

# **Modifikace chitosanových filmů pro kosmetické aplikace**

Štěpán Žídek

---

Bakalářská práce  
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Štěpán Židek**  
Osobní číslo: **T19648**  
Studijní program: **B0711A130009 Materiály a technologie**  
Specializace: **Biomateriály a kosmetika**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Modifikace chitosanových filmů pro kosmetické aplikace**

## Zásady pro vypracování

Teoretická část práce bude pojednávat o přípravě a modifikacích chitosanových filmů a jejich možných aplikacích v kosmetice.

V praktické části budou připraveny chitosanové filmy s různým přídavkem modifikačních látek. Dále budou u těchto filmů studovány jejich vlastnosti.

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

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] Lambertus A.M. van den Broek et al., Chitosan films and blends for packaging material, Carbohydrate Polymers, Volume 116, 2015, Pages 237-242.
- [2] Salvador, Amparo Chisvert, Alberto. (2018). Analysis of Cosmetic Products (2nd Edition). Elsevier, ISBN 978-0-44-463508-2.
- [3] Van Den Broek, Lambertus A. M. Boeriu, Carmen G.. (2020). Chitin and Chitosan – Properties and Applications. John Wiley & Sons, ISBN 978-1-119-45043-6.
- [4] Odborné články a knihy z databází WoS, ScienceDirect, Scopus, Knovel, apod.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Krejčí, PhD.**  
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

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

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou přípravy a vlastnostmi biopolymerních filmů na bázi chitosanu s přídavkem želatiny a glycerolu. Teoretická část se zabývá charakterizací a vlastnostmi chitosanu, dále pak jeho přípravou a využitím, zejména v kosmetice a potravinářství. Další část je věnována želatině a poslední část se zaměřuje přímo na filmy na bázi chitosan-želatina, jejich přípravu a vlastnosti.

Praktická část zahrnuje samotnou přípravu a charakterizaci připravených kompozitních filmů z chitosanu, želatiny a glycerolu. Hodnoceny byly mechanické vlastnosti, propustnost pro vodní páry, rozpustnost ve vodě a tepelná odolnost. Bylo zjištěno, že připravené filmy měly dobrou pevnost v tahu, dobré tepelné i bariérové vlastnosti a nízkou odolnost proti působení vody. Také bylo zjištěno, že přídavek želatiny a glycerolu nezhoršuje vlastnosti chitosanových filmů, ale pozitivně ovlivňuje zejména tahové vlastnosti.

Klíčová slova: chitosan, deacetylace, želatina, fyzikální vlastnosti, film

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis studies preparation and properties of biopolymer chitosan based films with the addition of gelatin and glycerol. The theoretical part studies characterization and properties of chitosan, as well as its preparation and application, especially in cosmetics and food industry. The next part is devoted to gelatin and the last part focuses directly on chitosan-gelatin based films, their preparation and properties.

The practical part includes the preparation and characterization of the prepared composite films of chitosan, gelatin and glycerol, mainly their physical properties. Mechanical properties, water vapor permeability, water solubility and thermal stability were evaluated. The prepared films were found to have good tensile strength, good thermal and barrier properties, and to be soluble in water. It was also found that the addition of gelatin and glycerol does not impair the properties of chitosan films, but has a positive effect on tensile properties in particular.

Keywords: chitosan, deacetylation, gelatin, physical properties, film

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu Ing. Ondřeji Krejčímu, Ph.D. za odborné vedení, rady a vstřícný přístup.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu při psaní této práce.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 POLYSACHARIDY</b> .....	<b>11</b>
1.1 CHITIN.....	11
1.2 CHITOSAN .....	12
1.2.1 Vlastnosti chitosanu .....	13
1.2.2 Charakterizace chitosanu .....	13
1.2.3 Příprava chitosanu: izolace chitinu a deacetylace.....	14
1.3 VYUŽITÍ CHITOSANU.....	16
1.3.1 Kosmetika .....	16
1.3.2 Zpracování potravin .....	17
1.3.3 Farmaceutické aplikace.....	18
1.3.2 Biomedicínské aplikace .....	18
1.3.3 Úprava vody .....	19
<b>2 PROTEINY</b> .....	<b>20</b>
2.1 ŽELATINA.....	20
2.1.1 Vlastnosti želatiny .....	20
2.1.2 Struktura želatiny .....	21
2.2 VYUŽITÍ ŽELATINY .....	22
2.2.1 Potravinářský průmysl .....	22
2.2.2 Farmaceutický průmysl.....	22
2.2.3 Průmyslová želatina .....	23
2.2.4 Fotografický průmysl.....	23
<b>3 FILMY NA BÁZI CHITOSAN-ŽELATINA</b> .....	<b>24</b>
3.1 ZPŮSOBY PŘÍPRAVY FILMŮ.....	24
3.1.1 Odlévání .....	24
3.1.2 Elektrostatické zvlákňování .....	25
3.1.3 Termoplastická metoda .....	25
3.2 FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI PŘIPRAVENÝCH FILMŮ .....	27
3.2.1 Mechanické vlastnosti .....	27
3.2.2 Hydrofobní charakter .....	27
3.2.3 Bariérové vlastnosti.....	27
3.2.4 Tepelné vlastnosti.....	28
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>29</b>
<b>4 POUŽITÉ PŘÍSTROJE, CHEMIKÁLIE A METODY</b> .....	<b>30</b>
4.1 CHEMIKÁLIE.....	30
4.3 POMŮCKY A PŘÍSTROJE .....	30
4.3 METODIKA .....	31

4.3.1	Příprava zásobního roztoku 1% kyseliny octové .....	31
4.3.2	Příprava chitosanových roztoků a filmů .....	31
4.3.3	Stanovení rozpustnosti filmů ve vodě .....	33
4.3.4	Stanovení propustnosti filmů pro vodní páry .....	33
4.3.5	Stanovení pevnosti v tahu .....	34
4.3.6	Stanovení tepelné stability pomocí DSC a TG .....	34
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>36</b>
5.1	PROPUSTNOST PRO VODNÍ PÁRY .....	36
5.2	PEVNOST V TAHU .....	37
5.3	ROZPUSTNOST VE VODĚ .....	39
5.4	TEPELNÁ STABILITA .....	39
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>42</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>43</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>46</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>48</b>



## ÚVOD

Chitosan patří mezi velice atraktivní materiály, které jsou v posledních letech středem mnohých výzkumů, především díky svým výborným biologickým vlastnostem, jako jsou biodegradabilita, biokompatibilita a také není toxický. Předmětem těchto studií jsou především možnosti využití chitosanu v celé řadě průmyslových odvětví, především v potravinářském průmyslu, biomedicině, ale také v kosmetice. Jednou z oblastí výzkumu jsou chitosanové filmy. Navzdory již zmíněným dobrým biologickým vlastnostem chitosanu, mají tyto filmy omezené vlastnosti fyzikální, zejména mechanické vlastnosti. Pro zlepšení těchto vlastností se k chitosanu přidávají různé komponenty, které by s chitosanem tvořily stabilní kompozitní filmy. Mezi takové látky patří želatina, která také vykazuje dobré biologické vlastnosti, a navíc je dobrým změkčovadlem.

Proto se tato bakalářská práce zabývá přípravou filmů na bázi chitosanu s přídavkem želatiny a glycerolu, jejich přípravou a následnou charakterizací. Cílem bylo sledovat vlastnosti filmů s měnící se koncentrací želatiny a glycerolu a určit, zda jsou tyto filmy vhodné pro průmyslové použití, zejména v kosmetickém průmyslu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYSACHARIDY

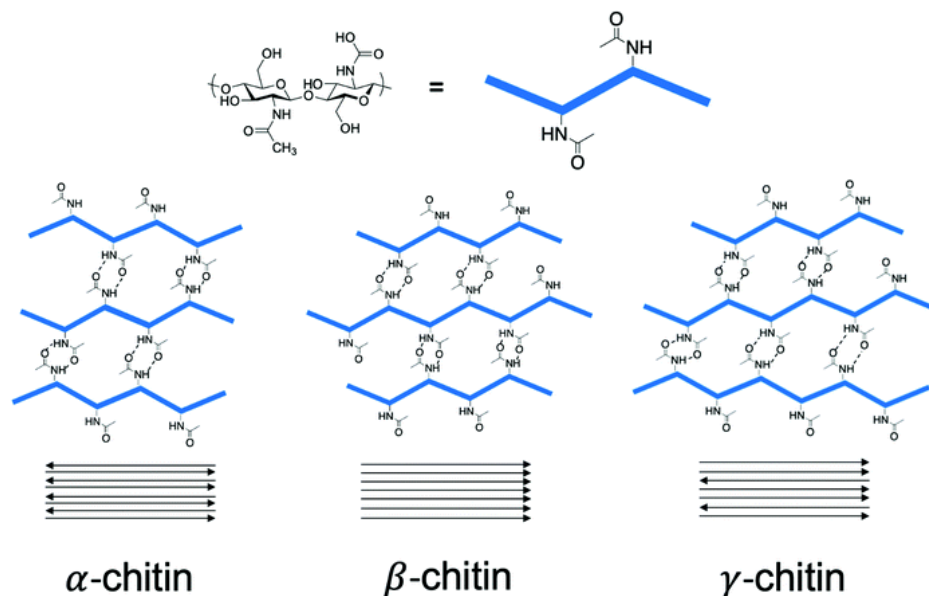
Polysacharidy jsou nejrozšířenější přirozeně se vyskytující makromolekulární polymery, které se získávají z obnovitelných přírodních zdrojů, jako jsou řasy, rostliny nebo mikroorganismy [1]. Společně s dalšími biomolekulami, jako jsou proteiny a nukleotidy, vykonávají v organismech důležité biologické funkce, mezi které patří například mezibuněčná komunikace, adheze, stavební funkce nebo molekulární rozpoznávání v imunitním systému [2].

Molekuly polysacharidů lze definovat podle jejich chemické struktury, která obsahuje více jak deset monosacharidových jednotek spojených glykosidickými vazbami [2]. Mezi základní monosacharidy patří D-glukóza, D-galaktóza, D-mannóza, 2-amino-2,6-deoxyglukóza, L-arabinóza, D-xylóza a D-galakturonová kyselina [3]. Na molekulu polysacharidu mohou být dále kovalentně navázány další struktury, jako jsou peptidy, lipidy a aminokyseliny. Polysacharidy tvořeny stejnými jednotkami monosacharidů se nazývají homopolysacharidy, polysacharidy tvořeny různými jednotkami se nazývají heteropolysacharidy [2].

Dále můžeme polysacharidy definovat podle jejich funkce v organismu na zásobní, jako jsou např. škrob a glykogen, anebo na stavební, jako jsou celulóza a chitin.

### 1.1 Chitin

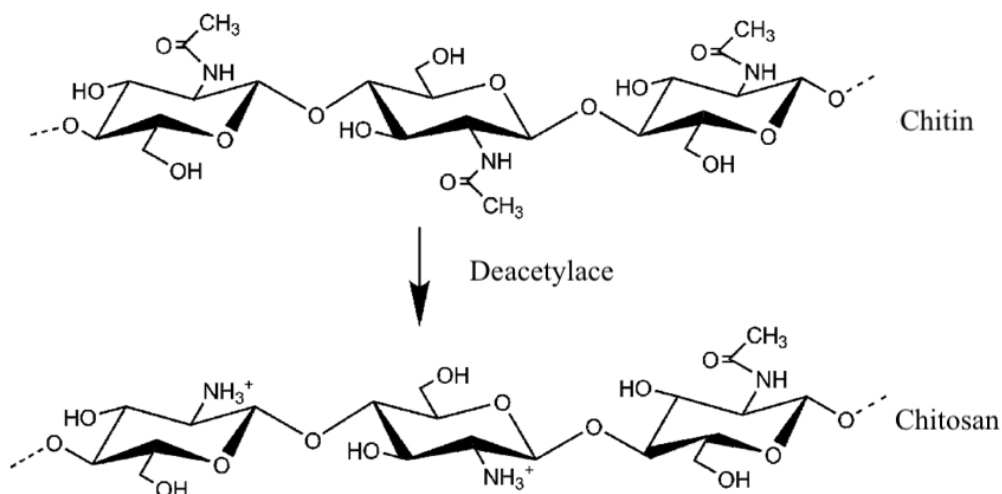
Chitin je biokompatibilní, biodegradabilní a netoxický polymer s vysokou molekulovou hmotností a adsorpčními vlastnostmi, což z něj dělá vhodný materiál pro průmyslové a lékařské aplikace [4]. V přírodě se vyskytuje hlavně v exoskeletu bezobratlých živočichů, buněčných stěnách hub a krovkách hmyzu. S celulózou patří mezi nejrozšířenější přírodní biopolymery. Na rozdíl od celulózy se však v řetězci chitinu na sebe nevážou jednotky glukózy, nýbrž jejího derivátu N-acetylglukosaminu (2-acetamido-2-deoxy- $\beta$ -D-glukopyranóza) spojeny vazbou  $\beta(1\rightarrow4)$  [3]. Je tedy strukturálně velice podobný celulóze, ale hydroxylové skupiny v poloze C<sub>(2)</sub> jsou nahrazeny acetamidovými skupinami (-NHCOCH<sub>3</sub>) [5]. Chitin se přirozeně vyskytuje ve třech polymorfních formách,  $\alpha$ -,  $\beta$ - a  $\gamma$ -chitin, které se liší uspořádáním řetězců v krystalické oblasti. V  $\alpha$ -chitinu mají sousední listy opačný směr, a proto mají antiparalelní řetězové uspořádání. V  $\beta$ -chitinu mají sousední listy stejný směr, proto mají paralelní řetězové uspořádání a v  $\gamma$ -chitinu je tvořen směsí paralelních a antiparalelních řetězců [8]. Polymorfní formy chitinu jsou znázorněny na obrázku 1.



Obr. 1 Krystalické polymorfni formy chitinu [20]

## 1.2 Chitosan

Chitosan je biodegradabilní, biokompatibilní polymer získávaný z přírodních obnovitelných zdrojů. Má antibakteriální a protiplísňové vlastnosti, což z něj činí atraktivní materiál, který se využívá v mnoha průmyslových odvětvích. Chitosan je odvozený od chitinu a jedná se tedy o lineární kopolymer složený z náhodně distribuovaných jednotek D-glukosaminu a N-acetyl-D-glukosaminu spojených  $\beta(1\rightarrow4)$  glykosidickou vazbou. Z chitinu je získáván odstraněním acetylových skupin procesem zvaným deacetylace, který uvolňuje aminové skupiny a dává chitosanu kationtovou povahu (Obr. 2) [4, 5]. V přírodě se hojně vyskytuje ve vnějších kostrách korýšů, především ve skořápkách krevet. V dnešní době se však získává hlavně procesem deacetylace z chitinu [6].



Obr. 2 Schéma deacetylace chitinu [7]

### 1.2.1 Vlastnosti chitosanu

Většina polysacharidů vyskytujících se v přírodě, jako jsou celulóza, dextrin, pektin, kyselina alginová, agar a karageny jsou přirozeně kyselé povahy, zatímco chitin a chitosan jsou příklady spíše bazických polysacharidů [5]. Chitosan je nejrozšířenějším aminopolysacharidem a vzhledem k vysokému obsahu dusíku (~7 %) ve srovnání s ostatními přírodními polymery, jako je celulóza s obsahem pouze 1 % dusíku, patří mezi vysoce zajímavé komerční produkty. Je hojně využíván v různých oblastech díky svým vynikajícím vlastnostem, jako je biokompatibilita, biodegradabilita, netoxičita, absorpční vlastnosti, schopnost tvořit filmy a chelatační kovové ionty [4].

### 1.2.2 Charakterizace chitosanu

Nejčastěji zkoumané parametry, které mají vliv na vlastnosti chitosanu, jsou stupeň deacetylace a průměrná molekulová hmotnost. Stupeň deacetylace, konkrétně obsah volných aminokupin v řetězci, přímo souvisí s rozpustností chitosanu ve zředěných kyselinách, viskozitou, hustotou náboje, schopností iontové výměny a také s náchylností chitosanu k enzymatické degradaci. Nejběžnější metoda pro měření stupně deacetylace je acidobazická titrace, následována infračervenou spektroskopií a elektrolytickou titrací. Mezi další metody patří elementární analýza, koloidní titrace polyanionem, UV spektroskopie nebo nukleární magnetická rezonance, která je považována za nejpřesnější metodu [8, 9].

V závislosti na zdroji a postupu přípravy se může průměrná molekulová hmotnost chitosanu pohybovat od  $10^4$  do  $10^6$  g·mol<sup>-1</sup> i více. Pro odhad průměrné molekulové hmotnosti se používá několik metod. Patří mezi ně kapilární viskozimetrie, ultracentrifugace a vylučovací chromatografie (SEC) spojená s rozptylem světla [8]. SEC patří mezi nejpřesnější metody a už z jednoho měření poskytuje výsledky hmotnostně i číselně průměrné relativní molekulové hmotnosti. Viskozimetrie se používá pro měření viskozitně průměrné relativní molekulové hmotnosti [9].

Dalšími běžně analyzovanými parametry jsou krystalinita, viskozita ve vodných roztocích, obsah sušiny, množství nerozpustných nečistot, identifikace struktury a obsah popela [8].

### 1.2.3 Příprava chitosanu: izolace chitinu a deacetylace

Komerčně dostupný chitin se nejčastěji připravuje z exoskeletů krabů, krevet a garnátů, získaných jako odpad při průmyslovém zpracování mořských plodů. Chitin se zde vyskytuje úzce spojen s proteiny, anorganickým materiálem, pigmenty a lipidy. Z tohoto důvodu je nutné nejprve provést deproteinizaci a demineralizaci materiálu, které se obecně provádí ošetřením 1–2 M NaOH při teplotě 70 °C nebo vyšší a 1,25 M HCl při pokojové teplotě. Oba procesy mohou vést ke štěpení chitinových polymerních řetězců, proto bylo navrženo velké množství alternativních metod pro minimalizování štěpení glykosidických vazeb během extrakce chitinu, včetně použití enzymů k odstranění proteinů a EDTA pro odstranění minerálů. Pigmenty lze nakonec extrahovat ethanolem, acetonem nebo oxidačními činidly, jako je  $\text{KMnO}_4$  [8].

Deacetylace může být provedena v kyselém i zásaditém prostředí, ale kvůli náchylnosti glykosidických vazeb v chitinu na kyselou hydrolyzu je upřednostňováno zásadité prostředí. Deacetylace  $\alpha$ -chitinu se obvykle provádí za použití silného bazického vodného roztoku při teplotě 90–150 °C po dobu několika hodin za vzniku chitosanu se stupněm deacetylace 5–30 %. Zvýšená reakční teplota může sice vést ke zkrácení doby deacetylace, ale zároveň ke zvýšení hydrolyzy polymerních řetězců. Aby se zabránilo štěpení řetězců během alkalické deacetylace, provádí se reakce při co nejnižší teplotě, v inertní atmosféře, jako je dusík nebo argon, nebo v přítomnosti lapačů kyslíku nebo redukčních činidel. Během deacetylace  $\alpha$ -chitinu působí NaOH nejprve na amorfni oblasti polymeru a teprve poté na krystalické oblasti. V porovnání s  $\alpha$ -chitinem se  $\beta$ -chitin deacetyluje mnohem snadněji díky absenci vodíkových vazeb mezi jednotlivými vrstvami ve struktuře polymeru, což činí krystalické oblasti lépe přístupné pro reakční složky. Během deacetylace  $\beta$ -chitinu klesá krystalinita polymeru mnohem rychleji než u  $\alpha$ -chitinu a výsledkem je zcela amorfni produkt [8].

Chitosan se specifickým stupněm deacetylace lze připravit N-acetylací téměř úplně deacetylovaného chitosanu. N-acetylace chitosanu se obvykle provádí při pokojové teplotě a za homogenních podmínek, což vede k náhodnému zavedení acetylových skupin s minimálním rizikem hydrolyzy polymerních řetězců. Tento proces zahrnuje rozpuštění chitosanu ve zředěném kyselém roztoku, přidání tzv. kosolventu za účelem snížení polarity vody a různého množství anhydridu kyseliny octové [8].

Alkalickou metodu deacetylace můžeme nahradit enzymatickou metodou, využívající chitin deacetyláz, které jsou schopny hydrolyzovat acetyly ve struktuře chitinu za zisku vysoce kvalitního chitosanu. Deacetylázy získávané z jiných zdrojů se mohou lišit s ohledem na relativní molekulovou hmotnost, izoelektrický bod nebo optimální pH, což vede k rozdílným fyziologickým funkcím. Reakční mechanismus spočívá v tom, že enzymy hydrolyzují acetyly od neredukujícího konce vazebného místa poté, co se naváže na substrátový řetězec. Následně se odpojí od substrátu a naváže se na jiný. Enzymatická metoda je lepší než alkalická z toho důvodu, že zabraňuje závažnému znečištění životního prostředí, snižuje spotřebu energie a řeší problém vzniku produktů s nestejným stupněm deacetylace a nízkou relativní molekulovou hmotností při alkalické metodě. Nevýhodou enzymatické deacetylace je nízká výtěžnost kmenů produkujících deacetylázy a nízká enzymatická aktivita [9].

### 1.3 Využití chitosanu

Díky svým dobrým fyzikálním i chemickým vlastnostem je chitosan vhodný pro různé aplikace a celou řadu kosmetických produktů. V různých typech aplikací jsou vyžadovány odlišné vlastnosti chitosanu, které, jak již bylo dříve zmíněno, jsou ovlivněny především stupněm deacetylace a molekulovou hmotností [5].

#### 1.3.1 Kosmetika

Jak chitosan, tak chitin se nacházejí v krémech, obalovém materiálu, pleťových vodách, vlasových přípravcích, lacích na nehty, očních stínech, čistících a koupelových prostředcích nebo jakou součást rtěnek [5].

K péči o pleť se používá chitosan acylovaný organickým anhydridem karboxylových kyselin, obohacený o jemné částice chitinu nebo chitosanu. Společně se svými deriváty má chitosan dvě zásadní výhody, které z něj dělají dobrého kandidáta pro přípravky na péči o pleť: první je jeho kladný elektrický náboj a druhou je skutečnost, že jeho molekulová hmotnost je tak vysoká, takže nepronikne kůží. Proto se hojně využívá jako součást hydratačních přípravků. Zabraňuje ztrátám vody z povrchu pokožky, současně zvyšuje její hydrataci a vytváří ochranný film, který dodává pokožce pocit jemnosti. Navíc vzhledem k nižší ceně může v této aplikaci konkurovat kyselině hyaluronové [4, 5].

Jeho filmotvorných vlastností se využívá i ve vlasové kosmetice. Čirý roztok obsahující chitosan vytváří na vlasech elastický film, čímž, zvyšuje jejich jemnost, hladkost a mechanickou pevnost. Je zastoupen v šamponech, oplachových vodách, prostředcích pro trvalou ondulaci, barvách na vlasy, sprejích na vlasy a vlasových tonikách [5].

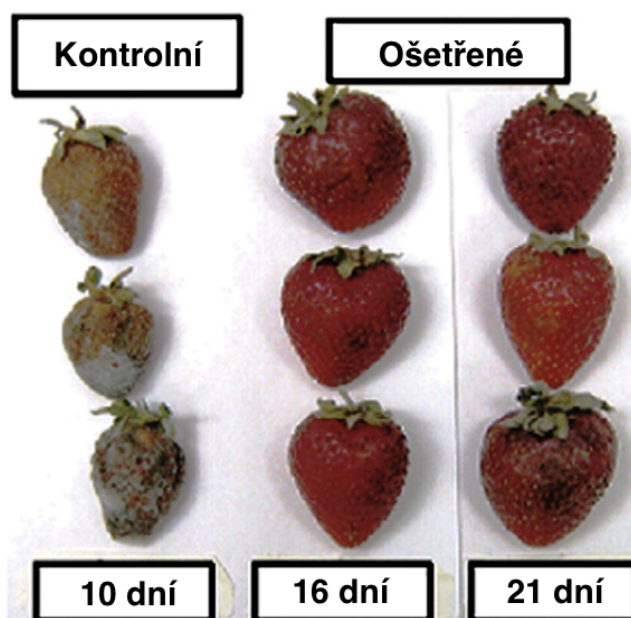
Chitin i chitosan, lze použít v zubních pastách, ústních vodách a žvýkačkách. Osvěžují dech, zabraňují tvorbě zubního plaku a zubního kazu a soli chitosanu přidávané do zubní pasty maskují nepříjemnou chuť oxidu křemičitého [5]. Chitosan se objevuje i v deodorantech, kde díky svým antimikrobiálním vlastnostem brání produkci bakteriálních enzymů, navíc bylo také prokázáno, že dokáže maskovat pach potu a udržet vůni v parfémeh. Používá se také ve rtěnkách k ochraně rtů před vysoušením, hydratuje je a pomáhá s přilnavostí barvy a v neposlední řadě může také zvýšit přilnavost UV filtru a zabránit jeho vymývání [4].



### 1.3.2 Zpracování potravin

Potravinářský průmysl je pravděpodobně hlavní oblastí komerčního využití chitosanu a jeho derivátů. I zde se využívá jeho filmotvorných vlastností a antimikrobiální aktivity a společně s jeho dobrou biologickou rozložitelností a biokompatibilitou ho činí dobrým kandidátem pro konzervaci potravin, kdy zajišťuje zlepšení kvality a trvanlivosti různých potravin [5]. Chitosan a jeho deriváty umožňují přípravu filmů s omezenou propustností vody, které se využívají pro výrobu potravinových obalů. Vytváří také dobrou bariéru pro prostup kyslíku, a tím snižují rychlost dýchání. V důsledku toho se prodlužuje trvanlivost ovoce a zeleniny zpožděním oxidačních procesů a procesu zrání v důsledku snížení produkce ethylenu a oxidu uhličitého [10].

V tomto ohledu je velmi zajímavou alternativou zpracování esenciálních olejů do filmů na bázi chitosanu. Jejich přídavek nejen zvyšuje antimikrobiální aktivitu, ale také snižuje propustnost vody [10]. Ve studiích byla zhodnocena antimikrobiální aktivita proti plísním a celkové flóře izolované z jahod potažených modifikovanými chitosanovými filmy s různými esenciálními oleji. Formulace obsahující extrakt limonenu v přítomnosti emulgátoru Tween 80 vykazovala lepší uchování vzorků, než jiné formulace [6].



Obr. 3 Vzhled jahod ošetřených modifikovaným chitosanovým filmem obsahující limonen a emulgátor Tween 80 [10]

### 1.3.3 Farmaceutické aplikace

Protože chitosan nepředstavuje žádné riziko pro biologické systémy a je levný, je široce využíván ve farmaceutickém průmyslu v systémech pro řízené uvolňování léčiv, jako jsou tablety, mikrokuličky, micely, vakcíny, nukleové kyseliny, hydrogely nebo nanočástice [4]. Tyto systémy mohou být použity jako nosiče pro různé aktivní látky včetně antibiotik, protizánětlivých látek, léků na rakovinu nebo proteinů. Chitosan je efektivně používán při uvolňování léčiv především díky jeho aminoskupinám, které jsou zodpovědné za jeho vlastnosti, jako jsou řízené uvolňování léčiva prostřednictvím elektrostatické interakce, transfekce, gelace *in situ* nebo zlepšení permeace [10].

### 1.3.4 Biomedicínské aplikace

Díky svým vlastnostem, jako jsou biokompatibilita, biodegradabilita a netoxičita je chitosan hojně využíván v mnoha biomedicínských oborech. Bylo také prokázáno, že chitosan má navíc analgetické, protinádorové, hemostatické, hypocholesterolemické, antimikrobiální a antioxidační vlastnosti. Většina těchto charakteristik je způsobena kationtovou povahou chitosanu [4].

Bylo zjištěno, že chitosan má urychlující účinek na proces hojení a zacelování ran. Regenerovaná chitinová vlákna, filmy nebo houbičky vykazují zvýšení hojení ran o více než 30 %. Chitosan je také slibným kandidátem pro léčbu popálenin, díky schopnosti tvořit pevné, vodu absorbující, biokompatibilní filmy. Tyto filmy lze vytvářet přímo na popálenině aplikací vodného roztoku chitosanacetátu. Kromě toho mají chitosanové filmy schopnost absorbovat vodu a jsou přirozeně degradovány tělesnými enzymy, takže není nutné film mechanicky odstraňovat.

Chitosan také téměř nahradil syntetické polymery v oftalmologických aplikacích. Má všechny vlastnosti potřebné pro ideální kontaktní čočky; optická čírost, mechanická stabilita, dostatečná optická korekce, propustnost pro plyny a smáčivost. Tyto čočky jsou vyráběny z částečně depolymerovaného a purifikovaného chitosanu technologií odstředivého lití. Navíc spolu s antimikrobiálními, hojivými a vynikajícími filmotvornými vlastnostmi je chitosan vhodný pro vývoj očních bandážových čoček [5].

### 1.3.5 Úprava vody

Za posledních 30 let se začal chitosan používat i ve vodních hospodářství. Kladného náboje chitosanu se využívá k odstranění barviv, oleje, mastnoty, kovových iontů a jemných částic, které mohou způsobit zákal vody [4]. Molekuly chitosanu aglomerují nečistoty anionické povahy za vzniku sraženiny, a proto se používá jako flokulant pro recyklaci odpadu při zpracování potravin [5].

Chitosan byl také shledán účinným při odstraňování ropy a ropných produktů z odpadních vod. Jeho odkyselovací schopnosti se využívá v kávovém průmyslu a k čiření nápojů jako je víno, pivo a ovocné šťávy a v neposlední řadě lze použít vločkovanou formu chitosanu pro čištění pitné vody [5].

## 2 PROTEINY

Proteiny jsou skupinou biologických makromolekul, jejichž vlastnosti závisí na jejich trojrozměrné struktuře [11]. Tato trojrozměrná struktura vzniká díky konkrétním sekvencím aminokyselin v polypeptidovém řetězci, které se skládají z lineárních řetězců do kompaktních domén se specifickými trojrozměrnými strukturami [12].

Mezi hlavní funkce proteinů patří funkce strukturní. Proteiny zajišťují ochranný obal, jak pro ty nejnižší organismy jako jsou viry až po ochrannou vrstvu kůže u vyšších živočichů tvořenou keratiny. Ve formě enzymů se podílí na reakcích metabolismu a procesu replikace a transkripce DNA, která je ovlivněna ještě navíc regulačními proteiny. Tvoří účinné protilátky, které rozpoznávají a zneškodňují invazivní patogeny a senzory, které detekují a implementují signály generované jak v našem těle, tak ty, které na nás dopadají z vnějšího světa. V neposlední řadě se podílí na transportu látek, které putují do a z buněk a na přeměňování chemické energie na mechanickou [11].

### 2.1 Želatina

Želatina je jedním z nejuniverzálnějších biopolymerů, který má četné využití v potravinářství, farmacii a lékařství, kosmetice i technických aplikacích [13]. Želatiny jsou odvozeny z mateřského kolagenu, který se získává z částečně hydrolyzovaných kůží, pojiv a kostí zvířat. V dnešní době se jedná hlavně o hovězí a vepřové kůže a kosti, ale želatinu lze extrahovat také z ryb a drůbeže. Původ kolagenu a náročnost extrakčních postupů pak určují vlastnosti konečné želatiny [13, 14].

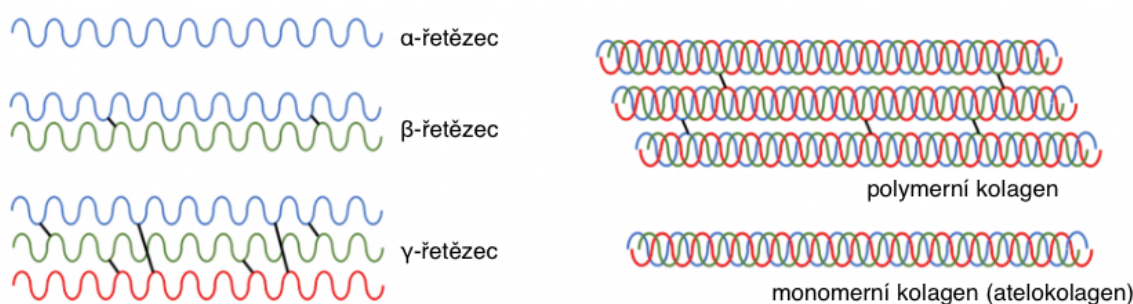
#### 2.1.1 Vlastnosti želatiny

Surová želatina je pevná, křehká látka, nažloutlé barvy, téměř bez chuti a bez zápachu. Její nejdůležitější vlastností je dobrá rozpustnost ve vodě a následné zatuhnutí a tvorba gelu po ochlazení. Po zahřátí se opět vrací do tekutého stavu [14]. Želatina se snadno rozpouští ve vodě díky přítomnosti nabitých aminokyselin, kdy vytváří koloidní roztoky. To z ní činí dobrý multifunkční hydrokoloid se značnou povrchovou aktivitou [13]. Pevnost vzniklého gelu po ochlazení koloidního roztoku želatiny je stupněm její kvality. Měří se jako hmotnost v gramech potřebná ke stlačení povrchu gelu specifikovaným pístem o 4 mm. Tato hmotnost se nazývá Bloomova hodnota. Čím větší je hodnota Bloom želatiny, tím vyšší jsou body tání a gelovatění gelu a tím kratší jsou jeho doby gelovatění [19].

Jak už bylo uvedeno, vlastnosti želatiny jsou významně ovlivněny původem kolagenu a náročností extrakčních postupů při výrobě želatiny. Tyto faktory ovlivňují například výslednou viskozitu želatiny, která je důležitou vlastností při výrobě některých produktů. Například při výrobě tvrdých farmaceutických kapslí je vyžadována vysoká viskozita, naopak při výrobě želatinových bonbonů se využívá želatiny s velmi nízkou viskozitou. Další důležitou vlastností je bod tání a tuhnutí. Bod tání představuje teplotu přechodového bodu od gelu k roztoku, bod tuhnutí je bodem přechodu od roztoku ke gelu. Bod tání se pohybuje v rozpětí 28–30 °C, bod tuhnutí je obvykle nižší než 25 °C. Pro úpravu bodu tání a tuhnutí se želatina často kombinuje s dalšími hydrokoloidy jako například guarovou gumou, xanthanem a karagenanem [14].

### 2.1.2 Struktura želatiny

Základní složkou želatiny je protein, jehož obsah se pohybuje v rozmezí 85 až 92 %. Ostatní složky tvoří minerální soli a vlhkost [16]. Struktura želatiny je odvozena od kolagenu, který se skládá ze tří řetězců propletených v tzv. kolagenové trojšroubovici. Tato konkrétní struktura je způsobena téměř kontinuálním opakováním sekvence aminokyselin Gly–X–Y, kde X je nejčastěji prolin a Y hydroxyprolin. To znamená, že glycin představuje asi jednu třetinu aminokyselin v kolagenu a želatině. Při výrobě želatiny se molekula kolagenu rozvine do směsi řetězců s různými molekulovými hmotnostmi, což vede k polydisperzitě [15, 16].



Obr. 4 Směs řetězců tvořících kolagenovou trojšroubovici [27]

## 2.2 Využití želatiny

Podle oblasti použití v praxi můžeme rozdělit želatiny do několika skupin. Nejvýznamnější oblastí použití je potravinářský průmysl, který využívá jedlou želatinu. Následuje farmaceutický průmysl, využití želatiny v technické praxi a fotografický průmysl. Kromě těchto nejhlavnějších oblastí existuje celá řada podskupin, z nichž každá klade na želatinu určité požadavky podle účelu, k němuž má být želatina použita [17].

### 2.2.1 Potravinářský průmysl

Potravinářský průmysl je pravděpodobně největším spotřebitelem želatiny na světě. Mezi hlavní obory použití patří masné výrobky, kde se využívá želatiny pro výrobu šunek, aspiků, dekoračních želé, jako pojivo tuků a vody nebo pro povrchovou úpravu masných výrobků. Dále nachází využití v cukrovinkách, kde pravděpodobně nejznámějším použitím jsou želatinové bonbony, měkké karamely nebo lékořice. U mražených dortů a zmrzlin je želatina používána jako stabilizátor nášlehu, pojivo a pro zabránění tvorby ledových krystalů. V mléčných výrobcích je želatina používána především jako zahušťovadlo nízkotučných výrobků a jako stabilizátor nášlehu dezertních krémů. Často je používána také pro výrobu dekorativních želé [14].

### 2.2.2 Farmaceutický průmysl

Hlavní oblastí využití želatiny ve farmaceutickém průmyslu výroba tzv. měkkých a tvrdých kapslí a jako pojivo při tabletování farmaceutických účinných látek [14]. Tvrdé želatinové kapsle se skládají ze dvou částí, těla a víčka, které lze do sebe zasunout. Tělo kapsle se naplní léčivem, zpravidla v podobě prášku nebo granulátu, a je uzavřeno víčkem. Měkké želatinové kapsle jsou tvořeny pouze z jedné části a na rozdíl od tvrdých se formují i plní v jedné operaci [18].

Želatina se používá ve farmaceutických kapslích nejen jako pojivo, ale i na jejich potahování kvůli snížení prášení, maskování nepříjemné chuti a pro identifikaci produktu pomocí tisku nebo barevných potahů. Typická formulace pro potahování zahrnuje cukr, barvivo a želatinu, která slouží jako filmotvorná látka. V neposlední řadě se využívá tzv. glycerinovaná forma želatiny jako základ pro výrobu čípků. Tyto čípky umožňují regulovaně uvolňovat aktivní látky a během skladování odolávají vyšším teplotám než čípky na bázi jiného materiálu [19].

### 2.2.3 Technická želatina

Technické želatiny se liší od jedlých a farmaceutických želatin především v tom, že není nezbytné, aby splňovaly přísné normy jako želatiny určené ke konzumaci [19]. Bývají světle žluté až hnědé a dodávají se ve formě zrn, perliček nebo šupinek [17].

Technické želatiny se používají v textilním průmyslu při úpravě osnovy vláken hedvábí, kde dodávají osnově pevnost a odolnost proti odírání. Pro tuto aplikaci je želatina vhodná i díky své vynikající rozpustnosti a pevnosti filmu. Želatina se používá také pro potahování papíru. Želatinový povlak vytváří hladký povrch díky vyplnění malých povrchových nedokonalostí, čímž zajistí lepší reprodukci tisku. Tomu se využívá při výrobě plakátů, hracích karet, tapet či k dosažení lesklých stránek magazínů [19].

Hojně se využívají také želatinové hydrolyzáty při výrobě kosmetických přípravků, jako jsou krémy, šampóny a mýdla, kvůli vysokému obsahu kolagenů pro výživu pokožky a vlasů. Želatina je vhodná i pro stabilizaci některých kosmetických přípravků [14]. V neposlední řadě se želatina používá na výrobu barevných filmů s využitím ve fotografickém osvětlení a divadelních reflektorech nebo jako uzávěry některých lahví, kde se po aplikaci želatinový film smrští a láhev tak zapečetí [19].

### 2.2.4 Fotografický průmysl

Želatina je klíčová také pro vznik fotografií. Fotografické materiály, které jsou vyráběny na bázi solí stříbra, totiž vyžadují želatinu, které funguje především jako pojivo jednotlivých vrstev, ať již u filmů nebo fotografického papíru [14]. Želatina působí dále jako ochranný koloid během srážení halogenidů stříbra, jako důležitý faktor při kontrole velikosti zrn a chrání daná halogenidová zrna při redukčním působení vývojky [19].

### 3 FILMY NA BÁZI CHITOSAN-ŽELATINA

Ačkoli je chitosan velmi dobrý filmotvorný polysacharid, jeho mechanické vlastnosti jsou obecně docela špatné. Tento nedostatek by mohl být odstraněn přidáním želatiny, jakožto dobrého změkčovadla a povrchově aktivní látky [22]. Studie potvrzují, že kompozitní filmy chitosanu a želatiny vykazují mnohem lepší mechanické, transportní a fyzikální vlastnosti ve srovnání s filmy na bázi jednotlivých polymerů. Nicméně kvůli svému hydrofilnímu charakteru mají tyto filmy také řadu nevýhod, jako například slabou bariéru proti propustnosti vodní páry [23]. Jednou z možností vedoucí k překonání těchto omezení je síťování a míšení s přírodními vlákny nebo s jílem dispergovaným v biopolymerní matici za účelem tvorby bionanokompozitů [24].

#### 3.1 Způsoby přípravy filmů

Při výrobě filmů na bázi chitosan-želatina se používají dva základní procesy výroby: mokré a suché procesy. Mokrý proces je technika v laboratorním měřítku a je založena na dispergování nebo solubilizaci chitosanu a želatiny v rozpouštědlovém médiu, zatímco suchý proces je vhodný pro průmyslovou výrobu a zahrnuje tavení, vytlačování nebo lisování. Různé procesy a technologie při výrobě filmů mohou nejen změnit vlastnosti konečného produktu, ale také udělit jiné speciální vlastnosti, jako například různé fyzikální vlastnosti. Mezi běžně používané způsoby přípravy filmů patří odlévání, elektrostatické zvlákňování, termoplastická metoda aj. [25].

##### 3.1.1 Odlévání

Odlévání je výrobní proces, při kterém se kapalný materiál nalévá do formy, a poté se nechá zatuhnout. Její výhodou je snadný postup přípravy, vyžaduje levné a snadno dostupné vybavení a je také šetrná k životnímu prostředí. Vlastnosti finálního filmu mohou být během procesu odlévání významně ovlivněny použitými nástroji a okolními podmínkami, jako teplotou, vlhkostí nebo tlakem okolní atmosféry. Proces odlévání se zpravidla skládá ze třech dílčích kroků včetně samotného lití, následného sušení a skladování [25].

Homogenní roztoky, obsahující chitosan, želatinu a další přidané látky, se mohou odlévat do plastových nebo skleněných Petriho misek, desek ze silikonové pryskyřice, skleněných desek nebo jiných licích substrátů se speciálně navrženou délkou, šířkou a výškou, abychom mohli kontrolovat rozměry výsledných filmů. U roztoků se často používá i proces odplyňování ve vakuu, aby se odstranily vzduchové bubliny.



Po odlití jsou roztoky ve formách přeneseny do sušárny s nastavenou teplotou a dobou, které by měla zajistit úspěšnou tvorbu filmů. Během procesu sušení hraje také významnou roli relativní vlhkost. Sušit můžeme v klimatické komoře při 30 °C s 50 % relativní vlhkostí po dobu 48 hodin, v chemické digestoři přes noc při okolní relativní vlhkosti 45 % nebo v klasické sušárně s vyšší relativní vlhkostí 60 % při 30 °C po dobu asi 24 hodin. Po vysušení se vyschlé filmy vyjmou z licích forem a jsou skladovány ve vzduchotěsných nádobách při pokojové teplotě [25].

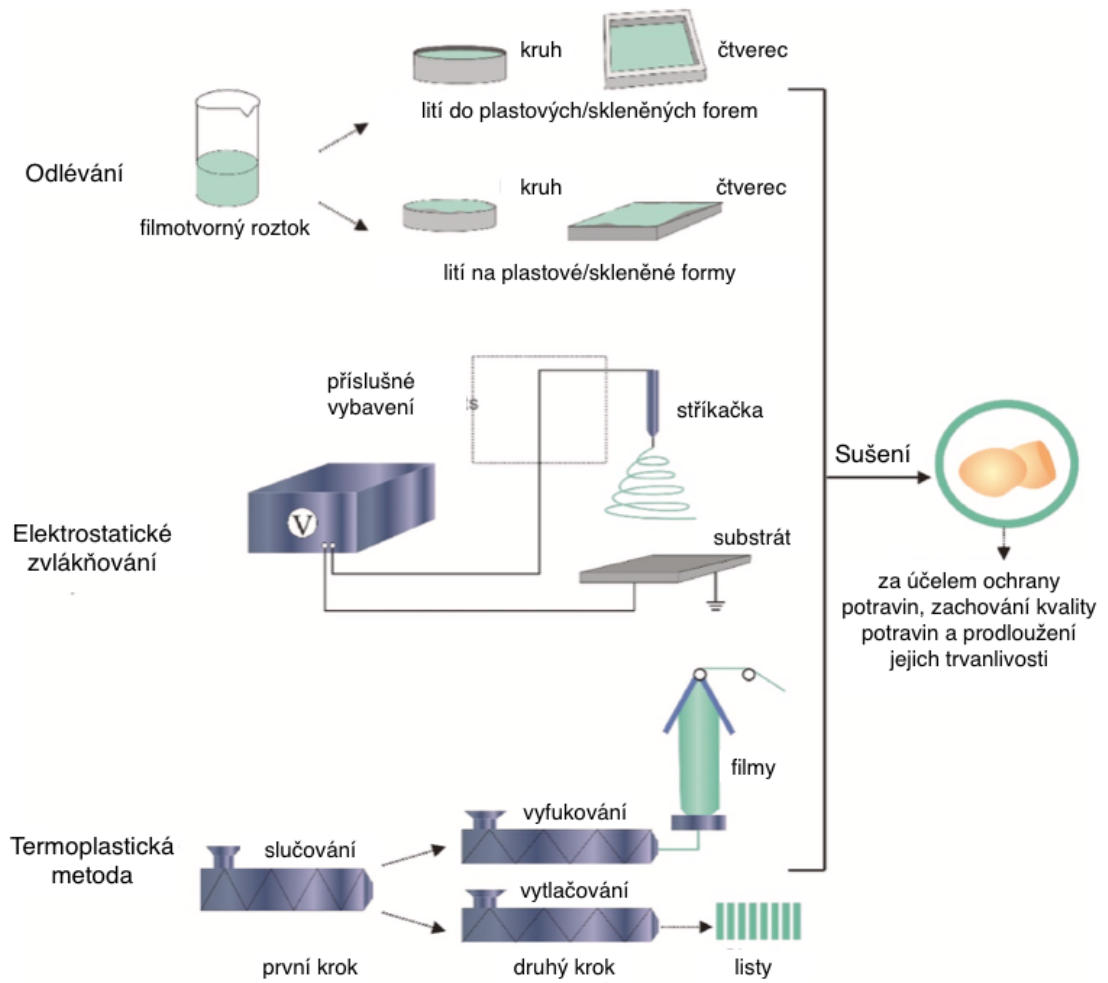
### 3.1.2 Elektrostatické zvlákňování

Elektrostatické zvlákňování je velmi populární metoda pro zpracování filmotvorných roztoků na bázi biopolymerů. Vzniklá biopolymerní nanovlákná mají velký specifický povrch, vysokou mechanickou pevnost a dosahují dlouhodobé účinnosti proti mikrobiálnímu růstu na potravinách. Současný výzkum ukazuje, že tato vlákna jsou slibným způsobem ochrany potravin a také dokazuje, že elektrostatické zvlákňování je vhodnou technikou pro výrobu biopolymerních nanomateriálů nebo jiných materiálů na bázi chitosanu a želatiny [25].

Konvenční zařízení pro elektrostatické zvlákňování se skládá ze tří hlavních částí, a to z vysokonapěťového napájecího zdroje, zvlákňovací trysky a kolektoru, který je tvořen kovovou sběrnou deskou. Elektrická síla, která je generovaná zdrojem vysokého napětí, působí na polymerní roztok ve stříkačce a na viskózní tekutinu na kolektoru. Působením elektrické síly je roztok převáděn injekčním čerpadlem konstantní rychlostí přes zvlákňovací trysku a sbírán na kolektoru [26].

### 3.1.3 Termoplastické metody

Termoplastická metoda je vhodná pro nastavení průmyslové výroby fólií prostřednictvím kontinuálního procesu, který využívá malé množství vody, vysokou teplotu a smykové síly k formování materiálu. Patří mezi metody běžně využívané suchý proces pro výrobu filmů a zahrnuje vytlačování, vyfukování, lisování a jejich kombinace. Obecně je termoplastické zpracování proveditelným způsobem výroby chitosanových a želatinových filmů pro komerční aplikace. Neexistuje však žádná zpráva o kompozitních filmech chitosan-želatina připravených termoplastickou metodou [25].



Obr. 5 Způsoby přípravy filmů na bázi chitosan-želatina [25]

## 3.2 Fyzikální vlastnosti připravených filmů

Jak už bylo dříve uvedeno, kompozitní filmy na bázi chitosan-želatina mají mnohem lepší fyzikální vlastnosti než čisté jednosložkové filmy, ať už z chitosanu nebo z želatiny. Mají vylepšené vlastnosti mechanické, bariérové nebo tepelné a větší povrchovou hydrofobnost [25].

### 3.2.1 Mechanické vlastnosti

Filmy na bázi biopolymerů musí mít vhodné mechanické vlastnosti, aby mohly odolávat běžným vnějším silám při zpracování, následné přepravě, manipulaci, skladování a konečné aplikaci. Mezi nejdůležitější parametry, které se na filmech zkoumají jsou pevnost v tahu, prodloužení do přetržení a Youngův modul pružnosti. Obecně mají filmy na bázi proteinů více žádoucí mechanické vlastnosti než filmy připravené pouze za použití polysacharidů [28]. Například filmy z membránové želatiny vaječných skořápek vykazují průměrnou pevnost v tahu 32,521 MPa a hodnoty prodloužení při přetržení filmu 3,52 %, zatímco chitosanový film má výrazně nižší pevnost v tahu (18,252 MPa), ale vyšší prodloužení při přetržení (39,821 %). Mechanické vlastnosti filmů jsou proměnlivé a závisí na celé řadě faktorů, jako jsou rozdíly ve složení, volbě rozpouštědla, pH, molekulová hmotnost aj. [25].

### 3.2.2 Hydrofobní charakter

Hydrofobní vlastnosti povrchu jsou ve většině případů žadáným parametrem kvůli jeho užitečným funkcím, jako jsou samočištění, ochrana proti námraze, odolnost proti korozi a antimikrobiální účinky. Želatina obsahuje ve své struktuře velké množství hydrofilních skupin, které ochotně interagují s vodou a obecně přispívají spíše k hydrofilnímu charakteru filmu. Z toho vyplývá, že pro zlepšení hydrofobních vlastností filmu je vhodné připravit film s větším podílem chitosanu, který s vodou neinteraguje tak ochotně [25, 28].

### 3.2.3 Bariérové vlastnosti

Bariérové vlastnosti zahrnují propustnost pro plyny, vodu a záření. Čím větší propustnost dané složky, tím horší jsou bariérové vlastnosti filmu. Co se týká propustnosti pro kyslík, tak ačkoli filmy na bázi želatiny vykazují velkou propustnost pro kyslík, kompozitní filmy chitosan-želatina mají velmi dobrou kyslíkovou bariéru. Některé filmy na bázi chitosanu mají dokonce stejné hodnoty propustnosti pro kyslík jako některé komerční filmy z kopolymeru ethylen-vinylalkoholu nebo polyvinylidenchloridu.

Filmy z želatiny vykazují také větší propustnost pro vodní páry, což je způsobeno jejím hydrofilním charakterem. V kompozitních filmech se však želatina síťuje s chitosanem, čímž se výrazně sníží difúze molekul vody a zlepší se bariérové vlastnosti pro vodní páru [25].

#### **3.2.4 Tepelné vlastnosti**

Tepelné vlastnosti jsou většinou určovány pomocí diferenciální skenovací kalorimetrie a patří mezi ně například teplota skelného přechodu, teplota tání, teplota degradace nebo stupeň krystalizace polymeru. Tyto parametry jsou vhodným kritériem pro posuzování schopnosti daného filmu odolávat změnám teploty. Podle některých výzkumů teplota rozkladu kompozitních filmů chitosan-želatina klesala se zvyšujícím se podílem chitosanové složky, ale podle jiných zdrojů byla tepelná stabilita kompozitních filmů lepší než u čistých želatinových filmů. Z toho vyplývá, že tepelné vlastnosti výrazně závisí na způsobu zpracování chitosanu a původu želatiny [25].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 POUŽITÉ PŘÍSTROJE, CHEMIKÁLIE A METODY

### 4.1 Chemikálie

Chitosan nízkomolekulární (Sigma-Aldrich)

Kyselina octová C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>

Glycerol

Želatina Pork 200 Bloom

Demineralizovaná voda

### 4.2 Pomůcky a přístroje

Analytické váhy (KERN 770; Kern)

Váhy (KERN 440-33; Kern)

Vodováhy (Powerfix PLW 2)

Sušárna (Memmert)

Třepačka (LT 3; NEDFORM s.r.o.)

Silikonové formy

Kalíšky pro testování propustnosti

Klimatická komora

Trhací stroj (Quasar 25; GALDABINI)

Simultánní termický analyzátor (STA 449 F3 Jupiter; NETZSCH)

Exsikátor

Magnetické míchadlo (Schott)

Laboratorní sklo

Mikrometr

## 4.3 Metodika

### 4.3.1 Příprava zásobního roztoku 1 % kyseliny octové

Do 500 ml odměrné baňky byl připraven 1 % roztok kyseliny octové napipetováním vypočteného množství kyseliny octové podle rovnice 1 a doplněním po rysku demineralizovanou vodou. Takto připravený roztok byl použit k rozpuštění nízkomolekulárního chitosanu.

$$V_{CH_3COOH} = \frac{m}{\rho} \quad (1)$$

Kde:

- $V_{CH_3COOH}$  pipetovaný objem kyseliny octové [ml]
- $m$  hmotnost kyseliny octové pro přípravu 1 % roztoku [g]
- $\rho$  hustota kyseliny octové [ $g \cdot cm^{-3}$ ]

### 4.3.2 Příprava chitosanových roztoků a filmů

Chitosanový roztok byl připraven navážením 1 g chitosanu a rozpuštěn ve 100 ml 1 % roztoku kyseliny octové za stálého míchání a následném třepání při laboratorní teplotě 24 °C po dobu 24 hodin.



Obr. 6 Nízkomolekulární chitosan použit k přípravě filmů

Poté byl připraven roztok 1 % želatiny v demineralizované vodě, který byl společně s glycerolem přidáván do 1 % roztoku chitosanu. Želatina slouží v tomto případě jako dobré pojivo vzniklého filmu pro zlepšení mechanických vlastností a glycerol zase jako změkčovadlo. Přidávky roztoku želatiny a glycerolu se vztahovaly na navážku chitosanu, tj. 1 % přírdek želatiny na navážku chitosanu činil 0,01 g želatiny. Jelikož byl ale připraven 1 % roztok želatiny, tak byl přidán 1 g tohoto roztoku na 1 g navážky chitosanu. Procentuální přídávky želatiny a chitosanu shrnuje tabulka 1. Roztok se poté nechal důkladně rozmíchat při 1000 – 1500 ot./min po dobu alespoň 2 hodin.

*Tab. 1 Procentuální přídávky želatiny a glycerolu na navážku chitosanu*

<b>Film</b>	<b>Přídavek želatiny (faktor A) [%]</b>	<b>Přídavek glycerolu (faktor B) [%]</b>
A0B0	0	0
A1B5	1	5
A1B10	1	10
A3B7,5	3	7,5
A5B5	5	5
A5B10	5	10

Roztoky chitosanu s želatinou a glycerolem byly následně odlévány do dvou silikonových forem o rozměrech 7 x 12,5 cm a dvou kulatých forem o průměru 5 cm a ponechány v sušárně při teplotě 35 °C po dobu 24 hodin. Vysušené filmy byly skladovány v exsikátoru při laboratorní teplotě 24 °C a 30 % relativní vlhkosti.

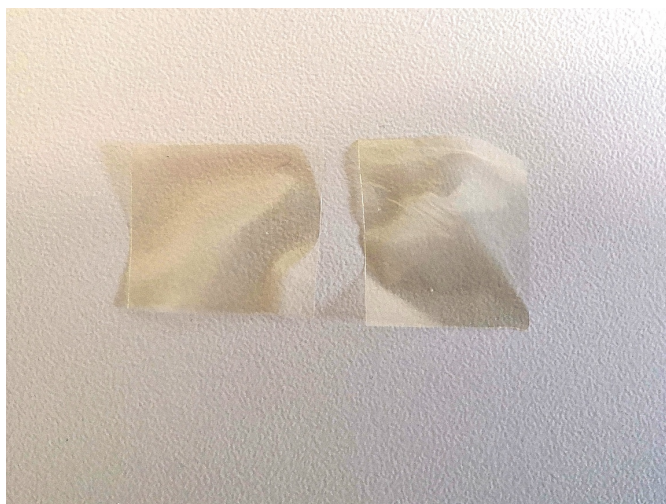


*Obr. 7 Připravené vzorky filmů*



### 4.3.3 Stanovení rozpustnosti filmů ve vodě

Připravené filmy byly vytaženy z exsikátoru a nastříhány na vzorky o velikosti 2x2 cm. Tyto vzorky byly následně vloženy do kádinky a zality malým množstvím demineralizované vody. Byl pozorován účinek vody na vzorky filmů.



Obr. 8 Nastříhané vzorky filmu o velikosti 2x2 cm

### 4.3.4 Stanovení propustnosti filmů pro vodní páry

Vzorky filmů o průměru 5 cm byly umístěny do kalíšků naplněných  $\pm 30$  g vysušeného silikagelu a upevněny krytem pomocí gumových těsnění. Od každého filmu byly takto připraveny dva kalíšky se vzorkem. Kalíšky byly následně umístěny do klimatické komory s nastavenou teplotou 37 °C a 50 % relativní vlhkostí. Po určitých časových intervalech byly kalíšky váženy a byl zaznamenáván přírůstek hmotnosti.

Výsledky byly vyjádřeny v grafu jako závislost změny hmotnosti na čase. Propustnost pro vodní páry  $q$  byla vypočítána podle vzorce 2.

$$q = \frac{240 \cdot \Delta m}{S \cdot \Delta t} \quad (2)$$

Kde:

- $q$  propustnost pro vodní páry [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
- $\Delta m$  zvýšení hmotnosti kalíšku za dobu  $\Delta t$  [mg]
- $\Delta t$  doba, za kterou bylo dosaženo odpovídající hmotnosti kalíšku [h]
- $S$  zkoušená plocha vzorku [ $\text{cm}^2$ ]

#### 4.3.5 Stanovení pevnosti v tahu

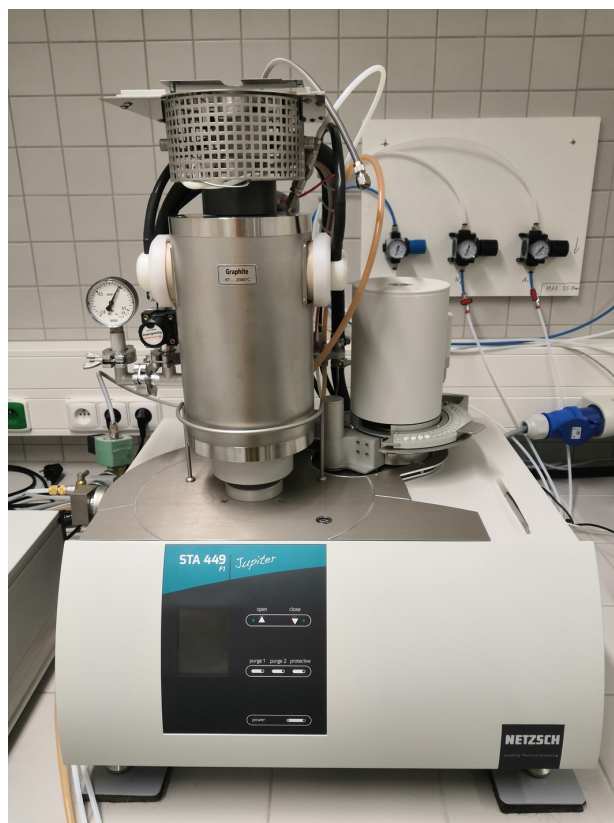
Připravené filmy byly nastříhány na pásy o rozměrech 1 x 7 cm a byly umístěny do trhacího stroje Quasar 25, pomocí kterého byla zjištěna síla potřebná k roztržení jednotlivých vzorků filmů a jejich prodloužení při přetržení. Pro každý film byla provedena alespoň tři měření. Tloušťka použitých filmů byla 0,05 mm, vzdálenost čelistí, ve kterých byl film přichycen činila 3 cm a rychlost posuvu čelistí byla  $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .



*Obr. 9 Trhací stroj Quasar 25*

#### 4.3.6 Stanovení tepelné stability pomocí DSC a TG

Jednotlivé filmy byly nastříhány do malých misek na hmotnost 10 mg. Poté byly vloženy do simultánního tepelného analyzátoru, přičemž jedna miska zůstala prázdná a sloužila jako referenční. Vlastní měření spočívá v konstantním ohřívání a sledování teplotních změn vzorků. Měřenou veličinou je tedy tepelný tok, který se měří pomocí diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) a změna hmotnosti analyzovaného vzorku v závislosti na teplotě, kterou měříme pomocí termogravimetrie (TG). Měření probíhalo v atmosféře argonu při rozsahu teplot 25–600 °C a rychlostí ohřevu  $10 \text{ °C} \cdot \text{min}^{-1}$ .



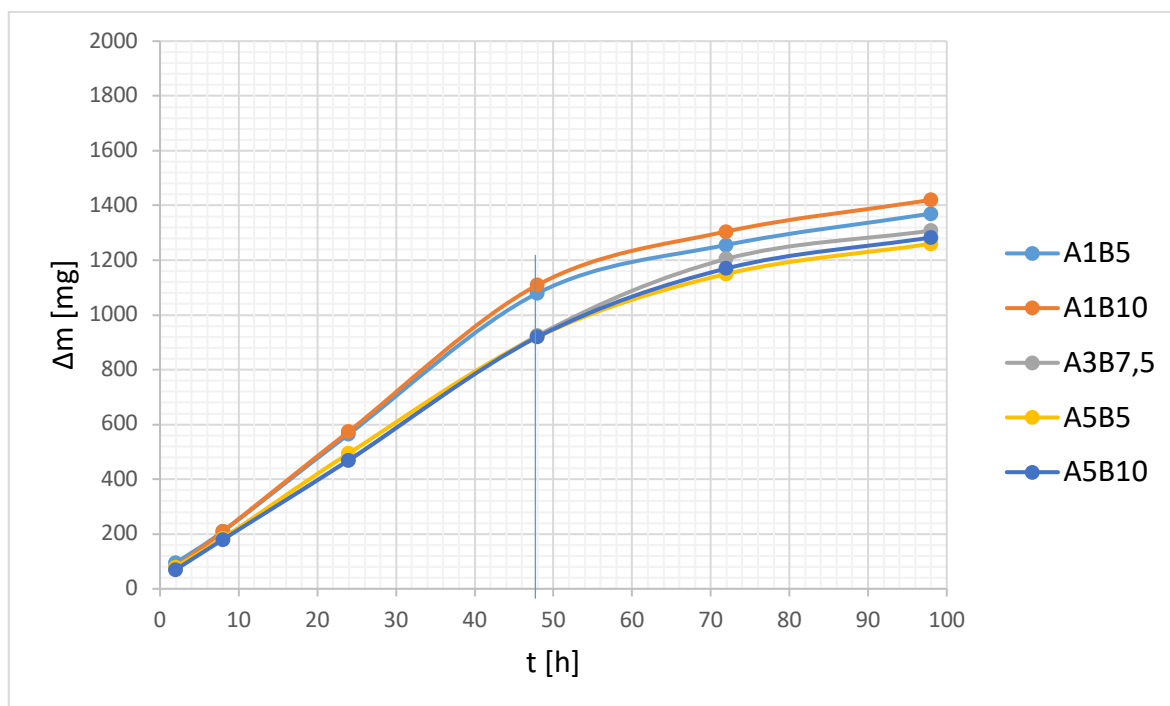
*Obr. 10 Termický analyzátor STA 449 F1 Jupiter*

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 5.1 Propustnost pro vodní páry

Propustnost filmu pro vodní páry by měla být pro praktické využití obecně nízká, aby se snížil přenos vlhkosti mezi okolní atmosférou a ochranným filmem. K přenosu vodní páry dochází přes hydrofilní část filmu, závisí tedy na poměru mezi hydrofilní a hydrofobní složkou filmu. Kromě polarity existuje několik dalších faktorů, které ovlivňují propustnost pro vodní páry, jako je tloušťka filmu nebo krystalinita polymeru. K přenosu vodní páry dochází hlavně přes amorfnní fázi polymeru, jelikož mřížka ve struktuře krystalické fáze vytváří mnohem větší bariéru pro průchod molekul vody [21].

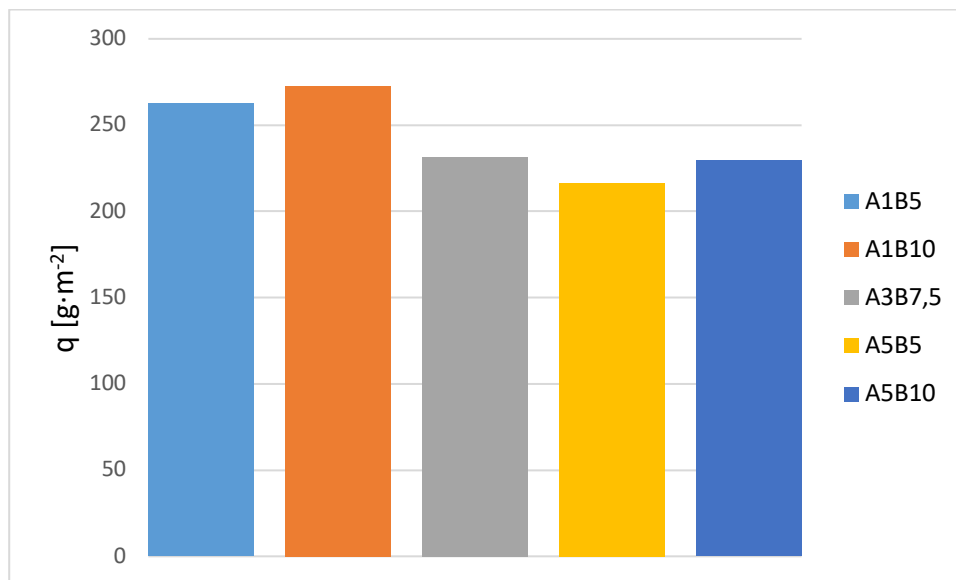
Hodnoty propustnosti byly vypočítány po třech měřeních, tedy 48 hodinách, neboť v grafu závislosti změny hmotnosti na čase (Obr. 11) tvořily přímku. Další hodnoty už vykazovaly méně strmý růst a špely spíše k dosažení rovnováhy.



Obr. 11 Závislost změny hmotnosti kalíšků na čase

Vliv různého zastoupení přídavku želatiny a glycerolu na propustnost filmu pro vodní páry je znázorněn na obrázku 12. Nejvyšší propustnost vykazoval film A1B10 s hodnotou  $272,6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , naopak nejmenší hodnoty propustnosti byly zaznamenány u filmů A5B5 a to  $216,6 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Z těchto výsledků tedy vyplývá, že vyšší obsah želatiny přispívá k nižší

propustnosti pro vodní páru, jak je vidět v grafu při porovnání vzorku A1B5 a A5B5. Naopak při porovnání vzorků A1B5 a A1B10 můžeme vidět, že příspěvek glycerolu propustnost zvyšoval.



Obr. 12 Propustnost vodní páry pro chitosanové filmy po 48 h

## 5.2 Pevnost v tahu

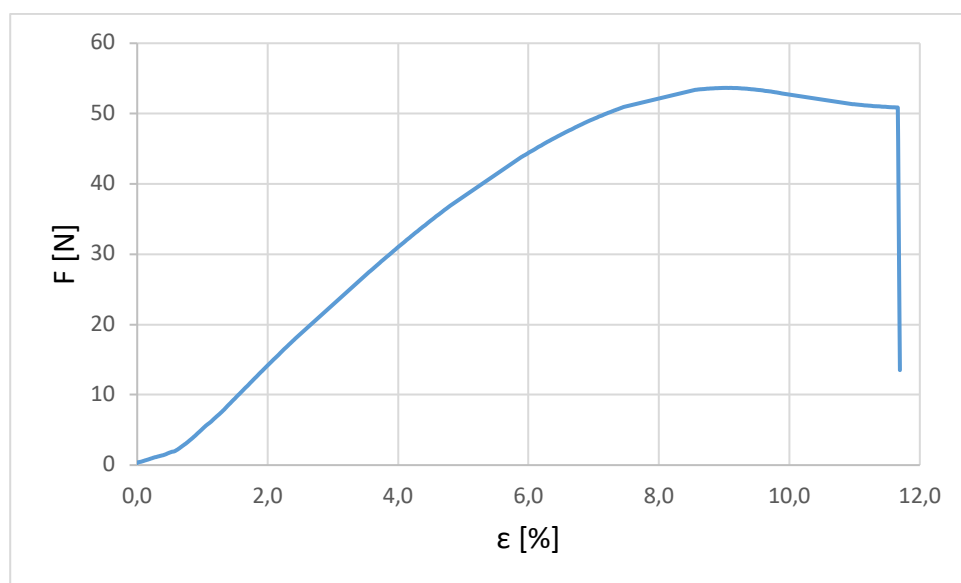
Pevnost v tahu je důležitou vlastností filmů, která je jedním z kritérií mechanické stability filmu. Výsledné síly potřebné k roztržení jednotlivých vzorků filmů jsou zaznamenány v tabulce 2. Naměřené hodnoty síly byly docela vysoké a pohybovaly se kolem 50 N z čehož vyplývá že připravené chitosanové filmy vykazují poměrně velkou mechanickou stabilitu.

Přidavky želatiny a glycerolu měly však jen minimální vliv na změnu síly potřebné k přetržení filmu. Výjimku tvořil film A3B7,5, který byl nejméně stabilní a hodnoty síly potřebné pro jeho roztržení se pohybovaly kolem 30 N. Nejpevnější z filmů byl vzorek A5B5, pro který byla síla potřebná k roztržení ještě o trochu větší, než pro film bez přídavku želatiny a glycerolu a vykazoval tedy největší pevnost v tahu z testovaných vzorků. Zároveň bylo u toho filmu dosaženo nejdelšího prodloužení.

Obecně byly hodnoty prodloužení vzorků kompozitních filmů při přetržení větší než u filmů z čistého chitosanu, což bylo zapříčiněno tím, že obsažené komponenty jsou dobrá změkčovadla. Působením těchto látek se stává film více plastickým, proto dosahuje většího prodloužení, ale zároveň klesá síla potřebná k roztržení daného filmu.

Tab. 2 Hodnoty síly potřebné k roztržení jednotlivých vzorků filmů a jejich prodloužení při přetržení

Film	Síla [N]	Prodloužení [%]
A0B0	$50,9 \pm 2,1$	$8,3 \pm 0,9$
A1B5	$45,6 \pm 2,7$	$8,9 \pm 3,7$
A1B10	$46,3 \pm 3,2$	$10,9 \pm 0,7$
A3B7,5	$32,5 \pm 3,1$	$8,8 \pm 3,1$
A5B5	$51,5 \pm 1,8$	$11,5 \pm 1,0$
A5B10	$48,3 \pm 1,0$	$9,6 \pm 1,6$



Obr. 13 Tahová křivka filmu A5B5

### 5.3 Rozpustnost ve vodě

Po zalití vzorku chitosanového filmu demineralizovanou vodou bylo možné pozorovat téměř okamžité nabotnění vzorku vodou a následná rozpuštění, kdy se vzorek začal kroutit a trhat. Vzorky s přídavkem želatiny a glycerolu se rozpouštěly ještě o něco lépe, neboť jsou obě látky vysoce hydrofilní, tudíž na sebe dobře vážou vodu. Vliv rozdílného procentuálního příspěvku želatiny a glycerolu ve filmech byl zanedbatelný, všechny vzorky filmů se rozpustily téměř okamžitě.

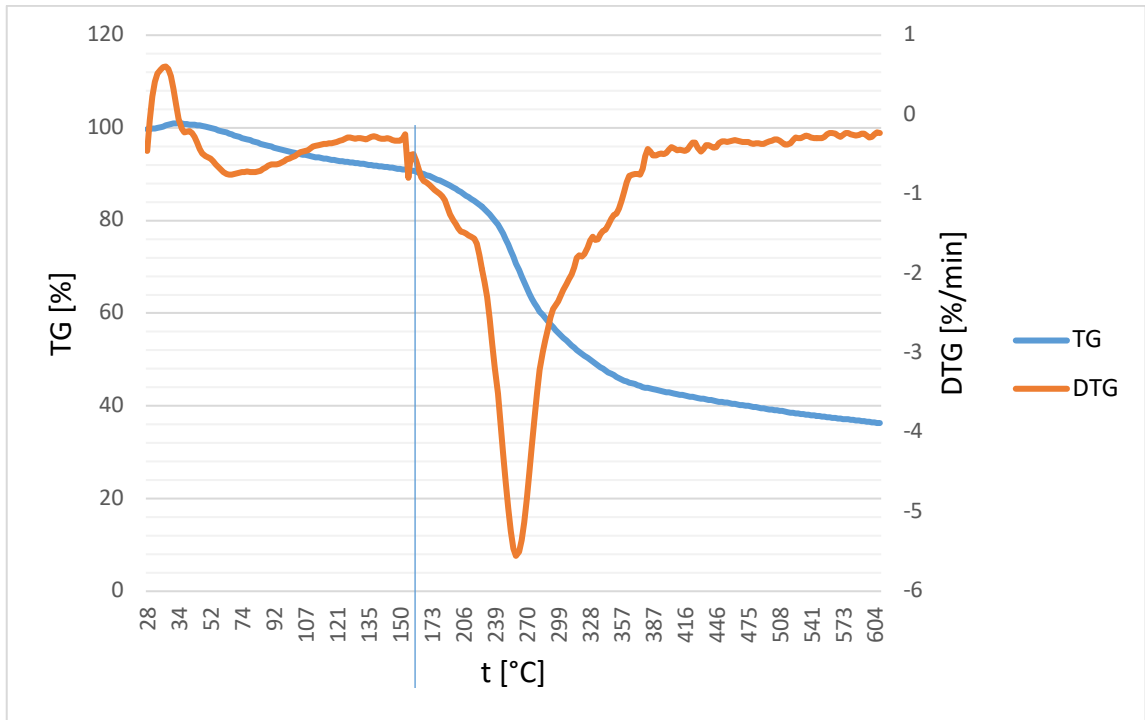


*Obr. 14 Vzorek chitosanového filmu po kontaktu s vodou*

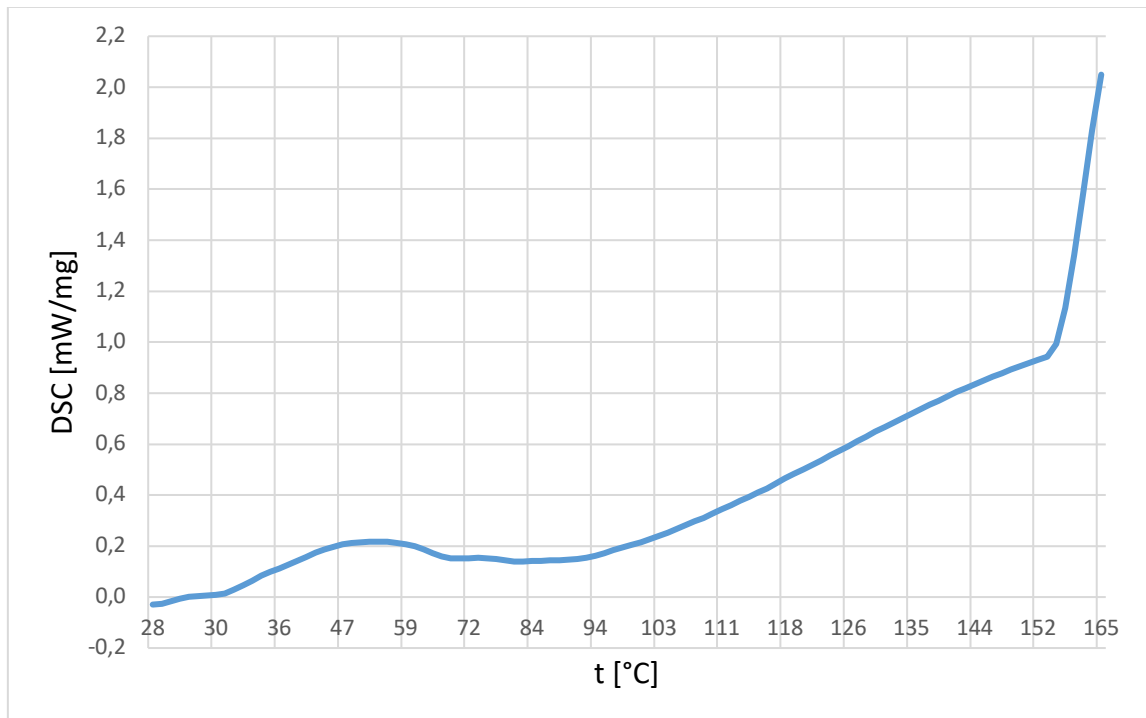
### 5.4 Tepelná stabilita

Tepelné vlastnosti filmů výrazně závisí na původu želatiny a na způsobu a podmínkách zpracování chitosanu. Tepelná stabilita připravených filmů byla stanovena pomocí metody DSC a TG. Pro určení tepelné stability z grafu TG byla křivka závislosti změny hmotnosti na teplotě zderivována podle času, abychom mohli lépe určit teplotu rozkladu filmů.

Tato teplota nabývala hodnot 165 °C a byla totožná pro všechny vzorky filmů s minimálními výchyly v řádech desetin stupňů. Proto byly dále pro porovnání použity jen vzorky filmů čistého chitosanu a vzorek filmu A5B5, neboť dosahoval nejlepších výsledků v předchozích testech (Obr. 15, 16, 17 a 18). Z toho vyplývá, že přídavek želatiny a glycerolu v připravených chitosanových filmech měl jen minimální vliv na tepelnou stabilitu filmu. Na grafech DSC je viditelný pík spojený s odpařováním vlhkosti, ale není vidět žádný přechod mezi fázemi, tudíž vzorky zřejmě nemají mnoho krystalické fáze ve své struktuře.

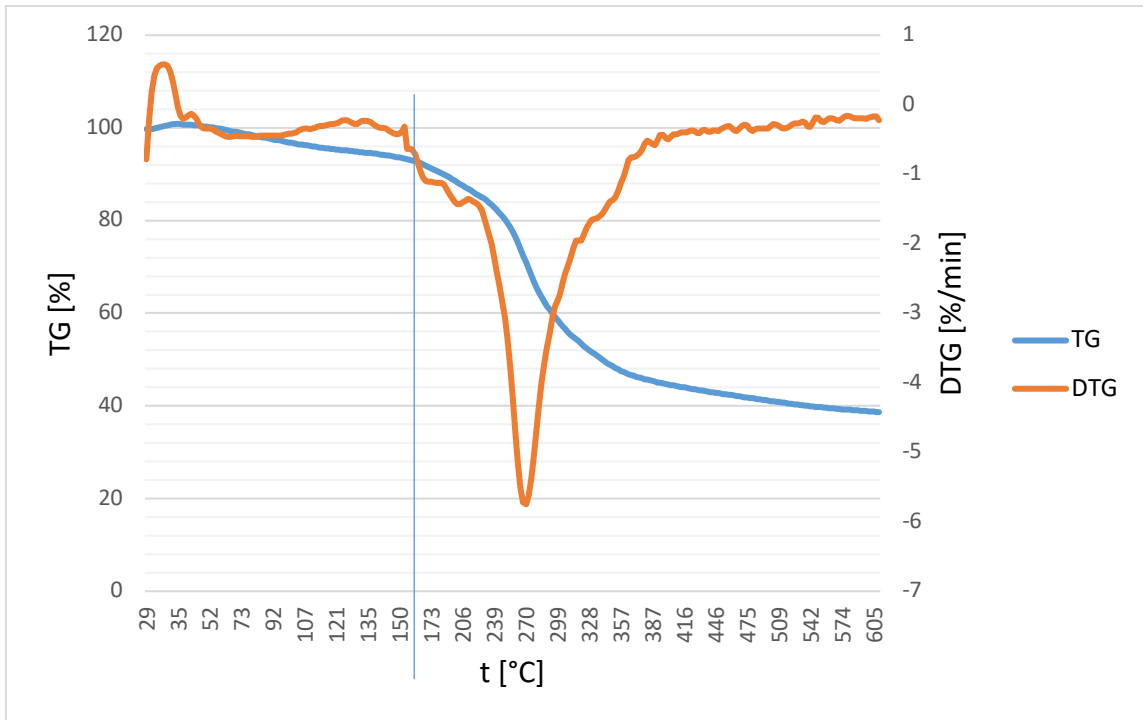


Obr. 15 Křivka TG a její derivační křivka (DTG) pro vzorek A0B0

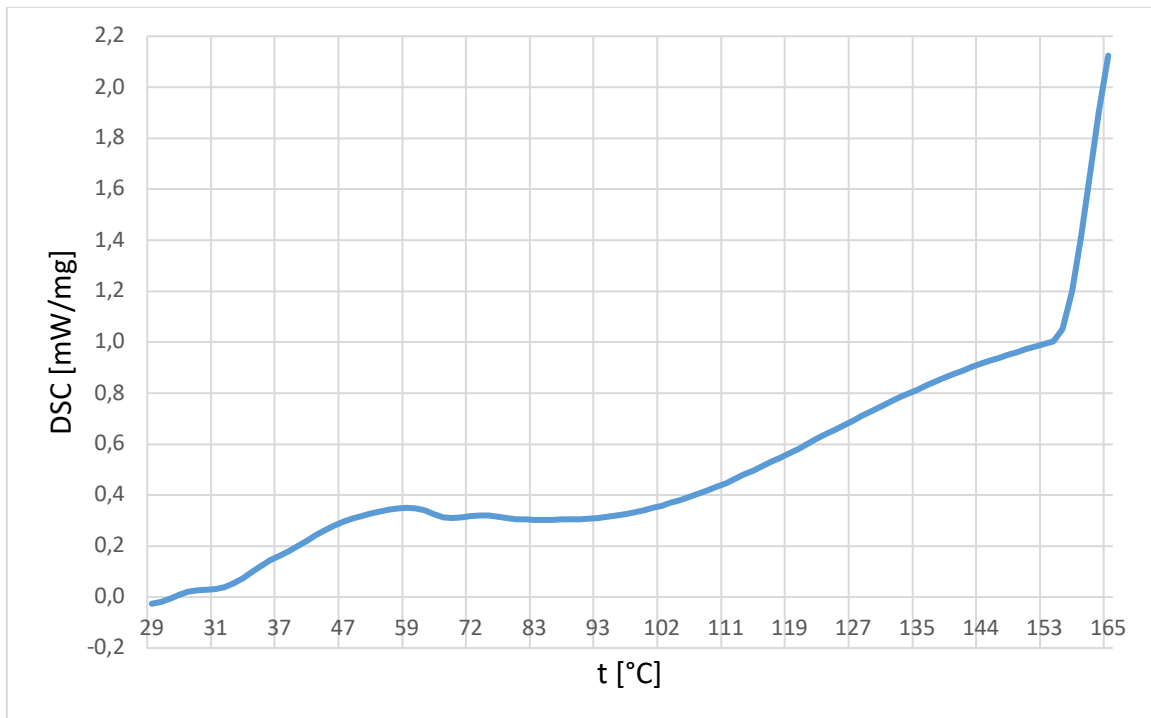


Obr. 16 Křivka DSC pro vzorek A0B0





Obr. 17 Křivka TG a její derivační křivka (DTG) pro vzorek A5B5



Obr. 18 Křivka DSC pro vzorek A5B5

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byla příprava filmů na bázi chitosanu s přídavkem želatiny a glycerolu, jejich následná charakterizace a zhodnocení, zda jsou tyto filmy vhodné pro průmyslové použití, zejména v kosmetickém průmyslu. K charakterizaci byly použity metody, které zkoumaly především fyzikální vlastnosti filmu, a to bariérové vlastnosti, rozpustnost ve vodě, mechanické a tepelné vlastnosti.

K hodnocení mechanických vlastností byl použit trhací stroj, pomocí kterého jsme určili sílu potřebnou k roztržení filmu a prodloužení filmu při přetržení. Všechny vzorky filmů vykazovaly vysokou pevnost v tahu a hodnoty síly pro přetržení se pohybovaly kolem 50 N. Výjimkou byl vzorek A3B7,5, který byl přetržen již při hodnotách síly kolem 30 N. Obsah želatiny a glycerolu měl vliv na prodloužení při přetržení, kdy s rostoucím podílem těchto látek rostly i hodnoty prosloužení. Testování propustnosti pro vodní páry probíhalo v klimatické komoře při teplotě 37 °C a 50 % relativní vlhkosti. Hodnoty propustnosti se pohybovaly od 216,6 g·m<sup>-2</sup> pro vzorek A5B5 do 272,6 g·m<sup>-2</sup> pro vzorek A1B10. Bylo tedy prokázáno, že vyšší obsah želatiny, při stejném obsahu glycerolu, činí film méně propustný pro vodní páry. Naopak s vyšším obsahem glycerolu, při stejném obsahu želatiny, jsou filmy lépe propustné. Tepelná stabilita filmů byla hodnocena metodami DSC a TG, které byly měřeny na simultánním termickém analyzátoru. Všechny vzorky byly tepelně stabilní a teplota rozkladu nabývala hodnot kolem 165°C. Přídavek želatiny a glycerolu měl opět jen minimální vliv na změnu tepelné stability filmů. Všechny vykazovaly také dobrou rozpustnost ve vodě, kdy se po kontaktu s vodou rozpustily téměř okamžitě.

Z těchto testů vyšel nejlépe vzorek filmu A5B5, který vykazoval nejnižší propustnost pro vodní páry, největší pevnost v tahu, nejdelší prodloužení při přetržení filmu a byl i dostatečně tepelně odolný a rozpustný ve vodě. Obecně ale přídavek želatiny a glycerolu nemá velký vliv na změnu vlastností chitosanových filmů, akorát mírně zlepšuje mechanické a bariérové vlastnosti.

Připravené filmy mají potenciál pro využití v kosmetickém průmyslu ve formě vodou smývatelných pleťových masek nebo v potravinářském průmyslu jako prostředek pro prodloužení životnosti některých druhů potravin.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

1. Darge HF, Andrgie AT, Tsai HC, Lai JY (2019) *Polysaccharide and polypeptide based injectable thermo-sensitive hydrogels for local biomedical applications*. *Int J Biol Macromol* 133:545–563. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.131>
2. Mohammed, A.S.A., Naveed, M. & Jost, N. (2021) *Polysaccharides; Classification, Chemical Properties, and Future Perspective Applications in Fields of Pharmacology and Biological Medicine (A Review of Current Applications and Upcoming Potentialities)*. *J Polym Environ* 29, 2359–2371. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02052-2>
3. ČOPÍKOVÁ, Jana a Andryi SYNYTSYA, Polysacharidy, jejich význam a uplatnění. Chemické listy [online]. [cit. 2021-10-14]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2005\\_09\\_621.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2005_09_621.pdf)
4. KIM, Se-Kwon, 2014. *Chitin and chitosan derivatives: Advances in Drug Discovery and Developments*. Boca Raton: CRC Press, 511 s. ISBN 978-1-4665-6632-3.
5. DUTTA, Pradip Kumar, Joydeep DUTTA a V. S. TRIPATHI, 2004. *Chitin and chitosan: Chemistry, properties and applications*. *Journal of Scientific & Industrial Research*. 20-31. ISSN 0975-1084.
6. ELSABEE, Maher Z. a Entsar S. ABDU. Chitosan based edible films and coatings: A review. *Materials Science and Engineering: C* [online]. 2013, 33(4), 1819-1841 [cit. 2021-10-16]. ISSN 09284931. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.01.010>
7. Struktura chitosanu, In: *Research gate* [online]. [cit. 2021-10-16]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-chitin-and-chitosan\\_fig1\\_276857705](https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-chitin-and-chitosan_fig1_276857705)
8. BARBOSA, M.A., A.P. PEGO a I.F. AMARAL, 2011. *Comprehensive biomaterials: Metallic, ceramic and polymeric biomaterials*. Netherlands: Elsevier, 222-235. ISBN 978-0-08-100692-4.
9. TENG, Dayong, 2012. From Chitin to Chitosan. YAO, Kangde, Junjie LI, Fanglian YAO a Yuji YIN. *Chitosan-Based Hydrogels: Functions and Applications*. Boca Ra- ton: CRC Press, s. 2-33. ISBN 978-1-4398-2115-2.
10. FERNÁNDEZ-GARCÍA, Marta a María L. CERRADA, 2014. *Antimicrobial Activity of Chitosan in Food, Agriculture and Biomedicine*. MUÑOZ-BONILLA, Alexandra, Marta FERNÁNDEZ-GARCÍA, María L. CERRADA, Ben ZHONG TANG a Marcos FERNÁNDEZ-GARCÍA. *Polymeric Materials with Antimicrobial Activity: From Synthesis to Applications*. Spain: RCS Publishing.

11. MARTZ, Eric. Introduction to protein science-architecture, function, and genomics: Lesk, Arthur M. *Biochemistry and Molecular Biology Education* [online]. 2005, **33**(2), 144-145 [cit. 2021-12-03]. ISSN 14708175. Dostupné z: doi: [10.1002/bmb.2005.494033022442](https://doi.org/10.1002/bmb.2005.494033022442)
12. BRANDEN, Carl Ivar a John TOOZE. *Introduction to Protein Structure* [online]. Garland Science, 2012 [cit. 2021-12-03]. ISBN 9780429062094. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781136969898>
13. HAUG, I.J. a K.I. DRAGET. Gelatin. *Handbook of Hydrocolloids* [online]. Elsevier, 2009, 2009, s. 142-163 [cit. 2022-05-15]. ISBN 9781845694142. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9781845695873.142>
14. *Herb.cz: Želatína* [online]. 2007 [cit. 2021-12-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.herb.cz/zelatina-i-26/>>.
15. GÓMEZ-GUILLÉN, M.C, J TURNAY, M.D FERNÁNDEZ-DÍAZ, N ULMO, M.A LIZARBE a P MONTERO. Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study. *Food Hydrocolloids* [online]. 2002, **16**(1), 25-34 [cit. 2021-12-16]. ISSN 0268005X. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(01\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(01)00035-2)
16. SCHRIEBER, Reinhard a Herbert GAREIS. *Gelatine Handbook* [online]. Wiley, 2007 [cit. 2021-12-16]. ISBN 9783527315482. Dostupné z: doi: 10.1002/9783527610969
17. MLÁDEK, Milan, et al. *Zpracování opadů kožedělného průmyslu*. 1. vyd. Praha 1: Nakladatelství technické literatury, n.p., 1971. 324 s.
18. KOMÁREK, Pavel, RABIŠOVÁ, Miloslava et al. *Technologie léků*. 3. přepracované a doplněné vyd. Praha 5: Galén, 2006. 399 s. ISBN 80 7262 432 7.
19. Gelatin manufacturers institute of America, inc.. *Gelatin*. 1 Gelatin manufacturers institute of America, inc., 1973. 5 – 24 s.
20. JIN, Tony, Tracy LIU, Edmond LAM a Audrey MOORES. Chitin and chitosan on the nanoscale. *Nanoscale Horizons* [online]. 2021, **6**(7), 505-542 [cit. 2022-04-22]. ISSN 2055-6756. Dostupné z: doi: [10.1039/D0NH00696C](https://doi.org/10.1039/D0NH00696C)
21. ALVES, Vera L.C.D., Bruna P.M. RICO, Rui M.S. CRUZ, António A. VICENTE, Igor KHMELINSKII a Margarida C. VIEIRA. Preparation and characterization of a chitosan film with grape seed extract-carvacrol microcapsules and its effect on the shelf-life of

- refrigerated Salmon (*Salmo salar*). *LWT* [online]. 2018, **89**, 525-534 [cit. 2022-04-22]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi: [10.1016/j.lwt.2017.11.013](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.013)
22. RUI, Liyun, Minhao XIE, Bing HU, Li ZHOU, Danyang YIN a Xiaoxiong ZENG. A comparative study on chitosan/gelatin composite films with conjugated or incorporated gallic acid. *Carbohydrate Polymers* [online]. 2017, **173**, 473-481 [cit. 2022-05-01]. ISSN 01448617. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.072>
23. PEREDA, M., A.G. PONCE, N.E. MARCOVICH, R.A. RUSECKAITE a J.F. MARTUCCI. Chitosan-gelatin composites and bi-layer films with potential antimicrobial activity. *Food Hydrocolloids* [online]. 2011, **25**(5), 1372-1381 [cit. 2022-05-09]. ISSN 0268005X. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.01.001>
24. MARTUCCI, J.F. a R.A. RUSECKAITE. Biodegradable three-layer film derived from bovine gelatin. *Journal of Food Engineering* [online]. 2010, **99**(3), 377-383 [cit. 2022-05-09]. ISSN 02608774. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.02.023>
25. WANG, Hongxia, Fuyuan DING, Liang MA a Yuhao ZHANG. Edible films from chitosan-gelatin: Physical properties and food packaging application. *Food Bioscience* [online]. 2021, **40** [cit. 2022-05-09]. ISSN 22124292. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100871>
26. UNNITHAN, Afeesh Rajan, R.S. ARATHYRAM a Cheol Sang KIM. Electrospinning of Polymers for Tissue Engineering. *Nanotechnology Applications for Tissue Engineering* [online]. Elsevier, 2015, 2015, s. 45-55 [cit. 2022-05-15]. ISBN 9780323328890. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-32889-0.00003-0>
27. Směs řetězců tvořících kolagenovou trojšroubovici, In: *Chondrex* [online]. [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.chondrex.com/blog/type-i-type-ii-collagen-structure-influences-staining-patterns>
28. GHADERI, Jaber, Seyed Fakhreddin HOSSEINI, Niloufar KEYVANI a M. Carmen GÓMEZ-GUILLÉN. Polymer blending effects on the physicochemical and structural features of the chitosan/poly(vinyl alcohol)/fish gelatin ternary biodegradable films. *Food Hydrocolloids* [online]. 2019, **95**, 122-132 [cit. 2022-05-13]. ISSN 0268005X. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.021>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

(-NHCOCH<sub>3</sub>) Acetamidová skupina

SEC	Vylučovací chromatografie
NaOH	Hydroxid sodný
HCl	Kyselina chlorovodíková
KMnO <sub>4</sub>	Manganistan draselný
EDTA	Kyselina ethylendiamintetraoctová
DNA	2-deoxy-D-ribonukleová kyselina
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	Kyselina octová
DSC	Diferenciální skenovací kalorimetrie
TG	Termogravimetrie
DTG	Derivační termogravimetrie

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Krystalické polymorfni formy chitinu.....</i>	12
<i>Obr. 2 Schéma deacetylace chitinu.....</i>	12
<i>Obr. 3 Vzhled jahod ošetřených modifikovaným chitosanovým filmem obsahující limonen a emulgátor Tween 80 .....</i>	17
<i>Obr. 4 Směs řetězců tvořících kolagenovou trojšroubovici.....</i>	21
<i>Obr. 5 Způsob přípravy filmů na bázi chitosan-želatina .....</i>	26
<i>Obr. 6 Nízkomolekulární chitosan použit k přípravě filmů .....</i>	31
<i>Obr. 7 Připravené vzorky filmů .....</i>	32
<i>Obr. 8 Nastříhané vzorky filmu o velikosti 2x2 cm.....</i>	33
<i>Obr. 9 Trhací stroj Quasar 25.....</i>	34
<i>Obr. 10 Tepelný analyzátor STA 449 F1 Jupiter.....</i>	35
<i>Obr. 11 Závislost změny hmotnosti kalíšku na čase .....</i>	36
<i>Obr. 12 Propustnost vodní páry pro chitosanové filmy po 48 h.....</i>	37
<i>Obr. 13 Tahová křivka filmu A5B5.....</i>	38
<i>Obr. 14 Vzorek chitosanového filmu po kontaktu s vodou .....</i>	39
<i>Obr. 15 Křivka TG a její derivační křivka (DTG) pro vzorek A0B0 .....</i>	40
<i>Obr. 16 Křivka DSC pro vzorek A0B0.....</i>	40
<i>Obr. 17 Křivka TG a její derivační křivka (DTG) pro vzorek A5B5 .....</i>	41
<i>Obr. 18 Křivka DSC pro vzorek A5B5.....</i>	41

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Procentuální přídavky želatiny a glycerolu na navážku chitosanu .....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 2 Hodnoty síly potřebné k přetržení jednotlivých vzorků filmů a jejich prodloužení při přetržení .....</i>	<i>37</i>



