které následně zvyšují pevnost vlasů. Jako příklad lze uvést karboxybutyl nebo karboxymetyl chitosan. Pro své antioxidační a antibakteriální vlastnosti je aplikován chitosan glykolát nebo chitosan benzamid [35][36]. Charakteristika některých z těchto polymerů a využití v konkrétních produktech jsou součástí kapitoly 5.6.



## 5.6 Produkty s obsahem antibakteriálních polymerů

V této kapitole jsou uvedeny příklady komerčně běžně dostupných konkrétních kosmetických produktů, které obsahují antibakteriální polymery.

### 5.6.1 Produkty na bázi polyquaternium

#### *GLISS KUR hair repair – balzám (Schwarzkopf&Henkel, Düsseldorf, Germany)*

Ingredience: Aqua, Cetearyl Alcohol, Quaternium-87, Stearamidopropyl Dimethylamine, Dimethicone, Citric Acid, Distearoylethyl Hydroxyethylmonium Methosulfate, Isopropyl Myristate, Glycerin, Propylene Glycol, Polyquaternium-10, Panax Ginseng Root Extract, Arginine, Arctium Majus Root Extract, Acetyl Tyrosine, Hydrolyzed Soy Protein, **Polyquaternium-11**, PEG-12 Dimethicone, Niacinamide, Ornithine HCl, Citrulline, Biotin, Panthenol, Cocodimonium Hydroxypropyl Hydrolyzed Keratin, Hydrolyzed Keratin, Phenoxyethanol, Parfum, Sodium Methylparaben, Dimethiconol, Citronellol



Obr. 8 Gliss Kur balzám na vlasy [vlastní zdroj]

#### *DERMACOL aroma ritual – sprchový gel (Dermacol, a. s., Praha, Czech Republic)*

Ingredience: Aqua, Sodium Laureth Sulfate, Glycerin, Cocamide DEA, Cocamidopropyl Betaine, PEG-40 Hydrogenated Oil, Parfum, Sodium Chloride, PEG-120 Methyl Glucose Dioleate, Vitis Vinifera Seed Oil, **Polyquaternium-7**, Coco-Glucoside, Glyceryl Oleate, Hydrogenated Palm Glycerides, Tocopherol, Lactic Acid, Citric Acid, Phenoxyethanol, Sodium Benzoate, Potassium Sorbate, Hexyl Cinnamal, Linalool, D-Limonene, Citronellol, CI 17200, CI 42090



Obr. 9 Dermacol sprchový gel [vlastní zdroj]

**ZIAJA – posilující šampón s keratinem (Ziaja, Gdansk, Poland)**

Ingredients: Aqua (water), Sodium Laureth Sulfate, Cocamidopropyl Betaine, Ammonium Lauryl Sulfate, Glycol distearate, Laureth-4, **Polyquaternium 10**, Hydrolyzed Keratin, Propylene Glycol, Goat Milk Extract, Sodium Chloride, Sodium Benzoate, Parfum (Fragrance), Linalool, Citronellol, Hexyl Cinnamal, Benzyl Salicylate, Eugenol, Alpha-Isomethyl Ionone, Citric Acid



Obr. 10 Ziaja šampón na vlasy [vlastní zdroj]

**SEBA MED – kondicionér (Sebapharma, Boppard, Germany)**

Ingredients: Agua, Propylene Glycol, Cetearyl Alcohol, Panthenol, Argania spinosa kernel oil, Lecithin, Ascorbyl Palmitate, Hydrolyzed Silk, Hydrolyzed Wheat Protein, Caprylic/Capric Triglyceride, Sodium Citrate, Sodium Cetearyl Sulfate, Ceteareth-12, Cetyl Alcohol, Cetrimonium Chloride, **Polyquaternium-16**, **Polyquaternium-37**, Parfum, Phenoxyethanol, Sodium Benzoate



Obr. 11 Sebamed kondicionér na vlasy [37]

*NIVEA – kuličkový deodorant (Beiersdorf, Hamburg, Germany)*

Ingrediencie: Aqua, Isoceteth-20, Paraffinum Liquidum, Butylene Glycol, Glyceryl Isostearate, Glycerin, Parfum, **Polyquaternium-16**, Maris Limus Extract, Ostrea Shell Extract, Persea Gratissima Oil, Propylene Glycol, PEG-150 Distearate, Phenoxyethanol, Limonene, Benzyl Alcohol, Linalool, Citronellol, Geraniol



*Obr. 12 Nivea deodorant [38]*

#### **5.6.1.1 Charakteristika polymerů typu polyquaternium**

Polyquaternium je označení pro několik typů polykationických polymerů, které se používají v kosmetických přípravcích. Dle INCI je schváleno 37 různých látek označených názvem polyquaternium a číslem. Tato čísla jsou přiřazena v pořadí, ve kterém byly polymery registrovány a nesouvisí s jejich chemickou strukturou [39].

Polyquaternia se v obecně v kosmetických přípravcích používají pro zlepšení emulgace, poskytují také dobrou pěnovost a jsou dobře kombinovatelné s širokou škálou povrchově aktivních látek. Mají schopnost vytvářet souvislý film, umožňují lepší vstřebatelnost proteinů do pokožky, působí antistaticky a mají velmi dobré kondicionační schopnosti. V neposlední řadě se pro své antibakteriální účinky do produktů přidávají za účelem konzervace. Aplikují se často jako složky přípravků péče o pleť, vlasy a nehty. Mohou se dále objevit v tekutých mýdlech a holicích pěnách. V přípravcích se používají v množství do 2 % celkového objemu výrobku [40][41].

### 5.6.2 Produkty na bázi biguanidu

**GARNIER – osvěžující odličovač očí (Garnier, Paris, France)**

Ingredience: Aqua/Water, PEG-7 Caprylic/Capric Glycerides, Poloxamer 184, Poloxamer 124, PEG-6 Caprylic/Capric Glycerides, Polysorbate 80, Benzyl Salicylate, Disodium EDTA, Linalool, Methylparaben, **Polyaminopropyl Biguanide**, Pyrus Malus Water/Apple Fruit Water, Tetrasodium EDTA, Vitis Vinifera Extract/Grape Fruit Water, Parfum/Fragrance (F.I.L. B52001/1)



Obr. 13 Garnier odličovač očí [42]

**MIXA – micelární voda (L'Oréal, Paris, France)**

Ingredience: Aqua/Water, Hexylene Glycol, Glycerin, PEG-60 Hydrogenated Castor Oil, Zinc Gluconate, Poloxamer 184, Disodium Cocoamphodiacetate, Disodium EDTA, Citric Acid, Panthenol, BHT, **Polyaminopropyl Biguanide**, Parfum/Fragrance (F.I.L. B215647/1)



Obr. 14 Mixa micelární voda [43]

***L'Oréal Paris – micelární voda (L'Oréal, Paris, France)***

**Ingredience:** Aqua/Water, Hexylene Glycol, Poloxamer 184, Disodium Cocoamphodiacetate, Disodium EDTA, **Polyaminopropyl Biguanide**, (F.I.L. B165931/2)



*Obr. 15 L'Oréal micelární voda [44]*

**5.6.2.1 Charakteristika polyaminopropyl biguanidu**

Polyaminopropyl biguanid působí jako vodná kationická konzervační látka, která je účinná jak proti grampozitivním, tak proti gramnegativním bakteriím. Je kompatibilní se širokou škálou kosmetických přípravků na bázi vody a prostředků pro osobní péči. Vzhledem k jeho mírné dermální dráždivosti je vhodný pro oplachové i neoplachové přípravky. Lze jej najít v přípravcích péči o vlasy, v pleťových krémech, deodorantech, odličovačích, pleťových a micelárních vodách a dokonce i v kosmetice určené pro děti. Švýcarská společnost Lonza jej nabízí pod obchodním názvem Cosmocil® CQ, jako účinný konzervant s antibakteriálními a deodoračními vlastnostmi pro odstraňování make-upu, tónující a čisticí přípravky na obličej [45][46].

### 5.6.3 Produkty na bázi chitosanu

#### ***RYOR – tonikum na citlivou a zralou pleť***

***(RYOR, Czech Republic)***

Ingredience: Aqua, Glycerin, **Chitosan Glycolate**, Sodium Lactate, Sodium PCA, Glycine, Fructose, Urea, Niacinamide, Inositol, Lactic Acid, PPG-26-Buteth-26, PEG-40 Hydrogenated Castor Oil, Alcohol Denat., Parfum, Sodium Benzoate, Potassium Sorbate



*Obr. 16 RYOR tonikum [47]*

#### ***5.6.3.1 Charakteristika chitosanu a jeho derivátů***

Chitosan a jeho význam byl již popsán v kapitole 3.4.1. Tento přírodní polymer a zejména jeho deriváty jsou v současné době velmi oblíbenou kosmetickou přísadou. Přidává se například do kosmetických přípravků určených pro zralou pleť, jelikož má schopnost na sebe vázat velké množství vody, tudíž působí hydratačně. Ze stejného důvodu se přidává do různých pleťových masek a sér. Dále se využívá pro své antibakteriální, antioxidační a emulgační účinky. Chitosan glykolát je doporučován do produktů dekorativní kosmetiky, přípravků pečujících o pleť (obličejové, tělové přípravky, dětské krémy), opalovacích krémů a dalších. Kosmetické složky na bázi chitosanu pro péči o pokožku a vlasy nabízí společnost Chitinor AS (Norsko) jako produktovou řadu s názvem Hydamer™. Konkrétně produkt Hydamer™ CMF je na bázi 1%ního roztoku chitosanu v 0,4%ního roztoku kyseliny glykolové a je doporučován jako složka kosmetických emulzí, tonik a opalovacích přípravků poskytující mimo jiné antimikrobiální a deodorační účinky [48].

## ZÁVĚR

Mikrobiální infekce představují v současné době vážný problém v mnoha oblastech průmyslu. Náplní této bakalářské práce bylo klasifikovat antibakteriální polymery včetně mechanismu jejich působení a zohlednit také vliv různých faktorů na aktivitu těchto látek. Součástí bylo taktéž vypracovat přehled organických i anorganických antibakteriálních činidel, vhodných pro zakomponování do polymerní matrice. V neposlední řadě byla pozornost soustředěna na význam těchto látek v různých praktických aplikacích.

Ze studia literatury lze usoudit, že antibakteriální polymery představují perspektivní skupinu látek, které mohou napomoci snižovat rizika spojená s výskytem bakteriálních infekcí. Používání těchto materiálů má pro kosmetiku i další odvětví velký potenciál. Mohou být aplikovány do obalových materiálů, v kosmetice se využívají zejména jako konzervanty, aplikují se do ústních vod, deodorantů, odličovačů a micelárních vod. Vzhledem k narůstajícím rizikům spojeným s vývojem rezistentních bakteriálních kmenů, je hledání vhodných environmentálně příznivých antibakteriálních látek stále aktuálním tématem.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Praha. Vydavatelství VŠCHT, 1995, 354 s. ISBN 80-708-0241-3
- [2] PATIL, Anjali a Michael S. FERRITTO, ed. *Polymers for Personal Care and Cosmetics*. Washington, DC: American Chemical Society, 2013. ISBN 0-8412-2905-8
- [3] GODDARD, D. *Principles of polymer science and technology in cosmetics and personal care*, 1999. ISBN 0-8247-1923-9
- [4] LOH, X. J. *Polymers for personal care products and cosmetics*. The Royal Society of Chemistry, 2016, ISBN 978-1-78262-295-6
- [5] KLABAN, Vladimír. *Ilustrovaný mikrobiologický slovník*. Praha: Galén, 2005, 654 s. ISBN 80-7262-341-9.
- [6] KAPRÁLEK, František. *Základy bakteriologie*. Praha: Karolinum, 1999, 241 s. ISBN 80-7184-811-5.
- [7] *Buněčná stěna grampozitivního (A) a gramnegativního (B) typu*. [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js17/cviceni\\_mikrobiologie/web/pages/pozorovani\\_mikroorganizmu.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js17/cviceni_mikrobiologie/web/pages/pozorovani_mikroorganizmu.html)
- [8] SIEDENBIEDEL, Felix a Joerg C. TILLER. *Antimicrobial Polymers in Solution and on Surfaces: Overview and Functional Principles*. *Polymers*, 2012, 46-71 p. ISSN 2073-4360
- [9] TIMOFEEVA, Larisa a Natalia KLESHCHEVA. *Antimicrobial polymers: mechanism of action, factors of activity, and applications*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2011, 475-492 p. ISSN 0175-7598
- [10] HUANG, Keng-Shiang, Chih-Hui YANG, Shu-Ling HUANG, Cheng-You CHEN, Yuan-Yi LU a Yung-Sheng LIN. *Recent Advances in Antimicrobial Polymers: A Mini-Review*. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, ISSN 1422-0067
- [11] ARORA Shefali ed. *Polymer Based Antimicrobial Coatings as Potential Biomaterial: A Review*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 2013, 279-290 p.



- [12] FERNÁNDEZ-PAN, I., J.I. MATÉ, C. GARDRAT a V. COMA. *Effect of chitosan molecular weight on the antimicrobial activity and release rate of carvacrol-enriched films*. Food Hydrocolloids, 2015, 60-68 p. ISSN 0268005X
- [13] KALIA, S. and Luc AVÉROUS, ed. *Biopolymers: Biomedical and Environmental Applications*. Scrivener publishing, 2011, 644 p. ISBN 978-0-470-63923-8
- [14] JIMTAISONG, A. a N. SAEWAN. *Utilization of carboxymethyl chitosan in cosmetics*. International Journal of Cosmetic Science, 2014, 12-21 p. ISSN 01425463
- [15] QI, Lifeng, Zirong XU, Xia JIANG, Caihong HU a Xiangfei ZOU. *Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles*. Carbohydrate Research, 2004, 2693-2700 p. ISSN 00086215
- [16] DE QUEIROZ ANTONINO, Rayane, Bianca LIA FOOK, Vítor DE OLIVEIRA LIMA, Raid DE FARIAS RACHED, Eunice LIMA, Rodrigo DA SILVA LIMA, Carlos PENICHE COVAS a Marcus LIA FOOK. *Preparation and Characterization of Chitosan Obtained from Shells of Shrimp (Litopenaeus vannamei Boone)*. Marine Drugs, 2017. ISSN 1660-3397
- [17] ZHANG, Anqiang, Qiongqiong LIU, Yufeng LEI, Shuanghao HONG a Yaling LIN. *Synthesis and antimicrobial activities of acrylamide polymers containing quaternary ammonium salts on bacteria and phytopathogenic fungi*. Reactive and Functional Polymers, 2015, 39-46 p. ISSN 13815148
- [18] WANG, Dali, Tianyu ZHAO, Xinyuan ZHU, Deyue YAN a Wenxin WANG. *Bioapplications of hyperbranched polymers*. Chemical Society Reviews, 2015, 4023-4071 p. ISSN 0306-0012
- [19] QIAN, Liying, Yong GUAN, Beihai HE a Huining XIAO. *Modified guanidine polymers: Synthesis and antimicrobial mechanism revealed by AFM*. Polymers, 2008, 2471-2475 p. ISSN 00323861
- [20] ZHANG, Ling-juan a Richard L. GALLO. *Antimicrobial peptides*. Current Biology, 2016. ISSN 09609822
- [21] CHEN, Zhaobin a Yuyu SUN. *N -Halamine-Based Antimicrobial Additives for Polymers: Preparation, Characterization, and Antimicrobial Activity*. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2006, 2634-2640 p. ISSN 0888-5885
- [22] MELAIYE, Abdulkareem a Wiley J YOUNGS. *Silver and its application as an antimicrobial agent*. Expert Opinion on Therapeutic Patents, 2005, 125-130 p. ISSN 1354-3776

- [23] LI, Wen-Ru, Xiao-Bao XIE, Qing-Shan SHI, Shun-Shan DUAN, You-Sheng OUYANG a Yi-Ben CHEN. *Antibacterial effect of silver nanoparticles on Staphylococcus aureus*. BioMetals, 2011, 135-141 p. ISSN 0966-0844
- [24] ABOU EL-NOUR, Kholoud M., Ala'a EFTAIHA, Abdulrhman AL-WARTHAN a Reda A. AMMAR. *Synthesis and applications of silver nanoparticles*. Arabian Journal of Chemistry, 2010, 135-140 p. ISSN 18785352
- [25] ACHARYA, Vinod, C. RATNA PRABHA a Chivukula NARAYANAMURTHY. *Synthesis of metal incorporated low molecular weight polyurethanes from novel aromatic diols, their characterization and bactericidal properties*. Biomaterials, 2004, 4555-4562 p. ISSN 01429612
- [26] ATMACA, S., GUL, K., CICEK, R. *The effect of zinc on microbial growth*. Tr. J. of Medical Sciences, 1998, 595-597 p.
- [27] ZHANG, Y; NAYAK, T R; HONG, H; CAI, W. *Biomedical Applications of Zinc Oxide Nanomaterials*. Current Molecular Medicine, 2013, vol. 13, ISSN 1875-5666.
- [28] SRIVASTAVA, Varsha, Deepak GUSAIN a Yogesh Chandra SHARMA. *Synthesis, characterization and application of zinc oxide nanoparticles (n-ZnO)*. Ceramics International, 2013, 9803-9808 p. ISSN 02728842
- [29] MARKVANOVÁ P., PADRTOVÁ T. a MOKRÝ P. *Kvartérní amoniové soli – syntéza a využití*. Ústav chemických léčiv, Farmaceutická fakulta, Veterinární a farmaceutická univerzita, Brno, 2016, 197-205 s.
- [30] MAURÍCIO, Elisabete, Catarina ROSADO, Maria DUARTE, Joana VERISSIMO, Sara BOM a Laura VASCONCELOS. *Efficiency of Nisin as Preservative in Cosmetics and Topical Products*. Cosmetics, 2017. ISSN 2079-9284
- [31] WILLIAMS, G.C. a J. DELVES-BROUGHTON. *Nisin*. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 2003, 4128-4135 p. ISBN 9780122270550
- [32] PERDONES-MONTERO, Ángela. *Antifungal Chitosan-based Films and Coatings Containing Essentials Oils for Fruit Applications*. Doctoral thesis, Valencia, 2015.
- [33] DREGER, Mariola a Karolina WIELGUS. *Application of essential oils as natural cosmetic preservatives*. Herba Polonica, 2013, 142-156 p. ISSN 0018-0599
- [34] CARVALHO, I. T., B. N. ESTEVINHO a L. SANTOS. *Application of microencapsulated essential oils in cosmetic and personal healthcare products - a review*. International Journal of Cosmetic Science, 2016, 109-119 p. ISSN 01425463

- [35] HALLA, Nouredine, Isabel FERNANDES, Sandrina HELENO, et al. Cosmetics Preservation: A Review on Present Strategies. *Molecules*, 2018. ISSN 1420-3049.
- [36] ARANAZ, Inmaculada, Niuris ACOSTA, Concepción CIVERA, Begoña ELORZA, Javier MINGO, Carolina CASTRO, María GANDÍA a Angeles HERAS CABALLERO. *Cosmetics and Cosmeceutical Applications of Chitin, Chitosan and Their Derivatives*. *Polymers*, 2018. ISSN 2073-4360
- [37] *Seba med – kondicionér* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41mIbO-mSLL.jpg>
- [38] *Nivea – kuličkový deodorant* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.nivea.cz/~/\\_/images/media-center-items/4/e/c-278196-2.jpg?mw=505&mh=500](https://www.nivea.cz/~/_/images/media-center-items/4/e/c-278196-2.jpg?mw=505&mh=500)
- [39] *What is polyquaternium* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://chemistscorner.com/what-is-polyquaternium/>
- [40] *Polyquaternium 10* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://encyklopedie.bi-ooo.cz/vyhledat-slozeni/polyquaternium-10/>
- [41] *Polyquaternium 22* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://encyklopedie.bi-ooo.cz/vyhledat-slozeni/polyquaternium-22/>
- [42] *Garnier – osvěžující odličovač očí* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://nakup.itesco.cz/groceries/cs-CZ/products/2001012414777>
- [43] *Mixa – micelární voda* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://i.notino.com/order\\_2k/mixa/3600550476040\\_01-o/mixa-optimal-tolerance-micelarni-voda-pro-zklidneni-pleti\\_\\_21.jpg](https://i.notino.com/order_2k/mixa/3600550476040_01-o/mixa-optimal-tolerance-micelarni-voda-pro-zklidneni-pleti__21.jpg)
- [44] *L'Oréal Paris – micelární voda* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.tetadrogerie.cz/eshop/katalog/lor-dex-subl-fresh-micelar-200-ml>
- [45] *PHMB – Polyaminopropyl biguanide* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://cosmetics.specialchem.com/product/i-sharon-laboratories-phmb-polyaminopropyl-biguanide>
- [46] *Cosmocil® CQ* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://cosmetics.specialchem.com/product/i-lonza-cosmocil-cq>
- [47] *Ryor – tonikum* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.cpkshop.cz/fotky39133/fotos/\\_vyr\\_35962.png](https://www.cpkshop.cz/fotky39133/fotos/_vyr_35962.png)
- [48] *Chitosan - The sustainable active ingredient for skin and hair* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.in-cosmetics.com/\\_novadocuments/218091?v=635914903328230](https://www.in-cosmetics.com/_novadocuments/218091?v=635914903328230)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

AMP	Antimikrobiální peptidy
ATP	Adenosintrifosfát
BHT	Butylhydroxytoluen
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
EDTA	Ethylendiamintetraoctová kyselina
EO	Esenciální olej
G <sup>+</sup>	Grampozitivní
G <sup>-</sup>	Gramnegativní
HRP	Hyperrozvětvený polymer
INCI	International Nomenclature of Cosmetic Ingredients
KAS	Kvartérní amoniová sůl
MBC	Minimální baktericidní koncentrace
MIC	Minimální inhibiční koncentrace
MO	Mikroorganismus
M <sub>w</sub>	Molekulová hmotnost
PAMAM	Polyamidoamin
PCA	Pyrrolidonkarboxylová kyselina
PEG	Polyethylenglykol
PEI	Polyethylenimin
PPG	Propylenglykol
PVA	Polyvinylalkohol
RNA	Ribonukleová kyselina
UV	Ultrafialové

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Buněčná stěna G<sup>+</sup> bakterií [7]</i> .....	15
<i>Obr. 2 Buněčná stěna G<sup>-</sup> bakterií [7]</i> .....	16
<i>Obr. 3 Mechanismy působení antibakteriálních polymerů a) polymerní biocidy b) biocidní polymery c) polymery uvolňující biocidy [8]</i> .....	18
<i>Obr. 4 Struktura chitosanu [14]</i> .....	22
<i>Obr. 5 Struktura poly(2-(dimethylaminoethyl)methakrylátu)[vlastní zdroj]</i> .....	24
<i>Obr. 6 Struktura komerčně dostupného dendrimera propyleniminu [4]</i> .....	25
<i>Obr. 7 Struktura biocinu nisin [31]</i> .....	31
<i>Obr. 8 Gliss Kur balzám na vlasy [vlastní zdroj]</i> .....	37
<i>Obr. 9 Dermacol sprchový gel [vlastní zdroj]</i> .....	37
<i>Obr. 10 Ziaja šampón na vlasy [vlastní zdroj]</i> .....	38
<i>Obr. 11 Sebamed kondicionér na vlasy [37]</i> .....	38
<i>Obr. 12 Nivea deodorant [38]</i> .....	39
<i>Obr. 13 Garnier odličovač očí [42]</i> .....	40
<i>Obr. 14 Mixa micelární voda [43]</i> .....	40
<i>Obr. 15 L'Oréal micelární voda [44]</i> .....	41
<i>Obr. 16 RYOR tonikum [47]</i> .....	42

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Biopolymery a jejich použití v osobní péči [4] .....</i>	<i>12</i>
<i>Tab. 2 Příklady polymerních biocidů a jejich účinnost na konkrétní MO [10] .....</i>	<i>19</i>
<i>Tab. 3 Příklady polymerů uvolňujících biocidy a jejich účinnost na konkrétní MO [10] .....</i>	<i>20</i>
<i>Tab. 4 Účinné složky vybraných silic a jejich koncentrace v % [32] .....</i>	<i>32</i>