Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Teze disertační práce

Využití biotechnologicky získaných želatin pro potravinářské a lékařské aplikace

Utilization of biotechnologically derived gelatins for food and medical applications

Autor: **Ing. Jakub Martinek, Ph.D.**

Studijní program: P0531D130057 / Technologie makromolekulárních látek

Školitel: prof. Ing. Pavel Mokrejš, Ph.D.

Oponenti: doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D.
prof. Ing. Michal Sedlačík, Ph.D.

Zlín, duben 2025

© Jakub Martinek

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis Summary.**
Publikace byla vydána v roce 2025

Klíčová slova: *bioobaly, biotisk, bobtnání, cirkulární ekonomika, enzymatická hydrolýza, extrakce želatiny, film, funkční skupiny, kuřecí želatina, kvalita masa, lékařství, morfologie, odstředivé zvlákňování, optické vlastnosti, pH, potravinářství, povlaky, propustnost vodních par, rozpustnost, textura, UV záření, vlákna, ztráty po rozmražení*

Key words: *biobased packaging, bioprinting, centrifugal spinning, chicken gelatin, circular economy, coating, enzymatic hydrolysis, fibers, film, food industry, freeze-thaw loss, functional groups, gelatin extraction, meat quality, medicine morphology, optical properties, pH, solubility, swelling, texture, UV irradiation, water vapor permeability*

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

ISBN 978-80-7678-332-4

ABSTRAKT

Předložená práce se zabývá možnostmi aplikace želatin připravených biochemickým způsobem z kuřecího kolagenu z nevyužitých vedlejších tkání. V práci je nejprve popsána stavba a složení samotného kolagenu, jeho vlastnosti a použití v různých průmyslových odvětvích. Hlavní cíl práce se zaměřuje na aplikaci kuřecích želatin při přípravě povlaků, filmů a vláken. Jsou uvedeny postupy jejich laboratorní přípravy a adjustace jejich vlastností (síťování, plastifikace). Metodická část popisuje postup extrakce želatiny z vybraných nevyužitých kuřecích tkání bohatých na kolagen biotechnologickou metodou opracováním proteolytickým enzymem. Dále uvádí konkrétní podmínky zpracování želatinových roztoků na povlaky (máčením), filmy (litím) a vláken (odstředivé zvlákňování) a metody testování vzniklých materiálů. Výsledková a diskusní část pak prezentuje konkrétní výsledky testování vlastností materiálů připravených z této želatiny.

Želatinové povlaky na povrchu hovězího steaku vznikly ponořením masa do roztoku na bázi želatiny různého složení. Kromě úbytku hmotnosti bylo měřeno také pH masa, barva a textura. Zmrazení bylo provedeno dvěma způsoby; při normální mrazicí teplotě -18 °C, druhá část experimentu při hlubokém (šokovém) zmrazení při -80 °C. U každé skupiny vzorků byl pozorován pozitivní vliv tohoto povlaku na úbytek hmotnosti. U ostatních testovaných vlastností masa, nebyl pozorován žádný negativní účinek povlaku.

Kvalita vláken byla porovnána s těmi připravenými z vepřové či hovězí želatiny. Výsledky ukázaly, že vlákna zesíťovaná parami glutaraldehydu si zachovala svou strukturu i při kontaktu s vodou. Použití síťovadla regulovalo bobtnací schopnost a rozpustnost při zachování struktury vlákna. Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) poskytla jasnější obraz o morfologii želatinových vláken. Rozdíly v množství vazby v závislosti na použitém surovém materiálu a přítomnosti síťovacího činidla byly analyzovány pomocí infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR).

Z želatiny lze připravit i filmy a díky tenké vrstvě je síťovat pomocí UV záření a sledovat vliv doby ozařování na jejich kvalitu. Zesíťování indukované zářením zlepšilo mechanické a fyzikální vlastnosti filmů. UV zesíťované filmy jsou stabilizované při stupni bobtnání od 700 do 900 %; navíc se doba rozpouštění prodloužila na více než 7 dní při zachování původního tvaru. Propustnost vodní páry se snížila 2,5krát se zvyšující se dobou síťování pro 30% a 40% obsah glycerolu ve filmu a žlutost ozářených vzorků se zvyšovala s dobou expozice v intervalu od 24 do 28. Pomocí infračervené spektroskopie s Fourierovou transformací byly analyzovány vazby na základě doby ozařování. V důsledku síťování se intenzita stávajících vazeb zvýšila. Tepelné vlastnosti byly ověřeny diferenciální skenovací kalorimetrií a termogravimetrickou analýzou.

Výsledky prokázaly, že kuřecí želatina je vhodná pro přípravu povlaků, vláken a filmů v potravinářství a lékařství.

ABSTRACT

The treatise of the dissertation deals with the application possibilities of gelatin prepared biochemically from chicken collagen from unused secondary tissues. The work first describes the structure and composition of collagen itself, its properties and use in various industries. The main objective of the work focuses on the application of chicken gelatins in the preparation of coatings, films and fibers. Procedures for their laboratory preparation and adjustment of their properties (cross-linking, plasticization) are presented. The methodological part describes the process of extracting gelatin from selected unused chicken tissues rich in collagen by a biotechnological method by processing with a proteolytic enzyme. It also gives specific conditions for the processing of gelatin solutions into coatings (dipping), films (casting) and fibers (centrifugal spinning) and methods of testing the resulting materials. The result and discussion section then presents specific results of testing the properties of prepared.

Gelatin coatings on the surface of the beef steak were created by immersing the meat in a solution based on gelatin of different composition. In addition to weight loss, meat pH, color and texture were also measured. Freezing was done in two ways; at normal freezing temperature -18 °C, the second part of the experiment at deep (shock) freezing at -80 °C. A positive effect of this coating on weight loss was observed for each group of samples. For the other tested meat properties, no negative effect of the coating was observed.

The quality of the fibers was compared with those prepared from pork or beef gelatin. The results showed that the fibers crosslinked by glutaraldehyde vapors retained their structure even when in contact with water. The use of a crosslinker controlled the swelling ability and solubility while maintaining the fiber structure. Scanning electron microscopy (SEM) provided a clearer picture of the morphology of the gelatin fibers. Differences in the amount of binding depending on the raw material used and the presence of the cross-linking agent were analyzed using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).

Films can also be prepared from gelatin and, thanks to the thin layer, they can be cross-linked using UV radiation and the influence of the irradiation time on their quality can be monitored. Radiation-induced cross-linking improved the mechanical and physical properties of the films. UV cross-linked films are stabilized at a swelling degree of 700 to 900 %; in addition, the dissolution time was extended to more than 7 days while maintaining the original shape. The water vapor permeability decreased 2.5 times with increasing crosslinking time for 30% and 40% glycerol content in the film, and the yellowness of the irradiated samples increased with exposure time in the interval from 24 to 28. Using Fourier transform infrared spectroscopy, the bonds were analyzed based on the irradiation time. As a result of networking, the intensity of existing ties has increased. Thermal properties were verified by differential scanning calorimetry and thermogravimetric analysis.

OBSAH

ABSTRAKT 3
ABSTRACT 4
OBSAH 5
PODĚKOVÁNÍ 7
1. HYPOTÉZY A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE 8
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY 9
2.1 Zdroje a aplikace kolagenu 9
2.2 Výroba, vlastnosti a modifikace želatin 10
2.3 Aplikace želatin 14
2.3.1 Povlaky 15
2.3.2 Filmy 16
2.3.3 Vlákna 16
2.4 Zhodnocení současného stavu problematiky 17
3. METODY PŘÍPRAVY A TESTOVÁNÍ PŘIPRAVENÝCH MATERIÁLŮ 18
3.1 Zpracování kuřecích běháků na želatinu 18
3.2 Příprava materiálů 18
3.3 Charakterizace produktů 19
3.3.1 Hmotnostní ztráty 19
3.3.2 Měření pH, texturních vlastností a barvy 20
3.3.3 Charakteristika funkčních skupin a morfologie 20
3.3.4 Bobtnání a rozpustnost 20
3.3.5 Paropropustnost 20
3.3.6 Termická analýza 21
4. VÝSLEDKY 22
4.1 Povlaky 22
4.1.1 pH masa 22
4.1.2 Textura masa 23
4.1.3 Barva masa 25

4.1.4 Hmotnostní ztráty 27
4.2 Vlákna 28
4.2.1 Morfologie vláken 29
4.2.2 FTIR analýza 30
4.2.3 Bobtnání a rozpustnost 32
4.3 Filmy 35
4.3.1 Bobtnání a rozpustnost 35
4.3.2 Propustnost vodních par 37
4.3.3 Barva 40
4.3.4 Charakteristika skupin a vazeb pomocí FTIR spektrometrie 42
4.3.5 Termická analýza 43
5. PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI 47
6. ZÁVĚR 48
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 49
8. SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ 57
9. PŘEHLED PUBLIKAČNÍCH A DALŠÍCH AKTIVIT BĚHEM STUDIA 58
10. ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA 59

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu disertační práce panu prof. Ing. Pavlovi Mokrejšovi, Ph.D. a konzultantovi disertační práce panu Ing. Robertu Gálovi, Ph.D. za ochotný přístup, odborné vedení a velmi cenné rady. Dále děkuji laborantkám paní Miroslavě Žaludkové a Petře Elšíkové za jejich ochotu, pomoc a trpělivost.

Děkuji i celému Ústavu inženýrství polymerů Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně za poskytnutí finanční podpory a přístupu k veškerému vybavení.

V neposlední řadě chci poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu a motivaci.

1. HYPOTÉZY A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

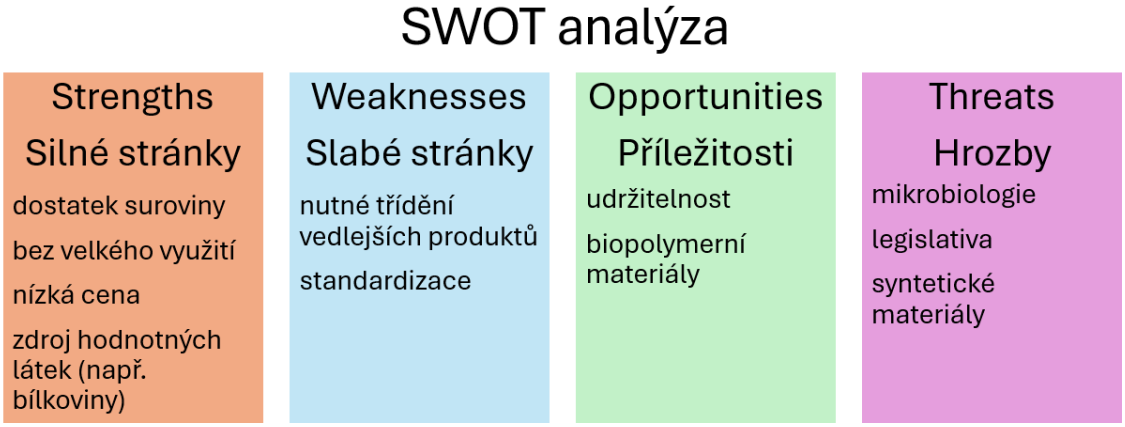
Vedlejší drůbeží produkty nemají v současnosti žádné výrazné využití, částečně se přidávají do krmných směsí; většinou se ovšem spalují jako odpad.

Složení kolagenu, kterému se práce věnuje podrobněji v další kapitole, nezávisí pouze na živočišném druhu a stáří poraženého zvířete, ale také na konkrétní části těla zvířete, z níž je kolagen izolován. Za účelem dosažení určitého standardu želatiny je tedy nutné vedlejší produkty třídit. Komplikací je nutnost vyřešit skladování, z důvodu zamezení mikrobiálního napadení.

I přes výše uvedené slabé stránky je důležité věnovat se dalším možnostem zpracování těchto odpadních produktů na látky, které mohou mít další využití, čímž se napomáhá dalšímu udržitelnému vývoji. Význam biopolymerních materiálů roste s rostoucím důrazem na zlepšení stavu životního prostředí.

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 zavádí 3 kategorie kvality vedlejších produktů, přičemž pro další použití na izolaci kolagenu a jeho následnou hydrolýzu. Biopolymerní materiály se ovšem stále musejí potýkat s vyšším zájmem o materiály na bázi syntetických polymerů.

SWOT analýza současného stavu nakládání a využití vedlejších produktů je znázorněna na Obr. 1.1.



Obr. 1.1: SWOT analýza vedlejších drůbežích produktů

Výsledky publikované v této práci navazuji na předešlou činnost našeho výzkumného týmu. Výzkum popsaný v této práci se zabýval dalšími možnostmi aplikace želatiny ve formě povlaků, filmů a vláken.

Hlavním cílem této práce je popsat vlastnosti materiálů vyrobených z želatiny drůbežího původu, která byla získaná biotechnologickou cestou pro posouzení možnosti jejich aplikace v potravinářství či medicíně.

Pro dosažení hlavního cíle byly stanoveny následující dílčí cíle:

1. Připravit kuřecí želatinu enzymatickou předúpravou kolagenu
2. Navrhnout podmínky přípravy filmů, povlaků a vláken z drůbeží želatiny.
3. Připravit výše uvedené materiály
4. Charakterizovat uvedené materiály

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Zdroje a aplikace kolagenu

Kolagen lze získávat pouze z živočišných zdrojů. Protože se kolagen a jeho hydrolyzáty používají pro lidskou spotřebu, je nutné, aby tyto zdroje byly důkladně prověřené, veterinárně vyšetřené a schválené pro lidskou spotřebu. Tradičně se kolagen izoluje z vepřových a hovězích tkání, jako jsou kosti či kůže (Ahmad a Benjakul, 2011).

Hovězí kolagen s sebou také nese jisté riziko z hlediska přenosu nákazy bovinní spongiformní encefalopatií nebo slintavkou a kulhavkou.

Ze zpracování drůbeže vzniká značné množství vedlejších produktů, které se bez dalšího valného využití buďto přidávají do krmných směsí nebo spalují. Přestože jsou tyto produkty bohatým zdrojem bílkovin, mimo jiné bohaté na kolagen, nemají v současnosti valného využití. Vzhledem ke zvyšující se spotřebě drůbežích produktů se zvyšuje i množství poražených kusů a tím pádem i vedlejších produktů (Wangtueai et al, 2009).

Proto byly kuřecí vedlejší produkty, jako např. kůže, zkoumány jako potenciální alternativní náhrada tradičních surovin pro přípravu želatiny (Mrázek, 2019). Želatina připravená z kuřecí kůže vykazuje podobné vlastnosti jako běžná komerční želatina a obsahuje vysoký podíl aminokyselin prolin a hydroxyprolin, což má velký význam pro vlastnosti spojené s gelací želatiny jako např. pevnost gelu, což je nejdůležitější parametr, podle kterého se hodnotí kvalita želatiny (Wangtueai et al, 2009).

Alternativní zdroje želatiny, např. vedlejší drůbeží nebo rybí produkty, jsou proto vysoce žádoucí pro produkci Halal (v souladu s islámským učením) želatiny. Avšak nevýhodou rybí želatiny je její charakteristický silný rybí zápach a zejména v případě želatin připravených ze studenomilných ryb horší termostabilita, gelační a reologické vlastnosti, omezená produkce a nízký výtěžek oproti želatinám připraveným ze suchozemských savců, takže rybí želatina dostatečně nesplňuje požadované aplikační parametry. Kolagen lze izolovat i z těl hmyzu. Tohoto zdroje se využívá v zemích, kde z náboženských důvodů není možné konzumovat kolagen (želatinu) získaný z tradičních zdrojů. Ze zbytků těl se izoluje kolagen a extrahuje želatina (Wangtueai et al, 2009).

Kolageny mají velmi široké uplatnění v průmyslu. Jedná se především o oblast kosmetických formulí, výroby potravin a lékařství. Kolagen při kontaktu s lidským tělem nevyvolává nežádoucí reakce organismu, proto se jako přírodní polymer používá pro vývoj obvazových materiálů pro ošetření ran, implantátů a tvorbu tkáňových konstrukcí.

V potravinářství se kolagen aplikuje kvůli tomu, že zlepšuje kvalitu potravin při jejich zpracovávání, jde především o reologické vlastnosti. Kolagen se také přidává do krmných směsí pro zvířata kvůli zvýšení výživové hodnoty krmiva. Maso s přídavkem kolagenu má lepší technologické vlastnosti a poskytuje výrobky s vyšší kvalitou. V kyselých potravinách a nápojích vlákna kolagenu plní

funkci emulgátoru. Filmy na bázi kolagenu se používají jako potahový materiál, mají totiž výborné bariérové schopnosti proti kyslíku a vlhkosti. Kolagenní materiál tím dodává výrobku větší soudržnost a především zvyšuje jeho trvanlivost. Z kolagenu se rovněž vyrábějí střívka na výrobu uzenin (Wang et al., 2022; Hashim el al., 2015).

Kolagen má blahodárný účinek na pokožku, protože na ni působí hydratačně, regeneruje ji a na jejím povrchu vytváří ochranný film. Tím, že skvěle váže vodu v pokožce, brání jejímu vysychání a ztrátě pružnosti. Nejen že kolagen dokáže v pokožce navazovat vodu, ale výše zmíněný ochranný film omezuje její ztrátu. Rány se v přítomnosti přípravků na bázi kolagenu hojí rychleji (Liu et al., 2019; An et al. 2016).

V oblasti medicíny nachází kolagen uplatnění při léčbě infektů různých tkání (např. rohovka) nebo karcinomu jater. Lze jej použít pro přenos antibiotik a jiných léčivých přípravků. Scaffoldy na bázi kolagenu se používají pro regeneraci kostní hmoty. Kolagen je vhodný, protože se po určité době sám rozloží, přirozeně se v těle vyskytuje a nevyvolává tím pádem alergické reakce. Ve farmacii se kromě výše uvedeného přenosu látek kolagen využívá ve formě hydrogelů, povlaků aj. Obecně známé jsou kapsle, injektovatelné hydrogely, houbičky z kolagenu na ošetření a léčbu popálenin a chronických ran. Vyrábí se z něj štíty na rohovku, nanočástice pro transport genů a obvazy napuštěné antibiotiky. Aktuálně se kolagen testuje pro léčbu chronických nemocí jako fibróza plic a jater, sklerodermie a lupénky (Liu et al., 2019; An et al. 2016; Alipal et al., 2021).

2.2 Výroba, vlastnosti a modifikace želatin

Želatina se vyrábí částečnou hydrolýzou kolagenu, jde tedy o polymer přírodního původu. Většinou se vyrábí z vepřových a hovězích tkání, nejčastěji z kůží, kostí, šlach, či cév. Želatina je dobře stravitelná látka a nevyvolává nežádoucí imunitní reakce organismu. V její struktuře se nachází 18 aminokyselin. Charakteristické je pro ni vysoké zastoupení glycinu, prolinu a hydroxyprolinu. Další aminokyseliny jako jsou alanin, serin, lysin, kyselina glutamová a asparagová, arginin, leucin, valin, fenylalanin, threonin, isoleucin, histidin, hydroxylysin, methionin a thyrosin jsou zastoupeny méně. Tryptofan se v želatině jako jediná esenciální aminokyselina nevyskytuje vůbec.

Kromě fragmentu původního bílkovinného řetězce se v želatině vyskytuje voda a minerální látky. Tradiční suroviny pro výrobu želatiny jsou vepřového a hovězího původu, nicméně stále častěji se prosazují další méně známé suroviny rybího či drůbežího původu. Důležitými faktory při výrobě želatiny jsou množství a doba působení hydrolyzujícího činidla, rovněž teplota a čas extrakce a způsob opracování suroviny před samotnou extrakcí. Nejpoužívanějším způsobem hydrolýzy kolagenu je vystavení účinkům kyselin, méně často zásad (Schrieber et al., 2007).

V našem výzkumném týmu jsme se věnovali inovativnímu způsobu opracování kolagenu kuřecího původu (běháky, kosti a šlachy) pomocí proteolytických

enzymů. Tato metoda je pro vstupní surovinu šetrnější, protože se pak pracuje při mírnějších reakčních podmínkách a za použití menších dávek činidla (enzymu), než by bylo potřeba na stejné množství kolagenu při použití kyselin (Mokrejš, 2019).

Extrakce želatiny a její kvalita se hodnotí dvěma základními parametry. Účinností reakce, bezrozměrná hodnota uváděna v procentech, která popisuje množství vzniklé želatiny v porovnání s hmotností kolagenu. Pevnost gelu popisuje kvalitu získané želatiny. Obecně lze říct, že vyšší molekulová hmotnost želatiny odpovídá větší délce bílkovinných řetězců a tím pádem i vyšší pevnosti gelu. Pokud je kolagen hydrolyzován na menší řetězce, nehovoříme už o želatině, nýbrž o kolagenních hydrolyzátech s nízkou pevností gelu (Schrieber et al., 2007).

Želatina je bezbarvá, transparentní látka, bez charakteristické chuti či zápachu. Díky těmto neutrálním senzorickým vlastnostem má značné využití nejen v potravinářství.

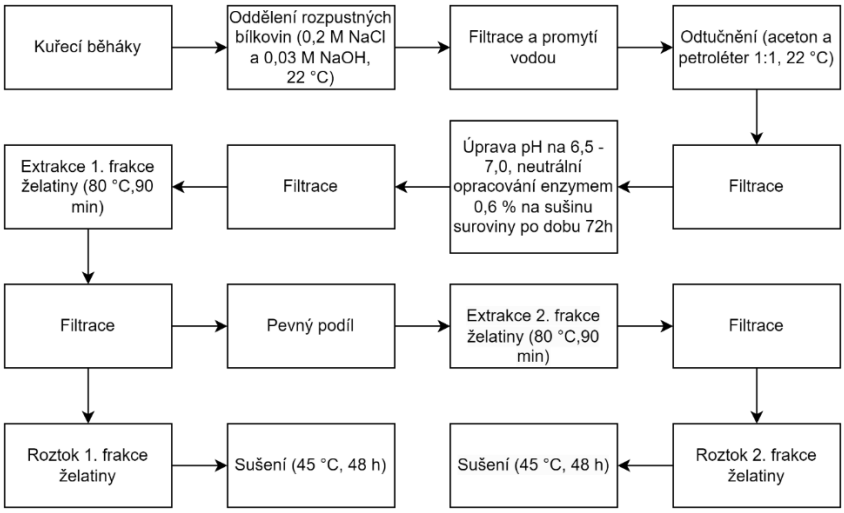
Želatina je schopná tvořit gel, jde o termoreverzibilní proces, kdy ohříváním a ochlazováním je opakovaně schopná přecházet mezi gelem a roztokem. Vlákna v gelu tvoří trojrozměrnou strukturu, která dokáže uvnitř zabudovat velký objem vody. Pevnost želatinového gelu, jeho reologie, stabilita z hlediska teploty a tím pádem i možnosti použití se odvíjí od aminokyselinového složení (Xin et al., 2021; Mrázek et al., 2022).

U kyselého způsobu výroby se surovina očistí, opere a rozřeže na menší kousky. Ty se následně ponoří na 1 až 2 dny do lázně s pH nižším než je 1,5. Surovina se pak omyje vodou, vloží se do varných kádí, kde probíhá samotná extrakce želatiny horkou vodou. Varem dojde k denaturaci a částečné hydrolýze kolagenu. Vzniklý roztok želatiny se přefiltruje, upraví se jeho barva a postupně se suší a upravuje na požadovaný tvar (Haug, 2009).

Alkalickým způsobem se zpracovávají většinou hovězí kůže a zdroje pocházející ze starších jatečních zvířat. Surovina se dostatečně prosolí nebo povápní a rozřeže na menší kousky. Ty se opakovaně máčí ve vápenném mléce o pH 12–13 a propírají vodou. Tento proces trvá přibližně 2–4 měsíce. Tímto způsobem se z tkáně oddělí tuky a rozpustné bílkoviny. Zároveň dochází k bobtnání kolagenu. Následně se kolagen propírá a pH se sníží podle toho, jaké vlastnosti jsou po výsledné želatině požadovány. I v tomto případě dochází k extrakci želatiny horkou vodou, roztok želatiny se od nerozpustného zbytku oddělí filtrací, upraví se jeho barva a vysuší (Ockerman et al. 1999).

U biochemického způsobu se vedlejší drůbeží produkty nejprve rozmělní. Postupným třepáním v roztoku chloridu sodného a roztoku hydroxidu sodného dochází k oddělení rozpustných bílkovin od kolagenu. Oddělení tuku lze docílit hydrolýzou pomocí vhodného enzymu a následným třepáním v acetonu. Místo enzymu je možné kolagen třepat ve směsi ethanolu a petroléteru. Kolagen se rozmělní na menší částice a ve vodném prostředí se nechá reagovat s proteolytickým enzymem. Směs se přefiltruje a pevná složka (hydrolyzovaný kolagen) projde extrakcí horkou vodou. Želatina takto přejde do roztoku a

následnou filtrací je oddělena od nerozpustného podílu a vysuší se. Schéma je znázorněno na obrázku 2.1.



Obr. 2.1: Příklad postupu výroby želatiny

Pro aplikaci želatiny je nutné použití síťovadel či plastifikátorů, aby se dosáhlo potlačení přirozené degradace kolagenu a došlo k vylepšení jejich mechanických vlastností. Při hydrolytickém štěpení dochází ke štěpení esterických a peptidových vazeb. Rychlost štěpení je, kromě pH závislá na teplotě a to tak, že s rostoucí teplotou se rychlost hydrolýzy zvyšuje. Kolagen je za běžných podmínek proti enzymatickému působení poměrně odolný, ale i tak lze najít určité výjimky, které napadají jeho molekulu a tím způsobují jeho degradaci, např. mikrobiální a hmyzí kolagenázy. Náchylnost molekuly kolagenu k širšímu spektru proteolytických enzymů se zvyšuje s rostoucí teplotou. Degradace oxidačními činidly spočívá v reakci sacharidických částí obsažených ve struktuře kolagenu (Peterková et al, 2000).

Pro využití želatiny v medicíně je skvělým předpokladem, že nevyvolává imunitní reakce a dobře se resorbuje. Tato vlastnost je ideální pro vstřebatelné šití, naopak pro implantáty je nežádoucí. Je sice stále důležité, aby nevyvolávaly v organismu imunitní reakce, ale nesmí dojít ke znehodnocení implantátu tím, že bude postupně sorbován v těle. Úkolem síťovadel je zlepšit mechanické vlastnosti implantátu a odolnost vůči degradaci, na druhou stranu je důležité vybrat takové síťovadlo, které nebude pro lidský organismus toxické (Peterková, 2000; Pathak et al., 2000).

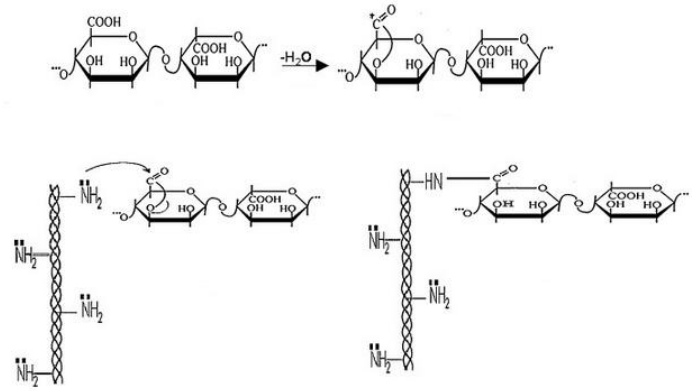
Nejvíce se používá chemického síťování, ovšem lze využít fyzikální postupy či působení enzymů. Další možností zvýšení odolnosti želatiny, především úpravy její křehkosti, je aplikace změkčovadel na bázi polyolů např. glycerol, sorbitol, manitol nebo polyetylenglykol, či polyvinylalkohol (Krochta et al., 2002).

Síťování nejčastěji probíhá ve vodném roztoku chemickou cestou působením aldehydů (formaldehyd, glutaraldehyd), kyselin nebo oxidačními činidly, rovněž také enzymaticky nebo fyzikálně prostřednictvím UV záření (Peterková et al,

2000). Glutaraldehyd je nasycený aldehyd, dobře rozpustný ve vodě, benzenu či ethanolu. Jde o alifatický řetězec pěti atomů uhlíku se dvěma aldehydovými skupinami na jeho okrajích. Glutaraldehyd síťuje želatinu za vzniku Schiffovy báze, pro níž jsou typické vazby –N=CH– .

Formaldehyd reaguje s aminoskupinou vyskytující se v lysinu, přičemž dochází k propojení dvou řetězců proteinu přes methylenové můstky mezi dusíkem aminoskupiny na lysinu a atomem dusíku z peptidové vazby (Peterková et al., 2000).

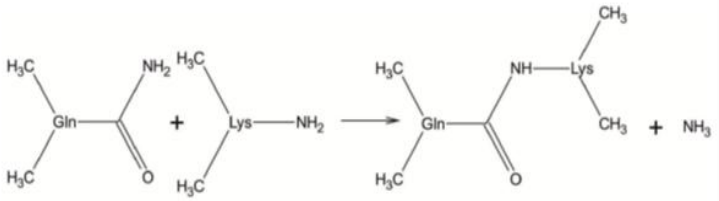
Kyselina alginová je polysacharid, který je vhodný pro použití v potravinářství, medicíně, protože u něj nebyly zjištěny toxické či karcinogenní účinky. Síťování probíhá mezi aminoskupinami v želatině a karboxylovou skupinou kyseliny alginové za vzniku peptidové vazby (Mitra et al., 2011), viz obrázek 2.2.



Obr. 2.2: Schéma síťování alginátem (Mitra et al., 2011)

Genipin se získává z plodů gardénie. Jde o prášek bílé barvy, špatně rozpustný ve vodě, lépe potom v kyslíkatých derivátech organických sloučenin (methanol, ethanol či aceton). V organismu má nízkou toxicitu a jím síťovaný kolagen vykazuje dobré mechanické vlastnosti (Huang et al., 1998).

Enzymové síťování probíhá za účasti transglutaminázy, která způsobuje síťování mezi lysinem a glutaminem (Kieliszek et al., 2014), viz obrázek 2.3.



Obr. 2.3: Schéma síťování transglutaminázou (Kieliszek et al., 2014)

Prostorová struktura mezi vlákny želatiny vzniká mezi amidem v glutaminu a aminoskupinou lysinu. Enzym se nejprve získával z živočišných tkání (zvířecích jater), posléze se přešlo na výrobu mikrobiální cestou (De Carvalho et al., 2004).

Kromě chemických síťovadel a enzymů je možné využít fyzikálních postupů. UV záření vzhledem ke svému povrchovému působení dokáže síťovat pouze tenké vrstvy kolagenu. Principem je tvorba volných radikálů v aromatických aminokyselinách (fenylalanin, tyrozin), z toho vyplývá, že obsah těchto

aminokyselin je limitující faktor pro tuto metodu síťování. Při delším ozařování dochází k tvorbě radikálů kyslíku z přítomných molekul vody, které napadají peptidovou vazbu, čímž dochází k postupnému zhroucení trojrozměrné struktury. Tomuto negativnímu vlivu se dá předejít použitím antioxidantů (Wang et al., 2009). Kolagenní filmy lze ozařovat i β^- zářením (proud elektronů); ani v tomto případě se nejedná o pronikavé záření, takže tato metoda rovněž není vhodná pro síťování kolagenu ve větších vrstvách (Jiang et al., 2006). Odstraněním vody z molekul želatiny se vytvoří mezimolekulární vazby (esterové, amidové). Želatinu je nutné zahřát na více než 90 °C ve vakuu (Haugh et al., 2009).

Plastifikátory (sacharidy, polyoly atd.) snižují křehkost materiálu na bázi želatiny, čímž se stává pružnějším. Kromě síťovacích činidel a změkčovadel je možné do materiálu z želatiny zabudovat další účinné látky (např. antioxidanty nebo látky s antimikrobiálními vlastnostmi), které přinášejí další požadované vlastnosti (Šuput et al., 2015).

2.3 Aplikace želatin

Želatina má rozmanité využití v celé řadě průmyslových odvětví. Používá se v potravinářském průmyslu k ovlivnění texturních vlastností produktu. Gely s nízkou koncentrací želatiny mají vhodné reologické a funkční vlastnosti pro výrobu filmů, nebo povlaků. Naopak gely, které mají vysokou koncentraci, dávají materiály s dobrými mechanickými vlastnostmi, proto se používají v tkáňovém a materiálovém inženýrství. Želatina je jakožto přírodní polymer dobře stravitelná, vzhledem k nízké kalorické hodnotě a obsahu aminokyselin se používá ve výživovém poradenství sportovců, při léčbě cukrovky či pro přenos léků a genů (Alipal et al., 2021; Wangtueai et al., 2009).

Želatina ovlivňuje krystalizaci, má dobré pěnotvorné vlastnosti nebo ji lze použít jako emulgátor a stabilizátor. Toho všeho se dá využít při výrobě celé řady cukrovinek (Schrieber et al., 2007).

Jejích stabilizačních schopností se používá i ve zpracování mléka, kdy vlivem teplotního namáhání se snižuje schopnost kaseinu vázat syrovátku. Želatina tento výpadek účinně kompenzuje. V mražených krémech želatina pomáhá s rovnoměrným rozmístěním ledových krystalů. Už ve velmi malých množstvích stabilizuje našlehanou smetanu a umožňuje vytvořit pěnu ze smetany s menším množstvím tuku (Schrieber et al., 2007).

Ve farmacii se želatina používá na zahušťování kapalných léků, pro lepší přilnavost tablet, distribuci vitamínů nebo v zubním lékařství pro tvorbu gelu. Gel zastavuje krvácení a dokáže krev absorbovat dovnitř. V medicíně se používá pro dobrou kompatibilitu s lidským tělem, protože nevyvolává nežádoucí reakce organismu. V naléhavých situacích ji lze použít jako náhražku krevní plazmy. V chirurgii je želatina používána jako lepidlo (Schrieber et al., 2007).

V kosmetickém průmyslu se používá k výživě pokožky, nehtů a vlasů, ať už ve formě mastí, krémů, ale také jako tablety. Želatina a nižší hydrolyzáty kolagenu

přispívají k hydrataci pokožky, čímž jí navrací pružnost. Kromě toho se používají i v přípravcích na čištění pleti (Schrieber et al., 2007).

Tento výzkum se zaměřil na uplatnění materiálu ze želatiny ve formě povlaků, mikrovláken a filmů.

2.3.1 Povlaky

Slibnou oblastí pro uplatnění želatiny drůbežího původu jsou jedlé povlaky. Je nutné zajistit, aby si potraviny, například maso, zachovaly svou nutriční hodnotu, zdravotní nezávadnost a chuťové vlastnosti. Proto se na něj často aplikují jedlé povlaky na bázi biopolymerů. Povlaky výrazně zlepšují trvanlivost čerstvého masa tím, že snižují vodní aktivitu a redukují míru oxidace lipidů. Pro spotřebitele je vizuálně výrobek lákavější, protože se snižuje tvorba metmyoglobinu, který je příčinou šedozeleného zbarvení masa. Kromě toho, že jsou produkty oxidace lipidů toxické, negativně ovlivňují senzorické vlastnosti, jako je chuť a vůně. Mimo stabilizace barvy masa se zlepšuje i vaznost vody. To znamená, že volná voda z masa neodkapává do obalu. Maso obalené povlakem si uchovává více extraktivních látek, které spolu se snížením nežádoucí oxidace tuků stojí za vznikem typické chuti daného druhu masa (Manjula et al., 2019).

Povlaky se používají k ochraně potravin, dokud je spotřebitel nespotřebuje. U povlaků je kladen velký důraz na ochranu před fyzikálními vlivy, mechanickým poškozením a kvalitní bariérové vlastnosti, kde jde především o míru propustnosti pro vodní páru, kyslík a oxid uhličitý (Arrieta et al., 2014). Povlaky z biopolymerů mají navíc výhodu v tom, že jsou jedlé a snadno biologicky rozložitelné (Audic et al., 2010). Hlavní surovinou pro tvorbu povlaků jsou polymery, nejčastěji jedlé bílkoviny a polysacharidy. Bariérové vlastnosti povlaků na bázi proteinů závisí na množství a uspořádání aminokyselin v proteinu. Z polysacharidů lze pro tvorbu povlaků použít ty, jejichž monosacharidové jednotky jsou spojeny β-(1,4) glykosidickými vazbami. Příklady zahrnují celulózu a její modifikace (hydroxypropylcelulózu, methylcelulózu a karboxymethylcelulózu), chitosan a škrob (Leygonie et al., 2012).

Nejběžnějšími způsoby výroby povlaků jsou rýžování, fluidní lože, sprejování a máčení. Rýžování probíhá ve velkém rotujícím bubnu; roztok povlaku se nastříká do rotujícího bubnu s potahovaným předmětem a díky rotaci bubnu je nanášení potahu rovnoměrné. Při použití fluidního lože se předehřátý předmět umístí do prostoru s rozptýlenými povlakovými částicemi. Aplikace sprejem je lépe kontrolovatelná metoda než použití fluidního lože. Nástřik zajišťuje rovnoměrný nátěr povrchu produktu. Namáčení spočívá v ponoření potraviny do roztoku povlaku. Tato metoda je vhodná pro předměty nepravidelného tvaru (Bourtoom, 2008; Embuscado et al., 2009).

2.3.2 Filmy

Filmy mohou být připraveny pouze z želatiny nebo ve směsi s dalšími biopolymery. Filmy získané z přírodních materiálů jsou snadno odbouratelné, toho lze využít při výrobě obalů potravin a nahradit tak syntetické obaly. Mechanické vlastnosti filmu je nutné upravit síťováním a přidáním plastifikátorů. Výsledný obal musí splňovat bariérové vlastnosti, před světlem či kyslíkem, aby dokázal prodloužit trvanlivost zabaleného výrobku (Thomazine et al., 2005; Suderman et al., 2020; Sancakli et al., 2021). Filmy a z nich odvozené obalové materiály lze připravit různými způsoby, jako je např. natírání, vrstvení, lití nebo extruze. Lití spočívá v tvorbě roztoku rozpuštěním želatiny, přidáním plastifikátorů (změkčovadel) a následným síťováním (Lu et al., 2022).

2.3.3 Vlákna

Polymerní vlákna se vyrábí několika různými způsoby. Mezi nejznámější řadíme zvlákňování z taveniny (meltblown), elektrostatické zvlákňování (electrospinning), tažení z taveniny nebo polymerního roztoku (drawing) a odstředivé zvlákňování (forcespinning/centrifugal spinning).

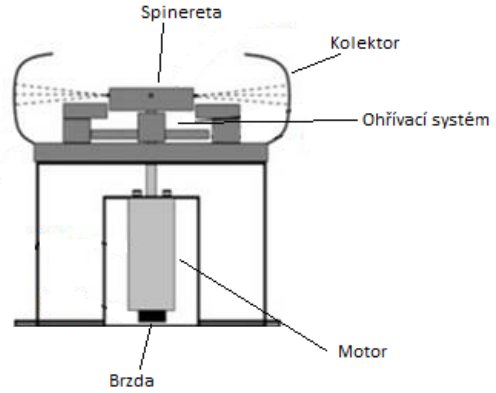
Elektrostatické zvlákňování je proces, jehož produktem jsou vlákna o průměrech mezi 10 nm a 10 μm. Pomocí této technologie můžeme získat vlákna z polymerních roztoků i tavenin z volné hladiny (needleless electrospinning) nebo z jehly (needle electrospinning). Zařízení pro elektrostatické zvlákňování se skládá ze dvou opačně nabitých elektrod, z nichž jedna je v kontaktu s kapalinou, tedy polymerním roztokem či taveninou. Při dosažení kritického elektrického napětí dochází k tvorbě tzv. Taylorova kuželu nebo více kuželů. Konečnou podobu vláken ovlivňují parametry, jako jsou například tvar a uspořádání elektrod, jak zvlákňovací elektrody, tak kolektoru. Dále vlastnosti zvlákňovaného roztoku jako jeho viskozita, povrchové napětí, elektrická vodivost aj. Dalším faktorem ovlivňujícím podobu vláken jsou také okolní podmínky prostředí, jako je teplota a vzdušná vlhkost (Xue et al., 2019)

Principem tažení je výroba vláken z polymerního roztoku nebo taveniny pomocí mikropipety o průměru několika mikrometrů. Mikropipeta se pohybuje různou rychlostí v závislosti na použitém polymeru či polymerním roztoku. Vzniklé nanovlákno se ukládá na povrchu podložky v místě kontaktu s mikropipetou (Ramakrishna, 2005).

Meltblown je technologie, při které dochází k tvorbě vláken pomocí horkého vzduchu proudícího kolem zvlákňovacích trysek vysokou rychlostí. Nejprve dochází k roztavení polymeru pomocí tavícího extrudéru. Tavenina poté prochází dávkovacím zubovým čerpadlem do zvlákňovací hubice, odtud je strhávána proudem horkého vzduchu a formována do tvaru vlákna. Meltblown je charakteristický svým velkým rozsahem vyrobitelných průměrů vláken a kvůli nutnosti ohřevu velkého množství vzduchu také svou energetickou náročností (Drabek et al., 2019).

Vlákna želatiny se běžně připravují odstředivým nebo elektrostatickým zvlákňováním. První zmíněná metoda je založena na principu tvorby vláken pomocí odstředivé síly, která na želatinu působí vlivem vysoké rychlosti otáčení spinerety. Právě působením odstředivé síly vznikají vlákna, která se shromažďují na kolektoru (Sarkar et al., 2010).

Podle konstrukce spinerety hovoříme o jehlovém a bezjehlovém zvlákňování. Spinereta pro jehlové zvlákňování obsahuje rezervoár pro zvlákňovaný polymer, který z něj odstředivou silou prochází jehlami. Ty jsou umístěny po obvodu spinerety. Bezjehlová spinereta neobsahuje žádný rezervoár nebo otvory, kterými prochází roztok polymeru. Jedná se o disk, na jehož střed se aplikuje roztok želatiny. Vlivem rychlých otáček se polymer od středu posouvá k jeho okrajům a na disku se vytvoří tenký polymerní film. Polymer se rotací disku nerovnoměrně přesouvá za jeho okraje, kde vytváří tzv. prsty. Přes prsty prochází další roztok za tvorby vláken, které se hromadí na kolektoru (Weitz et al., 2008).



Obr. 2.4: Schéma jehlového odstředivého zvlákňování (Sarkar et al., 2010)

2.4 Zhodnocení současného stavu problematiky

Tradičními surovinami pro výrobu želatin jsou vepřové a hovězí vedlejší produkty, nicméně postupně se prosazují další méně známé suroviny rybího či drůbežího původu.

Spotřeba drůbežího masa na obyvatele v České republice každým rokem roste. V roce 2020 to bylo téměř 30 kg drůbežího masa na osobu za rok. Dlouhodobý trend naznačuje, že tato hodnota se bude nadále zvyšovat (Český statistický úřad, 2023). Nicméně s rostoucí spotřebou masa se zvyšuje i množství vedlejších produktů. Jedná se především o vnitřnosti, hlavy, běháky, krev, kůže, peří a kosti.

I přes vysoký obsah cenných bílkovin se vedlejší produkty tradičně používaly pouze do krmných směsí nebo byly spalovány bez většího užitku (Míková 2013). Výroba želatin je jednou z možností, jak tyto vedlejší produkty, jejichž množství narůstá, využít a tím přispívat k udržitelnému rozvoji.

Kromě netradiční suroviny je tento výzkum unikátní i ve způsobu získávání želatiny hydrolýzou enzymem. Doposud nejrozšířenějším způsobem je kyselá, méně častěji zásaditá hydrolýza, které ale nejsou dostatečně šetrné ke vstupní surovině, ani z pohledu životního prostředí.

3. METODY PŘÍPRAVY A TESTOVÁNÍ PŘIPRAVENÝCH MATERIÁLŮ

Řešený výzkum disertační práce se zabývá možnostmi uplatnění želatiny získané z netradičního zdroje – vedlejších produktů jatečného zpracování drůbeže.

Z želatiny drůbežího původu získané biochemickou cestou byly vytvořeny povlaky, filmy a vlákna. Materiály byly testovány různými instrumentálními a pozorovacími metodami za účelem ověření, zda disponují stejnými či lepšími vlastnostmi, jako ty vyrobené z želatiny z tradičních zdrojů.

3.1 Zpracování kuřecích běháků na želatinu

Separace rozpustných proteinů (albuminů, globulinů) byla provedena dle k postupu z dříve publikované práce, jen s drobnými úpravami (Du et al., 2013). Materiál byl odtučněn ve směsi ethanolu a petroletheru v poměru 1:1. Surovina byla protřepána s výše uvedenou směsí v poměru 1:6 po dobu tří dnů, přičemž rozpouštědlo se měnilo každých 24 hodin. Zbývající materiál byl sušen čtyři dny při teplotě 35–40 °C. Surovina byla smíchána s destilovanou vodou v poměru 1:10 a pH bylo upraveno na 6,5–7,0. Dále byl přidán proteolytický enzym Protamex v množství 0,4 % na sušinu kolagenu a směs byla třepána po dobu 15 hodin.

Promytý materiál byl smíchán s destilovanou vodou v poměru 1:8 a krátce povařen. Želatina byla extrahována po zahřívání směsi na teplotu 65 °C po dobu 4 hodin. Roztok želatiny z první frakce se oddělil od pevného zbytku tkáně. Roztok byl přiveden k varu po dobu 5 minut a sušen při 45 °C po dobu přibližně dvou dnů. K nerozpuštěnému zbytku byla přidána destilovaná voda v poměru 1:7. Druhá frakce byla extrahována ze směsi při zahřívání na teplotu 85 °C po dobu 4 hodin. Želatinový roztok druhé frakce se filtrací opět oddělil od nerozpuštěného podílu, povařil se po dobu 5 minut a sušil při 45 °C dva dny.

Obsah jednotlivých aminokyselin v námi extrahované želatině se výrazně nelišil od složení komerčně dostupných želatin hovězího a vepřového původu, včetně obsahu hydroxyprolinu, který je pro želatinu typický a významně ovlivňuje vlastnosti želatiny. V případě rybí želatiny je jeho množství znatelně nižší.

3.2 Příprava materiálů

Povlak byl připraven rozpuštěním 3 %, 5 %, 8 % (w/v) želatiny ve vodě za stálého zahřívání (70 ± 1,0 C po dobu 20 min) a míchání. Po rozpuštění želatiny před ukončením zahřívání byl přidán glycerol v koncentraci 10 %, nebo 20 % a glutaraldehyd v koncentraci 1 % na množství želatiny.

Vzorky masa byly zváženy, zabaleny a zbaveny přebytečného vzduchu (-0,6 bar). Zabalené vzorky byly zmrazeny při teplotách -18 ± 2 °C, nebo -80 ± 2 °C a

skladované při této teplotě po dobu dvou týdnů. Část vzorků byla rozmražena v lednici (R) při teplotě 4 ± 2 °C a druhá polovina vzorků byla jeden po druhém rozmražena v mikrovlnné troubě (MW) při výkonu 100 W po dobu 4 min (výpočet požadovaného času byl vypočítán troubou automaticky v závislosti na hmotnosti masa). Následně došlo opět ke zvážení vzorků, aby se zjistit úbytek hmotnosti po rozmrazení masa a vliv povlaku na snížení této ztráty.

Vlákna byla připravena na přenosném laboratorním zařízení využívajícím odstředivý bezjehlový princip výroby vláken. Zařízení se skládá z kruhového kolektoru s poloměrem 13 cm. Uprostřed je spinereta ve formě plochého disku o poloměru 2,5 cm. Proces tvorby vláken probíhal následujícím způsobem: nejprve byl zapnut laboratorní zdroj napětí, který byl připojen ke stejnosměrnému motoru a poháněl spineretu. Na laboratorním zdroji bylo nastaveno požadované elektrické napětí ve výši 4 V, které odpovídá 7 172 ot/min. Pomocí plastové stříkačky byl po kapkách dávkován polymerní roztok přímo do středu rotující diskové spinerety. Odstředivé zvlákňování na bezjehlovém zařízení probíhalo při teplotě 21,9 °C a relativní vlhkosti 33,1 %. Vlákna shromážděná na kolektoru se nejprve nechala ztuhnout a poté byla sejmuta. Polovina z nich byla na tři dny místěna do exikátoru, v němž došlo k síťování parami glutaraldehydu.

Želatinové filmy byly připraveny litím 20% roztoku želatiny do forem o rozměru 7x12,5 cm. Do roztoku ze 4 g želatiny byl přidaný plastifikátor (glycerol) v množství 30 %, nebo 40 % k hmotnosti želatiny. Do celkové hmotnosti 20 g byl doplněn vodou. Směs byla ve vodní lázni o teplotě 35 °C míchána do rozpuštění a po rozlití do formy sušen při teplotě 35 °C po dobu 24 hodin.

Filmy byly síťovány na zařízení Xenotest ALPHA+. Vzorky byly ozařovány xenonovou lampou při teplotě 35 °C a relativní vlhkosti 50 %. Expozice UV záření za 1 hodinu byla 215 kJ/m^2.

Filmy byly vystaveny UV záření pouze z jedné strany. Vzorky byly odebírány v intervalech 0, 1, 2, 4, 8 a 16 hodin a testovány.

3.3 Charakterizace produktů

3.3.1 Hmotnostní ztráty

Připravené steaky byly jednotlivě zváženy na dvě desetinná místa před zmražením a po rozmražení. Úbytek hmotnosti (%) byl stanoven z hmotností masa před zmrazením a po rozmrazení podle rovnice:

$$\mathrm{WL} = \frac{m_F - m_D}{m_F} \cdot 100 \qquad (3.1)$$

WL je ztráta hmotnosti (%), m_F je hmotnost před zmrazením, m_D je hmotnost po rozmrazení.

3.3.2 Měření pH, texturních vlastností a barvy

pH bylo nejprve měřeno u masa chlazeného bez ochranného želatinového obalu. Po rozmrazení testovaných vzorků bylo změřeno pH každého vzorku.

Texturní vlastnosti byly měřeny Warner-Bratzlerovým nožem. Vzorky krájeného masa o rozměrech 2,0x2,0x1,5 cm byly umístěny na stůl texturometru TA-XT Plus tak, aby nůž byl schopen řezat vzorek kolmo ke směru vláken. Rychlost nože byla nastavena na 1 mm/s.

Barva masa před zmražením a po rozmražení byla měřena v trojrozměrném prostoru CIE L*a*b*. Souřadnice L*a*b* popisují barvu jako bod v trojrozměrném prostoru. Vzorky byly analyzovány na Ultrascan PRO (HunterLab, Reston, VA, USA) se světelným zdrojem d65 a průměrem 0,19".

3.3.3 Charakteristika funkčních skupin a morfologie

U jednotlivých vzorků byla pomocí infračerveného spektroskopu s Fourierovou transformací Bruker ALPHA změřena spektra metodou ATR s platinovým krystalem. Vzorky byly vystaveny infračervenému světlu v intervalu vlnových délek od 400 cm^{-1} do 4000 cm^{-1}. Celkově bylo během jednoho měření pořízeno 32 snímků.

Vzorky byly zobrazeny pomocí elektronového skenovacího mikroskopu Phenom XL-G2 při zvětšení 330x. Použité urychlovací napětí bylo 10 kV. Pro lepší zobrazení byly vzorky naprášeny tenkou vrstvou směsi zlata a paladia.

3.3.4 Bobtnání a rozpustnost

Vzorky vláken o velikosti 1,5 cm x 1,5 cm byly zváženy a překryty 20 ml demineralizované vody po dobu 10 min, 30 min, 60 min, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h a 48 h při laboratorní teplotě. Po vyjmutí z nádoby byly opět zváženy a vloženy do sušárny o teplotě 60 °C na 2 hodiny a opět zváženy. Index bobtnání je stanoven jako podíl hmotnosti po vyjmutí z nádoby s vodou a výchozí hmotnosti vzorku. Rozpustnost je rovněž bezrozměrná veličina uváděná v procentech vypočítaná jako podíl úbytku hmotnosti mezi výchozí a konečnou hodnotou.

V případě filmů se vzorky sušily při 35 °C po dobu 24 hodin. Vysušené vzorky byly zváženy, umístěny do destilované vody na 0,5, 1, 2, 4, 10, 24, 36, 48, 96, 168 a 216 hodin. Objem vzorku byl vypočítán z rozměrů vzorku, které byly stanoveny pomocí digitálního posuvného měřítka. Stupeň nabobtnání neboli bobtnavost byl vypočítán jako narůst objemu nabobtnalého vzorku vztažen na objem původního nenabobtnalého.

3.3.5 Paropropustnost

Pro měření propustnosti pro vodní páry byly připraveny vzorky filmů s průměrem cca 3,8 cm. Vzorky nebyly nijak sušeny, byly po ukončení UV síťování umístěny do exikátoru a ponechány v něm do provedení testu. Do kalíšku s otvorem bylo naváženo přibližně 25 g vysušeného silikagelu a následně položen

vzorek upevněný mezi dvě gumová těsnění tak, aby překrýval celý otvor. Kalíšek byl uzavřen víčkem s otvorem. Silikagel byl sušen při teplotě 150 °C po dobu 20 hodin. Pro každý čas degradace byl připraven jeden vzorek. Připravené kalíšky byly vloženy do klimatické komory, která byla nastavena na teplotu 37 °C s relativní vlhkostí 50 %. Vzorky byly z komory vyjmuty a váženy v časovém intervalu 24 hodin, kdy byl pozorován přírůstek jejich hmotnosti. Naměřené výsledky byly vyneseny do grafu závislosti hmotnosti na čase v klimatické komoře. Propustnost pro vodní páry q byla vypočítána podle rovnice:

$$q = \frac{240 \cdot \Delta m}{S \cdot \Delta t} \qquad (3.2)$$

q … propustnost pro vodní páry [$g \cdot m^{-2}$]
Δm … rozdíl hmotnosti za dobu měření [mg]
S … plocha testovaného vzorku [cm^2]
Δt … doba měření [h]

3.3.6 Termická analýza

Diferenciální skenovací kalorimetr Mettler Toledo DSC1 se využil pro sledování tepelných vlastností připravených vzorků. Sledovanými parametry při analýze jsou teplota skelného přechodu a teplota tání. Pro testování byly připraveny vzorky s hmotností cca 5 mg. Jako reference se použila prázdná miska. Měření probíhalo v atmosféře dusíku s průtočným množstvím 20 ml/s. Profil měření teploty sestával z udržování na -25 °C po dobu 5 minut a zahřívání z -25 °C na 120 °C rychlostí 10 $°C \cdot min^{-1}$. Experiment byl proveden třikrát.

Termogravimetrii (TGA) neboli měření úbytku hmotnosti v závislosti na teplotě byly podrobeny vzorky o hmotnosti cca 10 mg. Testování probíhalo na přístroji Netzsch STA449 F1 Jupiter v simultánním tepelném analyzátoru. Samostatné měření probíhalo konstantním ohřevem rychlostí 10 $°C \cdot min^{-1}$ z teploty 25 na 600 °C v atmosféře argonu.

4. VÝSLEDKY

4.1 Povlaky

Detaily celého výzkumu jsou uvedeny v publikovaném článku A ze seznamu prací publikovaných autorem této práce.

4.1.1 pH masa

pH, které bylo naměřeno před začátkem experimentu, bylo 5,12 ± 0,05. Hodnoty pH vzorků s povlakem a bez povlaku v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování se pohybovaly v intervalu od 4,65 do 5,27.

Napříč všemi vzorky se u těch, které byly zmraženy na -18 °C a rozmraženy v lednici, prokázalo, že kombinace 3% želatinového povlaku měla největší vliv na pH. Při teplotě mrazení -18 °C a rozmrazování v chladničce bylo nejnižší pH 4,65 ± 0,22 pro vzorek, na který byl nanesen ochranný povlak s 3% koncentrací želatiny a 20 % glycerolu. Naopak nejvyšší pH bylo 5,09 ± 0,22 u vzorku s povlakem tvořeným z 5 % želatiny a 20 % glycerolu. Steaky, které byly zmraženy na -80 °C a rozmraženy v lednici, vykazovaly nejnižší pH 5,11 ± 0,01. V tomto případě se jednalo o vzorek s povlakem tvořeným roztokem 5% koncentrace želatiny s 20 % glycerolu. Nejvyšší hodnota byla 5,20 ± 0,08, kde ochranný povlak tvořily 3 % želatiny spolu s 10 % glycerolu.

Hodnoty pH masa zmrazeného na -18 °C a rozmraženého v mikrovlnné troubě se lišily od hodnot masa zmrazeného při stejné teplotě a rozmraženého v chladničce. Nejnižší pH bylo naměřeno na vzorku potaženém 3% želatinou a 10 % glycerolu. Nejvyšší pH bylo u steaku s ochranným povlakem skládajícím se z 5 % želatiny a 20 % glycerolu. Stejné pH bylo naměřeno na vzorku, na který nebyl aplikován žádný želatinový povlak.

U poslední metody zmrazování a rozmrazování (-80 °C, MW) byla nejnižší hodnota pH 5,14 ± 0,02 zjištěna u vzorku s ochranným povlakem stejného složení jako na vzorku zmrazeném na -18 °C a rozmraženém v mikrovlnné troubě. Složení tohoto povlaku bylo 3 % želatiny a 10 % glycerolu. Naopak nejvyšší pH bylo ve vzorku s 3% koncentrací želatiny a 20 % glycerolu. Pouze tři vzorky měly hodnoty pH nižší než 5,00, ostatní byly kolem pH masa, které bylo měřeno před začátkem experimentu. Hodnoty pH povlaku se síťovacím činidlem a vzorků bez povlaku se pohybovaly v intervalu 4,90 až 5,39. Hodnoty pH vzorků, které byly rozmraženy v mikrovlnné troubě, byly stejné jako předchozí. Nejnižší hodnota pH v této skupině vzorků byla stanovena na 5,06 ± 0,08 a nejvyšší 5,25 ± 0,03. pH masa v ostatních vzorcích se nijak neliší od pH naměřeného z první části experimentu.

Jaberi et al. (2019) zkoumali vliv vakua a modifikované atmosféry na technologické vlastnosti masa. Hodnoty pH masa se pohybovaly mezi 5,65 a 5,75. Naměřené hodnoty našich vzorků jsou mírně kyselejší, ale rozdíl není významný a hodnoty odpovídají použitému druhu výsekového masa. Cheng et al. (2019) zkoumali, jak opakované zmrazování a rozmrazování ovlivňuje kvalitu masa z

hlediska množství a distribuce vody. Jednou ze sledovaných charakteristik bylo pH, jehož hodnota se po prvním rozmrazení pohybovala kolem 5,73. To je vyšší hodnota než v tomto experimentu, ale důležitý je stejný trend, který ukázal, že po prvním rozmrazení se hodnota pH výrazně nelišila od hodnoty zjištěné před zmrazením. Sales et al. (2020) porovnávali technologické parametry, jako je úbytek hmotnosti po rozmrazení, pH, WBSF, reprezentované střihovou silou, a barvou u chlazeného, rozmraženého a radiačně ošetřeného hovězího masa. I v tomto případě byly hodnoty pH obecně vyšší než v této studii, ale ani zde se pH masa před zmrazením a po rozmrazení výrazně nelišilo. Rahman et al. (2015) zkoumali vliv opakovaného zmrazování a rozmrazování na chemicko-fyzikální parametry zadního hovězího masa. Před zmrazením mělo maso pH 6,15 a po prvním cyklu zmrazení a rozmrazení se jeho množství výrazně nezměnilo (pokles o 0,2). Kim et al. (2017) hodnotili vliv zrání masa a cyklů zmrazování a rozmrazování na barvu a další fyzikálně-chemické a enzymatické vlastnosti dvou hovězích svalů (Mm. gluteus medius a biceps femoris). Mezi testovanými parametry byly i hodnoty pH. Ani v tomto případě se však u masa před a po zmrazení nepotvrdila výrazná odchylka v jeho hodnotě. Aroeira et al. (2016) testovali vliv na křehkost zmrazení masa mladých býků Nellore a Aberdeen Angus před zráním. Mezi sledované parametry patřilo pH, nicméně rozdíly v hodnotách i zde byly před zmrazením a po rozmrazení minimální (pokles o 0,03).

4.1.2 Textura masa

Z texturních vlastností byla stanovována střihová síla masa pomocí Warner-Bratzlerova nože (WBSF). Získané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.1 a jsou rozděleny podle typu použitého povlaku, teploty zmrazování a způsobu rozmrazování. Smyková síla před začátkem experimentu byla 33,05 ± 7,77 N.

Tabulka 4.1 Hodnoty WBSF [N] u vzorků s povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování.

Kombinace	**Želatina/glycerol**				
	3/10	**3/20**	**5/10**	**5/20**	**0/0**
-18 °C/R	32,90±6,49	31,71±4,71	46,57±2,44	35,93±9,26	15,14±4,82
-80 °C/R	35,91±9,38	35,91±8,24	35,53±9,48	34,74±9,04	45,59±9,42
-18 °C/MW	37,28±8,52	33,48±7,70	36,99±9,88	38,48±7,16	31,87±9,67
-80 °C/MW	34,75±9,23	40,46±9,68	51,12±9,20	46,73±9,35	40,03±9,40

R… lednice; MW …mikrovlnná trouba

Po rozmrazení by měla být střihová síla masa nižší než před zahájením pokusu, protože zmrazením se narušuje struktura masa. Naměřené hodnoty tento předpoklad nepotvrdily. U vzorků zmrazených při teplotě -18 °C a rozmražených v chladničce byla nejnižší střihová síla naměřena u vzorku bez želatinového povlaku. Naopak nejvyšší střihová síla byla naměřena u steaku s ochranným

povlakem, který obsahoval 5 % želatiny a 10 % glycerolu. Opačný efekt lze zase pozorovat u hodnot střihové síly získaných ze vzorků zmrazených při -80 °C a rozmražených v chladničce. Nejnižší střihová síla byla stanovena pro 5% želatinový povlak s 20 % glycerolu. Nejvyšší hodnota, která překročila 45,586 ± 16,421 N, byla naměřena na vzorku bez povlaku.

Maso zmrazené při teplotě -18 °C, které bylo rozmraženo v mikrovlnné troubě, vykazovalo přibližně stejné hodnoty střihové síly jako v předchozím případě. Nejnižší hodnota byla opět jako v prvním případě u slepého vzorku, tedy u steaku, který nebyl potažen želatinovým povlakem. Nejvyšší střihová síla byla zaznamenána u vzorku s povlakem tvořeným z 5 % želatiny a 20 % glycerolu. Nejnižší hodnota střihové síly vzorků, které byly zmraženy na -80 °C a rozmraženy v mikrovlnné troubě, byla naměřena u masa s 3% želatinovým povlakem, ve kterém bylo méně glycerolu, konkrétně 10 %. Hodnota, která přesáhla 51 N, byla nejen nejvyšší hodnotou při tomto způsobu zmrazování a rozmrazování, ale byla také nejvyšší ze všech měření. Hodnoty mohou být ovlivněny strukturou masa, což znamená, že maso může v určitých částech obsahovat tvrdší tkáně, a proto může být měřený vzorek tužší než ostatní vzorky. Ze získaných měření nelze jednoznačně tvrdit, že želatinové povlaky ovlivnily střihovou sílu masa.

Tabulka 4.2 ukazuje hodnoty WBSF pro potažené (s přídavkem síťovacích činidel) a nepotažené vzorky (0/0/0) a je rozdělena podle teploty zmrazování a způsobu rozmrazování.

Tabulka 4.2 Hodnoty WBSF [N] u vzorků se zesíťovaným povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování.

Kombinace	**Želatina/glycerol/glutaraldehyd**				
	8/10/1				**0/0/0**
-18 °C/R	21,50±7,11	22,69±8,41	23,61±1,47	33,76±9,05	24,98±4,36
-80 °C/R	26,32±7,61	20,77±6,46	29,48±12,79	25,98±4,03	30,87±8,34
-18 °C/MW	22,41±3,46	23,40±8,29	47,45±20,28	25,10±5,79	29,36±4,48
-80 °C/MW	26,68±11,01	37,29±14,11	29,77±5,60	28,69±8,86	27,21±7,39

R… lednice; MW…mikrovlnná trouba

U tohoto souboru byly zjištěné hodnoty obecně nižší než v předchozí tabulce a také nižší ve srovnání se střihovou silou před začátkem experimentu. Není patrná závislost střihové síly na použití povlaku nebo způsobu zmrazování a rozmrazování vzorků. Získané hodnoty se pohybovaly od 20,77 ± 6,46 N do 47,45 ± 20,28 N, přičemž obě extrémní hodnoty byly zjištěny u vzorku s povlakem. Záleželo spíše na struktuře zkušebního vzorku než na zkoumaném povlaku.

Cama-Moncunill et al. (2020) ukazují, že hodnota střihové síly masa měřená Warner- Bratzlerovým nožem je optimální v rozmezí 40–45 N. Nižší hodnoty jsou typické pro maso jemné, křehké a správně vyzrálé. V experimentu se hodnoty síly získané měřením pomocí Warner-Bratzlerova nože pohybovaly v rozmezí 30 až

50 N. Cheng et al. (2019) na rozdíl od naší studie, pozorovali trend zvyšování střihové síly masa po prvním rozmrazení; nárůst však mohl být způsoben jiným druhem masa. Sales et al. (2020) zjistili u chlazeného masa, že hodnota střihové síly je téměř dvojnásobná ve srovnání s nejvyšším výsledkem v naší studii, zatímco po rozmrazení se střihová síla mírně snížila. Kim et al. (2017) ve své studii dospěli k závěru, že by se střihová síla měla snížit narušením struktury svalových vláken. Kromě účinků zmrazování a rozmrazování porovnávala tato studie také vliv zrání masa. V Aroeira et al. (2016) se hodnoty před zmrazením pohybovaly kolem 60 N a po rozmrazení se střihová síla snížila jen nepatrně. Tyto hodnoty síly byly odlišné ve srovnání s naší studií. Důvodem tohoto rozdílu může být skutečnost, že používali nezralé maso, které je obecně tužší.

Na základě získaných hodnot nebyl pozorován žádný negativní vliv povlaku na texturní vlastnosti masa.

4.1.3 Barva masa

Získané barevné hodnoty podle prostoru definovaného jasem a barevnými osami a* a b* jsou uvedeny v tabulce 4.3 a seřazeny podle typu použitého povlaku, teploty mražení a způsobu rozmrazování. Hodnoty barev před zmražením pro jas byly 39,36 ± 0,79, poloosa a* 12,88 ± 0,89 a poloosa b* 7,09 ± 0,62.

Nebyl pozorován negativní vliv povlaku (všech kombinací) na změnu barevných souřadnic povlaku na změny barvy.

Tabulka 4.3 Hodnoty barvy u vzorků s povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování.

Kombinace		**Želatina/glycerol**				
		3/10	**3/20**	**5/10**	**5/20**	**0/0**
-18 °C/R	L*	25,97±0,63	21,16±0,50	23,13±2,25	26,99±2,18	23,91±1,05
	a*	17,20±1,72	20,99±1,02	18,31±3,67	16,41±2,06	20,36±1,86
	b*	18,61±1,10	18,81±1,41	18,19±0,45	20,83±2,16	20,72±0,99
-80 °C/R	L*	25,97±0,63	20,25±1,03	24,57±0,90	22,56±0,83	23,21±1,14
	a*	16,51±1,56	20,25±1,24	24,57±0,90	22,76±1,73	23,45±1,19
	b*	16,72±1,22	21,73±0,81	20,11±1,24	23,08±0,51	22,52±0,72
-18 °C/MW	L*	29,02±0,87	25,87±1,18	21,31±0,69	24,35±1,85	23,61±2,12
	a*	17,47±0,48	18,52±1,21	25,63±1,45	22,00±4,36	19,95±1,79
	b*	19,38±0,46	18,47±1,52	24,51±0,89	21,93±3,59	19,14±1,32
-80 °C/MW	L*	27,75±1,67	23,39±1,23	24,31±1,40	22,00±2,41	24,24±0,78
	a*	16,91±1,58	21,84±2,48	17,45±2,88	20,61±3,24	19,83±1,47
	b*	18,27±1,05	20,29±3,29	18,85±1,75	20,93±2,16	20,03±1,16

R… lednice; MW …mikrovlnná trouba

Hodnoty jasu se pohybovaly v intervalu od 20 do 28, v případě parametru a* to bylo od 16 do 26 a parametru b* od 16 do 25.

Tabulka 4.4 ukazuje barevné hodnoty pro vzorky se zesíťovaným povlakem a vzorky bez povlaku (0/0/0).

Tabulka 4.4 Hodnoty barvy u vzorků se zesíťovaným povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování.

Kombinace		**Želatina/glycerol**				
		8/10/1				**0/0/0**
-18 °C/R	L*	25,97±0,63	29,02±0,87	21,16±0,49	25,87±1,18	23,13±2,25
	a*	17,20±1,72	17,47±0,48	20,99±1,02	18,52±1,21	18,31±2,67
	b*	18,61±1,10	19,38±0,46	18,81±1,41	18,47±1,52	18,19±0,46
-80 °C/R	L*	25,97±0,63	29,02±0,87	21,16±0,49	25,87±1,18	23,13±2,25
	a*	16,51±1,56	20,25±1,24	18,03±1,57	22,76±1,73	23,45±1,19
	b*	16,72±1,22	18,27±1,05	21,73±0,81	20,29±3,29	22,52±1,24
-18 °C/MW	L*	21,31±0,69	26,99±2,18	24,35±1,85	23,91±1,05	23,61±2,12
	a*	25,63±1,45	16,41±2,06	22,00±4,36	22,35±1,86	19,95±1,79
	b*	24,50±0,89	20,86±2,16	21,93±3,59	20,72±0,99	19,14±1,32
-80 °C/MW	L*	24,31±1,40	22,56±0,83	22,00±2,41	23,21±1,14	24,24±0,78
	a*	17,45±2,88	22,76±1,73	20,61±3,24	23,45±1,19	19,80±1,47
	b*	18,55±1,75	23,08±0,51	20,93±0,76	22,52±0,76	20,03±1,16

R… lednice; MW …mikrovlnná trouba

Ani ve druhém souboru, který porovnával vzorky se síťovaným povlakem a bez něj, nebyl vliv povlaku na hodnotu všech tří parametrů popisujících barvu patrný.

Podle Aroeira et al. (2016) by měl být jas rozmraženého masa 45,15 ± 2,49. Vliv povlaku na barvu masa lze vyloučit, protože jas je u rozmraženého masa nižší, ať už bylo povlakem chráněno nebo ne. Spíše, než želatinový povlak hrály roli oxidační barevné změny myoglobinu. Ve stejné studii se uvádí průměrná hodnota a* rozmraženého masa v intervalu 15–21. V tomto experimentu hodnota a* spadala do tohoto intervalu a pouze v některých případech byla vyšší než uvedený interval. Vyšší hodnoty se však vyskytly u vzorku jak s povlakem, tak i bez něj. Autoři také uvádějí, že optimální hodnota b* rozmraženého masa je 15. V tomto experimentu byla hodnota b* vyšší u všech rozmražených vzorků. Vliv povlaku nebyl ani v tomto případě pozorován, protože hodnoty žlutomodrých odstínů byly podobné jako u vzorků s povlakem i bez něj.

Sales et al. (2020) zjistili, že hodnoty získané před a po rozmrazení se lišily jen minimálně, a to poklesem, což je opačný trend než v naší studii. Cheng et al. (2019) změřil jas vzorku před zmrazením na přibližně 50; po rozmrazení jas klesl na 45. Hodnota a* mírně poklesla, zatímco b* ukazující polohu na ose mezi modrou a žlutou zvýšilo svou hodnotu hlouběji do žlutého spektra. Kim et al. (2017) pozorovali kromě jiných vlastností i změnu barvy na povrchu masa. Ze

získaných hodnot nezjistili žádné výrazné barevné změny vlivem zmrazování a rozmrazování masa.

4.1.4 Hmotnostní ztráty

Získané hodnoty hmotnostních ztrát jsou uvedeny v tabulce 4.5 a rozděleny podle typu použitého povlaku, teploty zmrazování a způsobu rozmrazování.

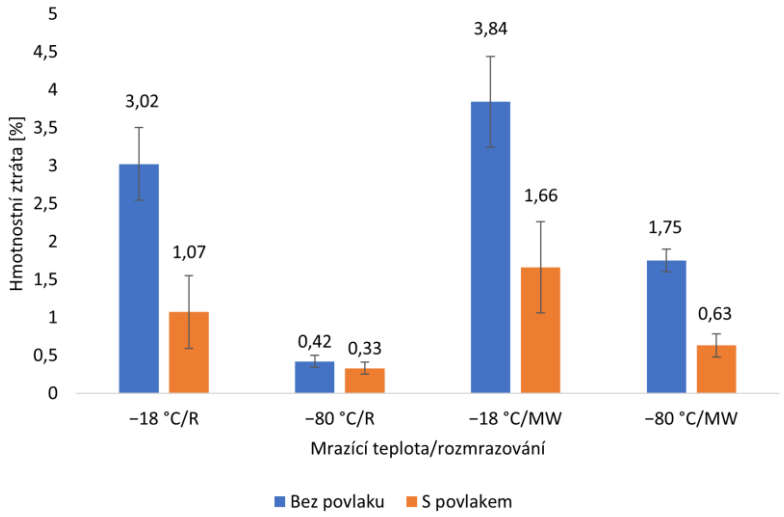
Tabulka 4.5 Úbytek hmotnosti (%) masa po rozmrazení s povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování.

Kombinace	Želatina/glycerol				
	3/10	3/20	5/10	5/20	0/0
-18 °C/R	0,65	0,54	0,81	0,88	0,31
-80 °C/R	0,26	0,39	0,33	0,49	0,24
-18 °C/MW	2,20	2,65	3,37	2,61	1,51
-80 °C/MW	1,11	1,53	1,32	4,18	0,67

R… lednice; MW …mikrovlnná trouba

Největší úbytek masa zmrazeného při teplotě 18 °C a pomalu rozmrazeného v chladničce byl pozorován u vzorku s 5 % želatiny a 20 % glycerolu. Naopak k nejnižší ztrátě došlo u slepého vzorku, na který nebyl žádný povlak. Při rychlém zmrazování a pomalém rozmrazování lze očekávat jen mírné úbytky hmotnosti. V této části experimentu byl největší úbytek hmotnosti pozorován u vzorku s povlakem ze 3 % želatiny a 10 % glycerolu. K nejnižšímu úbytku hmotnosti došlo opět u vzorku, na který nebyl nanesen ochranný povlak. Větší ledové krystaly vznikly při pomalém zmrazování. Pokud se maso rychle rozmrazí, v tomto případě rychle tají velké krystalky ledu, což narušuje strukturu masového vlákna a vede k většímu úbytku hmotnosti masa. Celkově bude úbytek hmotnosti při jakémkoli rychlém rozmrazování vždy větší ve srovnání s pomalým rozmrazováním. Proto jsou ztráty hmotnosti u této sady vzorků vyšší než u vzorků předchozích. Zmrazování při nižší teplotě nemělo za následek tak velké ztráty jako pomalé mražení. Největší pokles byl naměřen u vzorku s 5 % želatiny a 20 % glycerolu. U vzorku bez potahu došlo k mírnému úbytku hmotnosti.

Obrázek 4.1 ukazuje průměrné ztráty hmotnosti vzorků s povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování. Kromě kombinace nižší teploty a pomalého rozmrazování v lednici bylo dosaženo nižších hmotnostních ztrát u vzorků s ochranným povlakem. Z grafu je také vidět, že největší vliv na ztráty má teplota mražení. Porovnáním hmotnostních ztrát vzorků potažených želatinou a nepotažených vzorků lze předpokládat, že ochranný povlak ovlivnil propustnost masové šťávy a ochránil maso před úbytkem hmotnosti.



Obr. 4.1: Hmotnostní ztráty masa po rozmražení v závislosti na teplotě mražení a způsobu rozmražení

Nejvhodnějším způsobem skladování a rozmrazování masa je kombinace mražení při teplotě -80 °C a rozmrazování v lednici. Druhým nejvhodnějším způsobem je skladování opět při teplotě -80 °C a rozmrazování v mikrovlnné troubě, poté zmrazením na -18 °C a rozmražením v lednici.

Z obrázku 4.1. je patrné, že nejvýraznější vliv na hmotnostní ztráty má teplota mražení. Způsob rozmrazování také ovlivňuje velikost ztrát, ale vliv toho faktoru je menší než v případě rychlosti mražení.

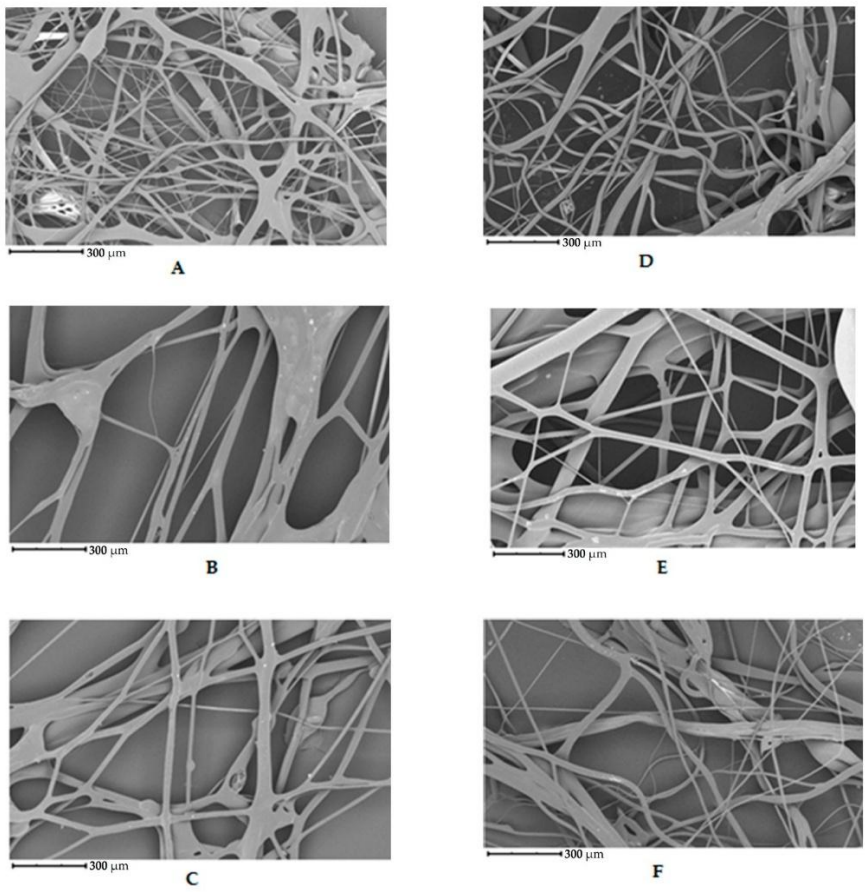
Rahman et al. (2014) tvrdí, že přijatelné ztráty hmotnosti by neměly překročit 3,49 %. V jiné studii Oliveira et al. (2015) uvádí, že 3,30 % je hranice přijatelného úbytku hmotnosti masa. Leygonie et al. (2015) ve své studii uváděli úbytek hmotnosti až 5,5 %. I když to bylo pštrosí maso, podle několika odborníků je toto maso podobné hovězímu. Tyto hodnoty byly stanoveny pro maso rozmražené v lednici. Oliveira et al. (2015) stanovili úbytek hmotnosti u masa rozmraženého v mikrovlnné troubě na 7,29 %. Hmotnostní ztráty naměřené v tomto experimentu jsou nižší. Na malé váhové úbytky měly rozhodně vliv teploty mrazení a rozmrazování, stejně jako ochranný želatinový povlak. Şahin et al. (2021) ve své studii pozorovali mimo jiné úbytek hmotnosti po rozmrazení ve dvou skupinách. U masa ze zvířat těžších než 504 kg byl pokles o 4,35 % větší než u skupiny do 503 kg. Hodnoty ztrát byly obecně vyšší než v této studii kvůli rozdílům v metodice a použitém mase. Sales a spol. (2020) zjistili, že hovězí maso v tomto experimentu mělo po rozmrazení ztrátu asi 7 %, což je o 3 % vyšší než v této studii. Ve studii Cheng, A. et al. (2019) byl úbytek hmotnosti po prvním cyklu asi 4 %, což odpovídá výsledkům nepotažených vzorků tohoto výzkumu.

4.2 Vlákna

Detaily celého výzkumu jsou uvedeny v publikovaném článku B ze seznamu prací publikovaných autorem této práce.

4.2.1 Morfologie vláken

Strukturu nezesítěných vláken z kuřecí, vepřové a hovězí želatiny je na obrázku 4.2. A–C. Obrázek 4.2. A ukazuje vláknitou strukturu z kuřecí želatiny. Vlákna tvoří propojenou síť. Průměr vláken se pohybuje od 1 do 100 μm. Podle obrázku jsou vlákna také zakřivená, orientace v různém směru a hladký povrch. Ve srovnání s ostatními vzorky se jedná o nejhustší síť. Vlákna vepřové želatiny (Obrázek 4.2. B) mají větší průměr a nižší hustotu. Struktura je stejně neuspořádaná, pokud jde o směr vláken, jako v předchozím případě, ale síť není tak propletená. Průměr vláken z hovězí želatiny (Obrázek 4.2. C) je podobný jako u předchozího vzorku z vepřové želatiny. Hustota sítě vyšší než u vepřová želatiny, ale znatelně nižší než u vzorku z kuřecí želatiny.



Obr. 4.2: Morfologie vláken připravených z nezesítěné kuřecí (A), vepřové (B) a hovězí želatiny (C); zesíťovaná vlákna připravená z kuřecí (D), vepřové (E) a hovězí želatiny (F).

Druhá sada vzorků ukazuje kuřecí, vepřová a hovězí želatinová vlákna zesíťovaná parami glutaraldehydu; viz obrázek 4.2. D–F. Struktura a průměr vláken (1–100 μm) jsou podobné jako u předchozí série vzorků. Vlákna mají různé směry a jsou propletená. Hustší síť tvoří opět vlákna z kuřecí želatiny. Vlákna jsou až na výjimky ve všech případech hladká.

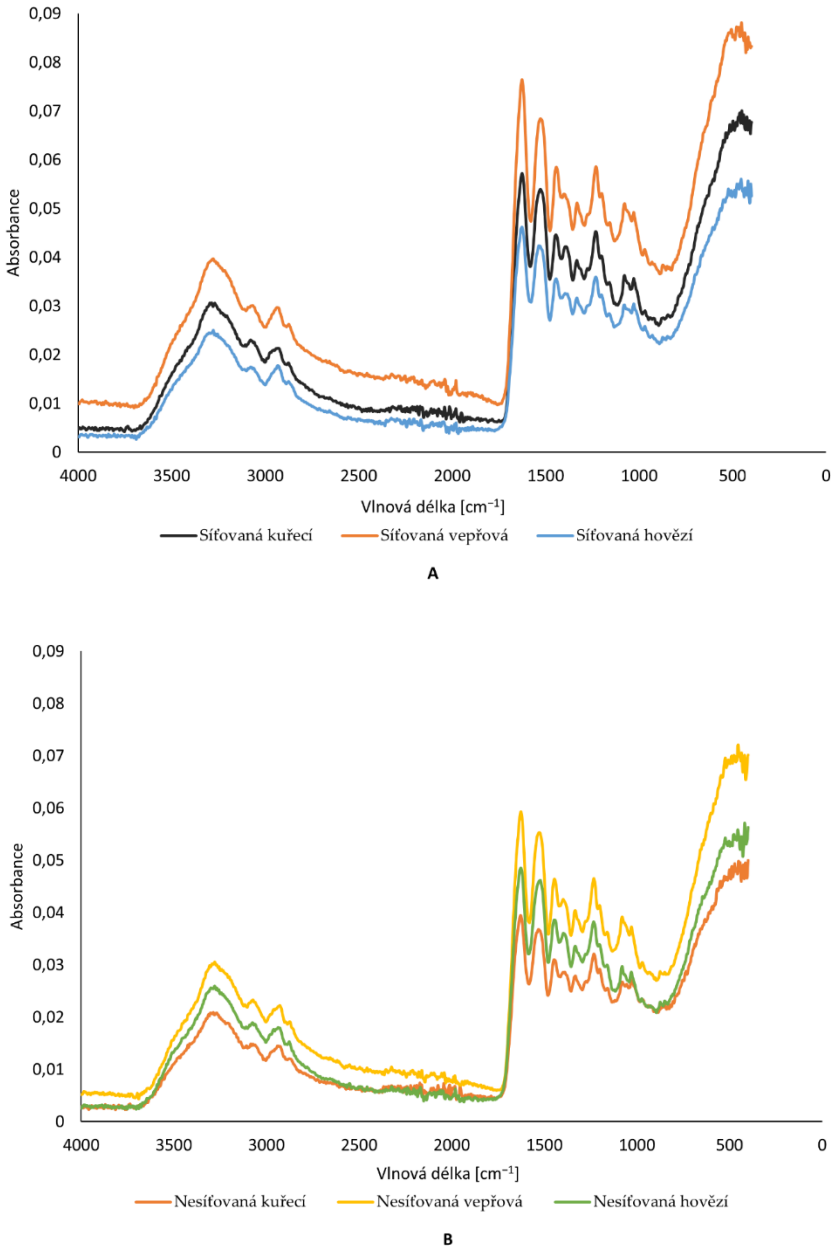
Nejhustší síť vláken byla získána z želatiny extrahované z kuřecího kolagenu. Stejný materiál také produkoval vlákna s nejmenším průměrem ve srovnání s dalšími dvěma zdroji želatiny. Z obrázků je zřejmé, že zesítění neovlivňuje pozorovanou morfologii. Provádí se pro zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností matrice.

Gungor el al. (2021) studovali vliv rychlosti zvlákňovací trysky a koncentrace roztoku na tvorbu, tvar a uspořádání želatinových nanovláken. Želatinová vlákna byla připravena z roztoku hovězí želatiny v kyselině octové. Nejkvalitnější vlákna byla získána kombinací 20% roztoku želatiny a rychlosti otáčení 7000 ot./min. Vlákna byla tepelně zesíťována. Jejich průměr se pohyboval od 2 do 5 μm. Vlákna byla hladká a rovná a tvořila provázanou strukturu bez kapiček. Mîndru et al. (2013) sledovali vliv proudění vzduchu na přípravu želatinových vláken ze směsi kyseliny octové a mravenčí. Touto metodou byla připravena vlákna o průměrech od 2 do 12 μm. Hladká a mírně zakřivená vlákna tvořila provázanou strukturu bez kapiček. Chaochai et al. (2016) připravovali želatinová vlákna suchým zvlákňováním z vodného roztoku želatiny. Zesítění bylo provedeno za použití Denacol® a glutaraldehydových par. Průměr vláken byl kolem 60 μm. Želatinová vlákna bez síťování a síťovaná epoxidovou sloučeninou Denacol® měla hladký povrch. Vlákna zesíťovaná cukrem měla mírně heterogenní povrch v důsledku Maillardovy reakce a vlákna zesíťovaná glutaraldehydem měla mírně drsný povrch. Arican et al. (2022) připravili želatinové nanovlákenné masky odstředivým zvlákňováním. Hodnotili morfologii, pórovitost a průměr vlákna s koncentrací roztoku a rychlostí rotace. Vlákna měla průměr 232–778 nm. Vlákna byla hladká a mírně zakřivená a tvořila provázanou strukturu bez kapiček.

Vlákna připravená v této studii měla větší průměr než vlákna ze studií uvedených výše; to mohly způsobit různé způsoby přípravy roztoku pro zvlákňování polymeru. Tradičně se želatina zvlákňuje z roztoku kyseliny octové (Gungor el al., 2021) nebo směsi kyseliny octové a mravenčí (Mîndru et al., 2013). V této studii se jednalo o 40% vodný roztok želatiny. Rychlost odstředivého zvlákňování může také ovlivnit průměr a celkovou morfologii vláken.

4.2.2 FTIR analýza

Pomocí FTIR metody byl zkoumán účinek síťování glutaraldehydem na funkční skupiny v želatinových vláknech (Obrázek 4.3 A-B). Na obrázku je porovnáno spektrum nesíťovaných a síťovaných vláken.



Obr. 4.3: Porovnání spekter zesíťovaných (A) a nezesíťovaných (B) vláken želatiny

Vrcholy ve spektru vláken hovězí želatiny jsou umístěny v pásech kolem 3278, 1628, 1537 a 1243 cm^{-1}. Tyto hodnoty odpovídají amidu A (roztahování a oscilace N-H), amid I (oscilace a natažení vazeb C=O a C-N), amid II (ohyb N-H) a amid III (ohyb N-H vazeb). Pás kolem píku amidu I zahrnuje napínacích vibrací vazeb C=O (70–85 %) a C-N (10–20 %). Amid I je považován za nejúčinnější vrchol pro analýzu proteinové struktury pomocí infračervené spektroskopie. Přesná poloha amidového I pásu závisí na vodíkových můstcích a konformaci proteinové struktury. Obecně platí, že většina proteinů má více typů sekundárních struktur (α-šroubovice, β-list nebo náhodná struktura) současně, tak pík v pásmu amidu I často ukazuje mnohočetná ramena. Rozsah a intenzita píků amidu II jsou obecně

mnohem citlivější na hydrataci než na změny sekundární struktury (Peña-Rodriguez, 2015; Nor, 2017; Sabantina, 2018; Kuppan, 2013).
FTIR spektra hovězích želatinových vláken ukazují zvýšení intenzity všech píků při porovnání nezesítěných a zesítěných vzorků.

FTIR spektra vláken vepřové želatiny ukazují zvýšení intenzity všech píků ve srovnání nezesítěných a zesítěných vzorků. Nárůst intenzity je významný i v porovnání s vlákny z hovězí želatiny. Nárůst intenzity znamená vznik a přítomnost více vazeb, charakterizovaných specifickými vlnovými délkami ze síťování. Z obrázku je také patrné, že ani zde nevznikají žádné nové vrcholy, tvary obou křivek jsou téměř identické s výjimkou rozdílných intenzit vrcholů. Nárůst intenzity je významný ve srovnání s vlákny hovězí želatiny. Nárůst intenzity ukazuje na tvorbu a přítomnost vícenásobných vazeb charakterizovaných specifickými vlnovými délkami vyplývajících ze zesíťování. Všechna připravená vlákna vykazují vrcholy ve stejné oblasti vlnových délek bez ohledu na původ želatiny a použití síťovadla, liší se pouze intenzitou.

Vrcholy ve spektru kuřecích želatinových vláken jsou podobné těm píkům pozorovaných ve spektrech u vláken z hovězí a vepřové želatiny. I v tomto případě nárůst intenzity ukazuje na tvorbu a přítomnost vícenásobných vazeb charakterizovaných specifickými vlnovými délkami vyplývajících ze zesíťování.

4.2.3 Bobtnání a rozpustnost

Bobtnání i rozpustnost jsou definovány změnou hmotnosti. Tabulka 4.6 prezentuje výsledky bobtnání a rozpustnosti želatinových vláken v závislosti na původu suroviny a přítomnosti síťovadla.

Tabulka 4.6 Bobtnání a rozpustnost želatinových vláken

Želatina	Čas [h]	Index bobtnání	Rozpustnost [%]
Nesíťovaná vepřová	0,17	18,5±0,2	34,6±0,4[a,c,e]
	0,50	0,0±0.0	100,0±0,0[a,c,e]
Síťovaná vepřová	0,17	4,3±0,1	15,0±0,3[b,d,f]
	0,50	8,1±0,2	18,2±0,7[b,d,f]
	1	9,2±0,4	11,2±0,6[b,d,f]
	3	6,2±0,2	18,5±0,5[b,d,f]
	6	6,3±0,2	21,5±0,3[b,d,f]
	12	9,5±0,4	11,9±0,2[b,d,f]
	24	12,4±0,3	17,8±0,5[b,d,f]
	48	11,7±01	27,7±0,4[b,d,f]
Nesíťovaná hovězí	0,17	14,3±0,4	44,8±0,3[a,c,e]
	0,50	15,7±0,2	54,8±0,2[a,c,e]
	1	0,0±0,0	100,0±0,0[a,c,e]
Síťovaná hovězí	0,17	5,8±0,3	13,4±0,4[b,d,f]

	0,50	7,8±0,1	12,4±0,2 [b,d,f]
	1	6,3±0,4	14,9±0,4 [b,d,f]
	3	7,1±0,1	32,8±0,3 [b,d,f]
	6	6,2±0,3	24,5±0,8 [b,d,f]
	12	6,9±0,2	18,0±0,4 [b,d,f]
	24	7,7±0,2	21,4±0,3 [b,d,f]
	48	10,0±0,6	23,9±0,7 [b,d,f]
Nesíťovaná kuřecí	0,17	13,0±0,3	35,7±0,5 [a,c,e]
	0,50	13,5±0,1	47,5±0,4 [a,c,e]
	1	0,0±0,0	100,0±0,0 [a,c,e]
Síťovaná kuřecí	0,17	4,2±0,3	28,3±0,5 [b,d,f]
	0,50	4,7±0,2	12,8±0,7 [b,d,f]
	1	5,8±0,1	8,1±0,4 [b,d,f]
	3	5,0±0,3	23,3±0,2 [b,d,f]
	6	5,2±0,2	22,4±0,5 [b,d,f]
	12	6,0±0,2	27,9±0,6 [b,d,f]
	24	6,4±0,4	21,2±0,5 [b,d,f]
	48	5,0±0,3	21,3±0,4 [b,d,f]

Písmena v horních indexech označují statisticky významné rozdíly mezi testovanými vzorky (a = hovězí síťovaná, b = nesíťovaná hovězí, c = síťovaná vepřová, d = nesítovaná vepřová, e = síťovaná kuřecí, f = nesíťovaná kuřecí) podle Tukey testu.

Nesíťovaná vlákna želatiny vepřového původu po ponoření do destilované vody za laboratorní teploty s vodou poměrně rychle interagují, bobtnají, struktura vláken se rozpadla. S přibývajícím časem se celý vzorek ve vodě rozpustí. Rozpustnost je v tomto případě nejrychlejší ze všech sledovaných vzorků. Vliv síťování parami glutaraldehydu na stabilitu vláken je znatelný. Při interakci vzorku s vodou dochází k absorbování vody a zvyšuje se jeho hmotnost. Struktura vláken ovšem na rozdíl od nezesíťovaných vzorků zůstává zachovaná, a to i po následném vysušení vzorku. Hodnoty bobtnání v průběhu celého experimentu měly rostoucí tendenci, protože se zvyšující se dobou ponoření se míra bobtnání zvyšovala. Nejvyšší míra bobtnání byla pozorována u ponoření vzorku do vody na dobu 24 hodin. Naopak nejnižší nárůst hmotnosti nastal při šestihodinové expozici s vodou.

Nesíťovaná vlákna želatiny hovězího původu po ponoření do destilované vody za laboratorní teploty s vodou poměrně rychle reagují, bobtnají, struktura vláken se rozpadá. Index bobtnání je přibližně dvojnásobný, je tomu u síťovaných vzorků. S přibývajícím časem se celý vzorek ve vodě rozpustí, už při 10minutové reakci s vodou, vzorek ztratí téměř polovinu své hmotnosti, a především vlákennou strukturu. I v tomto případě je vliv síťování parami glutaraldehydu na stabilitu vláken znatelný. Po ponoření vzorku do vody se zvyšuje jeho hmotnost vlivem přijímání vody. Vlákenná struktura je stabilní, a to i po následném

vysušení vzorku. Hodnoty bobtnání vláken z hovězí želatiny se v průběhu celého experimentu pohybovaly okolo stejné hodnoty, nezvyšovala se v závislosti na době ponoření vzorku do vody. Nejvyšší míra bobtnání byla pozorována u ponoření vzorku do vody na dobu 1 hodiny. Naopak nejnižší nárůst hmotnosti nastal při nejkratší expozici s vodou. V případě rozpustnosti tomu bylo jako při bobtnání, ani tento parametr neměl s rostoucí dobou expozice významný vzrůstající trend. Nejvyšší rozpustnost nastala při ponoření do vody po dobu 3 hodin, naopak nejnižší ztráty nastaly při ponoření do vody na 30 minut.

Nesíťovaná vlákna želatiny kuřecího původu po ponoření do destilované vody za laboratorní teploty s vodou poměrně rychle interagují, bobtnají, struktura vláken se rozpadá. S přibývajícím časem se celý vzorek ve vodě zcela rozpustí. Použití síťovadla má značný vliv na stabilitu vláken z kuřecí želatiny. Při interakci vzorku s vodou dochází k absorbování vody, zvyšuje se jeho hmotnost. Struktura vláken ovšem zůstává zachovaná, a to i po následném vysušení vzorku. Hodnoty bobtnání se v průběhu celého experimentu pohybovaly okolo stejné hodnoty, nezvyšovala se v závislosti na době interakce s vodou. Nejvyšší míra bobtnání byla pozorována u ponoření vzorku do vody na dobu 24 hodin. Naopak nejnižší nárůst hmotnosti nastal při nejkratší expozici s vodou. V případě rozpustnosti tomu bylo jako při bobtnání, ani tento parametr neměl s rostoucí dobou expozice významný vzrůstající trend. Nejvyšší rozpustnost nastala při interakci s vodou po dobu 10 minut, naopak nejnižší ztráty nastaly při ponoření do vody na 1 hodinu.

Podle Tukeyho testu nejsou výrazné rozdíly v bobtnání a rozpustnosti při porovnání vzorků vytvořených ze síťované kuřecí želatiny, síťované vepřové želatiny a síťované hovězí želatiny. Žádné významné rozdíly v bobtnání a rozpustnosti nebyly nalezeny ani při srovnání párů vzorků vláken z nesíťované kuřecí, vepřové a hovězí želatiny. Rozdíly v rozpustnosti byly naopak statisticky významné pro páry vytvořené z jednoho zesíťovaného a druhého nezesítěného vzorku.

Sun a kol. (2021) pozorovali bobtnání na vláknech připravených ze směsi želatiny a chitosanu (v různých poměrech) s příměsí polyethylenoxidu. Vlákna z naší studie vykazovala vyšší index bobtnání než tato kompozitní vlákna. Rozdíl mohl být způsobem tím, že naše vlákna obsahovala pouze želatinu, zatímco vlákna ze studie Sun a kol. kromě želatiny i chitosan. Riyajan a kol. (2018) pozorovali bobtnání na vláknech připravených z želatiny, přírodního kaučuku a celulózy. Vlákna z kompozitního materiálu z této studie vykazovaly nižší index bobtnání než naše vlákna. Rozdíl může být způsoben tím, že vlákna byla připravena ze směsi želatiny s přírodním kaučukem a celulózou, zatímco v našem výzkumu jsme používali výhradně želatinu. Wang a kol. (2019) připravená vlákna ze směsi alginátu a želatiny. Index bobtnání se zvyšoval se zvyšujícím se množstvím želatiny ve směsi. Index bobtnání těchto vláken byl nižší než u našich vláken. Vzhledem k výše uvedenému lze dojít k závěru, že nižší bobtnání je způsobeno přítomností alginátu. Nagura et al. (2002) zjišťovali vliv síťovadel na bobtnání želatinových vláken. Porovnávali změnu délky vlákna před a po

ukončení experimentu. Nejmenší bobtnání bylo zaznamenáno při síťování kyselinou citronovou, naopak největší nárůst délky vlákna byl pozorován při použití diglyceroltriglycidyletheru v prostředí o pH 8. Gill et al. (2020) síťovali želatinová vlákna glyoxalem a pozorovali vliv doby síťování a koncentraci síťovadla na bobtnání vzorku. I v tomto případě se zaměřili na změnu délky vlákna. Bobtnání klesalo s rostoucí koncentrací síťovadla a s rostoucí dobou síťování. Padrão et al. (2014) připravovali vlákna z želatiny rybího původu, síťovanými parami glutaraldehydu. V této studii bobtnání definovali jako přírůstek hmotnosti. Už během 5 minut vlákno dosáhlo svého maxima absorpce vody a dále se jeho hmotnost nezvyšovala. Etxabide et al. (2022) síťovali vlákna želatiny pomocí ribózy Mailardovou reakcí; kromě vlivu koncentrace síťovadla pozorovali vliv obsahu glycerol jako plastifikátoru. Hodnoty bobtnání (definované jako nárůst hmotnosti) byly mezi vzorky velmi podobné a celkově vyšší než výsledky z našeho výzkumu. Rozpustnost byla definovaná, stejně jako v naší studii, jako ztráta hmotnosti v porovnání s původní hmotností. Hodnoty rozpustnosti jsou velmi podobné, jako v našem případě. Nesíťovaná vlákna se kompletně rozpustila, u síťovaných vzorků činila ztráta rozpuštěním mezi 10 a 20 %.

Použití síťovadla výrazně ovlivňuje rozpustnost a bobtnání vláken z kuřecí želatiny. Díky zesítění jsou vlákna odolnější vůči kontaktu s vodou, mají stabilní strukturu, mají znatelně nižší rozpustnost a vykazují omezené bobtnání s nesíťovanými vzorky. Kuřecí želatinová vlákna jsou méně citlivá na interakci s vodou, což je pozitivní zjištění ohledně jejich zamýšlených aplikací.

4.3 Filmy

Detaily celého výzkumu jsou uvedeny v publikovaném článku C ze seznamu prací publikovaných autorem této práce.

4.3.1 Bobtnání a rozpustnost

Tabulka 4.7 ukazuje hodnoty indexu bobtnání pro vzorky s 30 a 40 % glycerolu. Ve srovnání s neozářeným vzorkem mají filmy síťované UV zářením s 30 % glycerolu až na jednu výjimku podobný nebo nižší index bobtnání. Druhá sada vzorků se 40 % glycerolu měla ve všech případech vyšší index bobtnání. Zesíťování prodloužilo čas potřebný k rozpuštění vzorku ve srovnání s nezesítěným vzorkem.

Vzhledem k hydrofilní povaze glycerolu mohou filmy s vyšší koncentrací glycerolu vázat do své struktury více vody. Pokles bobtnání může být v některých případech způsoben rozpuštěním nebo rozpadnutím části vzorku. Z výsledků pro film obsahující 30 % glycerolu lze pozorovat, kromě vzorku ozařovaného po dobu 2 hodin, že vystavení UV záření vede ke snížení bobtnání. Ve všech případech trvání ozařování bylo dosaženo rovnovážného stavu bobtnání asi po 4 dnech, poté se hodnoty příliš neměnily.

Tabulka 4.7 Bobtnání a rozpustnost želatinových filmů

	Obsah glycerolu [wt%] / doba UV ozáření [h]					
Čas [h]	**30/0**	**30/1**	**30/2**	**30/4**	**30/8**	**30/16**
0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
0.5	552±14^{a}	460±11^{b}	586±24^{a}	382±11^{c}	318±15^{c}	333±19^{c}
1	615±31^{a}	546±37^{b}	733±29^{c}	532±25^{b}	477±26^{b}	482±28^{b}
2	651±47^{a}	616±24^{b}	928±15^{c}	611±37^{b}	485±32^{e}	559±37^{d}
4	822±25^{a}	621±13^{b}	979±9^{c}	695±27^{d}	592±34^{b}	578±24^{b}
10	850±19^{a}	641±18^{b}	962±32^{c}	813±41^{a}	575±38^{d}	660±29^{b}
24	0^{a}	689±52^{b}	1071±63^{c}	824±35^{d}	615±52^{b}	679±37^{b}
36	0^{a}	686±29^{b}	947±12^{c}	830±42^{d}	625±48^{b}	657±42^{b}
48	0^{a}	0^{a}	991±43^{b}	804±12^{c}	655±29^{d}	661±45^{d}
72	0^{a}	0^{a}	1163±87^{b}	846±26^{c}	624±25^{d}	687±36^{d}
96	0^{a}	0^{a}	0^{a}	881±47^{b}	690±42^{c}	628±62^{c}
168	0^{a}	0^{a}	0^{a}	0^{a}	0^{a}	787±23^{b}
216	0	0	0	0	0	0
	Obsah glycerolu [wt%] / doba UV ozáření [h]					
Čas [h]	**40/0**	**40/1**	**40/2**	**40/4**	**40/8**	**40/16**
0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
0.5	549±25^{a}	440±25^{b}	452±32^{b}	400±7^{b}	449±26^{b}	439±19^{b}
1	551±28^{b}	554±29^{b}	673±10^{a}	507±41^{b}	581±34^{a}	627±6^{a}
2	618±37^{b}	573±43^{d}	774±29	595±27^{b}	669±28^{a}	739±42^{f}
4	0^{e}	590±57^{b}	863±36^{a}	591±23^{b}	756±31^{f}	756±30^{f}
10	0^{e}	678±46^{b}	912±42^{c}	604±42^{b}	783±46^{f}	762±39^{f}
24	0^{a}	686±41^{b}	943±65^{e}	683±27^{b}	729±29^{f}	720±28^{f}
36	0^{a}	0^{a}	0^{a}	707±51^{e}	736±40^{e}	719±51^{e}
48	0^{a}	0^{a}	0^{a}	746±26^{e}	762±37^{e}	737±31^{e}
72	0^{a}	0^{a}	0^{a}	759±39^{e}	767±24^{e}	740±54^{e}
96	0^{a}	0^{a}	0^{a}	819±25^{d}	839±54^{d}	832±49^{d}
168	0^{a}	0^{a}	0^{a}	0^{a}	0^{a}	0^{a}
216	0	0	0	0	0	0

Různá písmena u stejné doby bobtnání označují významné rozdíly ($p < 0,05$) mezi vzorky na základě obsahu glycerolu podle Tukey testu.

Co se týče želatinového filmu obsahujícího 40 % glycerolu, trend je podobný, včetně odchylného chování vzorku ozářeného po dobu 2 hodin. Neexponovaný vzorek vykazoval největší bobtnání po půl hodině v rozpouštědle a po 4 hodinách

byly vzorky zdeformované. I v případě těchto filmů bylo dosaženo rovnovážného stupně bobtnání asi po 4 dnech.

Vzhledem k potenciálnímu použití v potravinářství nebo medicíně je odolnost vůči rozpouštění důležitou vlastností. Vzorek 30/16 (30% glycerol, 16hodinový interval expozice) dokázal odolat vodě nejdéle ze všech vzorků. Tento vzorek trval 168 hodin a zvětšil svůj objem o 787 % původního objemu. Při zvýšení koncentrace glycerolu o 10 % vykazují 3 vzorky nejdelší dobu do rozpuštění (96 h): 40/4, 40/8 a 40/16 (40 % glycerolu, expoziční intervaly 4, 8 a 16 hodin). Jejich míry bobtnání byly 818, 839 a 832 %.

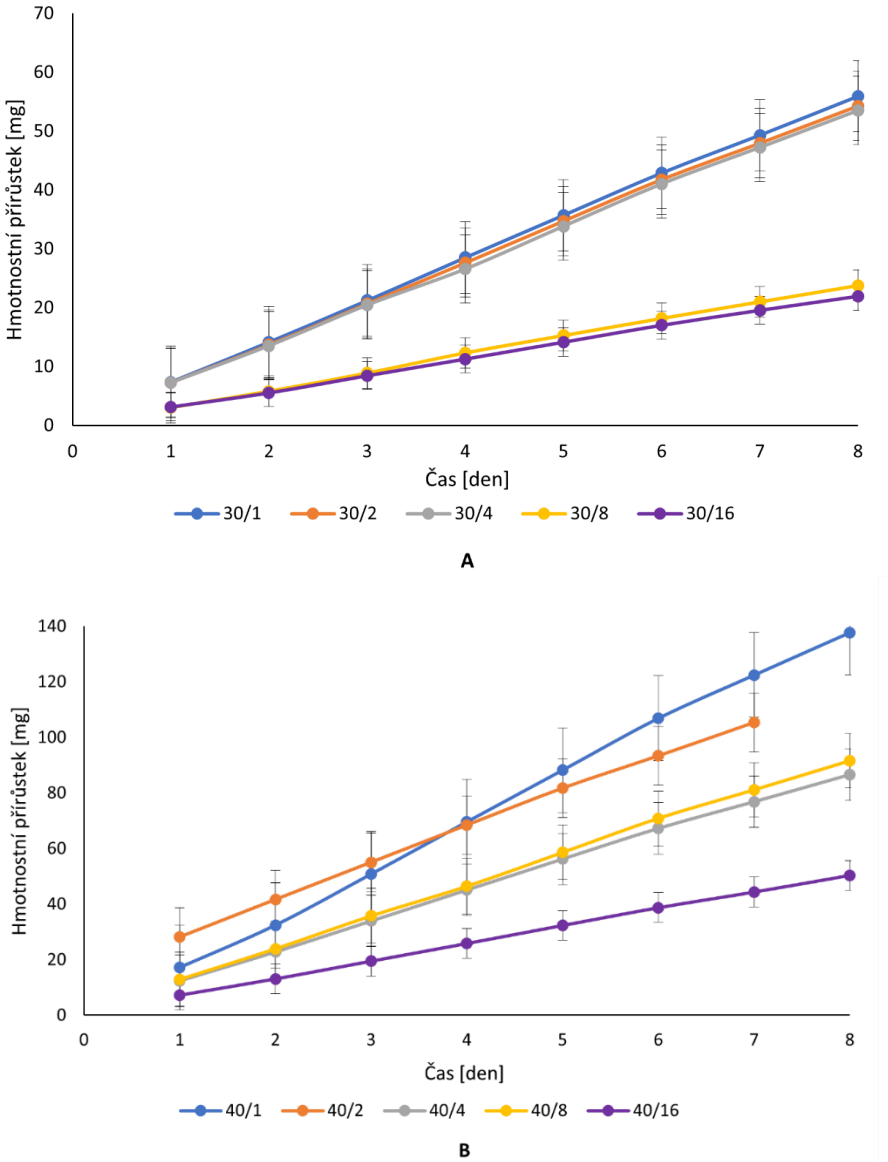
Podle dvoufaktorové ANOVA nemá doba ozařování statisticky významný vliv na bobtnání vzorků; obsah změkčovadla má však statisticky významný vliv na bobtnání.

Ji a kol. (2022) studovali vliv metody extrakce želatiny a pH želatiny během extrakce na bobtnání želatinových filmů. Bobtnání charakterizovali jako změnu hmotnosti. Rychlost bobtnání byla vyšší u filmů alkalicky hydrolyzované želatiny než u enzymaticky extrahované želatiny. Kromě různých zdrojů surovin a metod extrakce želatiny mohla mít na různé výsledky vliv skutečnost, že v této studii nebylo provedeno síťování. Gordon a kol. (2010) zkoumali bobtnání želatiny připravené z prasečích tkání metodou fluidního dynamického měření. Postup bobtnání želatiny byl sledován v různých časových intervalech, stejně jako teplota a pH želatiny. Opět nebylo použito žádné síťování a bobtnání bylo vyšší než u vzorků z naší studie. Dang a kol. (2018) připravovali želatiny s různým obsahem β-cyklodextrinu působícího jako změkčovadlo a síťovadlo. Želatina byla extrahována ze zbytků kůže vyčiněných chromem. Mezi testovanými vlastnostmi byla schopnost bobtnat, která byla shledána jako nejlepší v případě obsahu želatiny a β-cyklodextrinu v poměru 1:1. Ve srovnatelné shodě se studovanými vzorky zesíťované kuřecí želatiny z hlediska maximálního bobtnání byly vzorky s poměrem želatiny k β-cyklodextrinu 1:1 a 1:2. Proces bobtnání těchto vzorků byl však rychlejší. Boanini a kol. (2010) síťovali želatinu vepřového původu alginátovým dialdehydem. Bobtnání bylo v tomto případě charakterizováno jako přírůstek hmotnosti filmu po ponoření do vody. Na rozdíl od tohoto výzkumu, zejména pro delší expozice UV, jsou u námi připravených vzorků zesíťovaných želatin pozorovány stabilnější hodnoty bobtnání po delší dobu pozorování, které by odpovídaly hodnotám bobtnání obsahujících 1 a 3 % alginát dialdehydu ze srovnávaných vzorků.

4.3.2 Propustnost vodních par

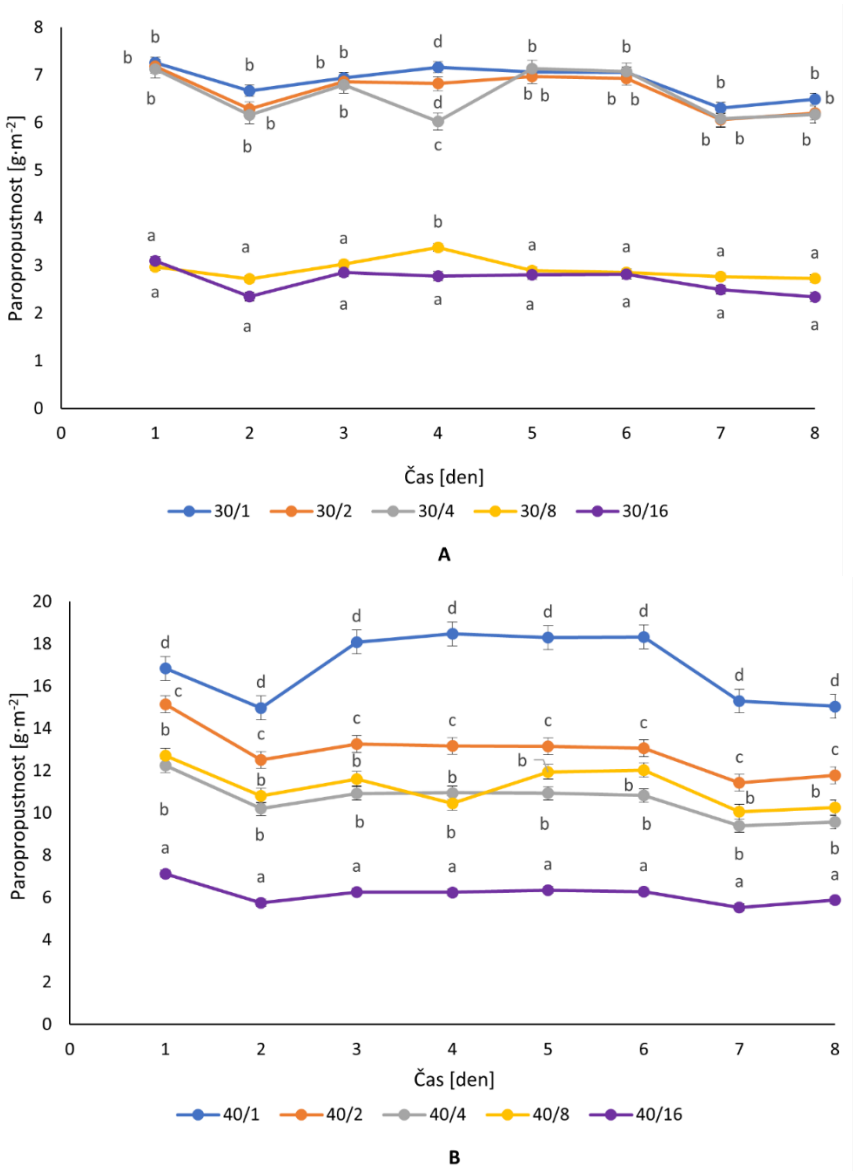
Propustnost pro vodní páry závisí především na struktuře polymerů a tloušťce filmu. Jak želatina, tak glycerol jsou hydrofilní látky. Při působení UV záření se volný objem zmenšuje a mezi jednotlivými želatinovými řetězci se tvoří vazby. Struktura želatinového filmu je posílena a jeho křehkost a propustnost vodní páry jsou sníženy v důsledku snížené pohyblivosti želatinových řetězců.

Vzhledem k vysoké počáteční křehkosti a nerovnému povrchu želatinového filmu nebylo možné umístit nedegradovaný film do pohárku pro měření. Proto se porovnává účinek různých koncentrací glycerolu a doby expozice UV záření. Z obrázku 4.4 A,B lze pozorovat konstantní nárůst hmotnosti u všech vzorků po celou dobu měření.



Obr. 4.4: Přírůstek hmotnosti filmů s 30 % glycerolu (A) a 40 % glycerolu (B) s intervaly 1–16 hodin UV záření pro měření paropropustnosti.

Jak je patrné z grafického znázornění (obrázek 4.5 A,B) pro želatinové filmy s 30 % a 40 % glycerolu, zvýšení doby expozice UV záření snížilo propustnost vodní páry v důsledku zesítění struktury. Propustnost vodní páry byla vyšší u vzorků s vyšší koncentrací glycerolu. To platilo ve všech intervalech ozařování, pravděpodobně kvůli zvýšené pohyblivosti želatinových řetězců a výraznějším mezerám mezi polymerními řetězci po přidání dalšího změkčovadla. Podle dvoufaktorové ANOVA byl zjištěn statisticky významný vliv doby ozařování a obsahu změkčovadla v případě propustnosti vodní páry.



Obr. 4.5: Propustnost vodních par filmů obsahujících 30 % glycerolu (A) a 40 % glycerolu (B) po 1–16 hodinách UV záření. Podle Tukey testu označují různá písmena významné rozdíly ($p < 0,05$) mezi vzorky.

Avena-Bustillos a kol. (2006) hodnotili propustnost vodních par filmů připravených z želatin získaných z kůží studenovodních a teplovodních ryb. Porovnávali to s filmy připravenými z různých typů želatiny savců. Propustnost vodní páry želatinových filmů ze studenovodních ryb byla výrazně nižší než propustnost z teplovodních ryb a savců. Výsledky naší studie byly odlišné, pravděpodobně kvůli různým zdrojům želatiny, přidání změkčovadla a síťování. Tyuftin a kol. (2022) testovali paropropustnost pomocí metody ASTM F1249. Filmy byly připraveny z hovězí želatiny. Tato metoda ukázala, že propustnost vodní páry se zvyšovala s rostoucí tloušťkou želatinového filmu, podobně jako u vzorků připravených v této studii. Lepších výsledků bylo dosaženo u ozářených filmů obsahujících 30 % glycerolu po dobu 8 a 16 hodin. Suhaima a kol. (2022)

porovnávali vlastnosti filmů připravených z rybí želatiny a želatiny z tkáně savců. Rybí želatinové filmy měly výrazně nižší propustnost vodní páry ve srovnání se savčími želatinovými filmy, s nimiž námi připravené kuřecí želatinové filmy korespondovaly. Loo a kol. (2020) k přípravě filmů použili směs kuřecí želatiny a tapiokového škrobu. Filmy byly připraveny s různými koncentracemi škrobu (0–25 %) litím. Byly hodnoceny fyzikální a mechanické vlastnosti každého filmu. Přídavek tapiokového škrobu zvýšil tloušťku a zlepšil odolnost filmů vůči vodě. Přidání tapiokového škrobu v množství větším než 5 % nezlepšilo vlastnosti vodní bariéry, ale zvýšilo propustnost vodní páry. Hodnoty těchto vzorků byly srovnatelné s výsledky prezentovaného experimentu.

4.3.3 Barva

Naměřené souřadnice L, a* b* pro vzorky s 30 % glycerolu se lišily minimálně. V případě jasu se hodnoty pohybovaly od 88,50 do 90,00 a hodnoty jasu klesaly s rostoucí dobou expozice UV záření. Hodnota a* zůstala podobná, v intervalu od -0,85 do -0,80, bez zjevného vlivu doby expozice UV záření. Hodnota b* zůstala v intervalu od 12,00 do 15,00 a rostla s delší dobou ozařování. Index žlutosti se také zvyšoval s dobou zesítění, což koreluje s posunem hodnoty b* k vyšším hodnotám. Stejně jako síťování způsobuje elektromagnetické záření postupný rozklad nativní struktury želatiny, čímž se zvyšuje index žlutosti (Perkasa et al., 2013). Zákal filmů se po hodině ozařování mírně zvýšil, ale poté se neměnil, jak je vidět v Tabulce 4.8.

Tabulka 4.8 Žlutost a zákal filmů s 30 a 40 % glycerolu v závislosti na době expozice UV záření.

Parametr	**Obsah glycerolu [wt%]/Doba ozařování UV zářením [h]**					
	30/0	**30/1**	**30/2**	**30/4**	**30/8**	**30/16**
Žlutost	22,41 ± 0,13^{a}	24,15 ± 0,75^{b}	25,16 ± 0,64^{c}	26,36 ± 0,36 ^{c}	26,64 ± 0,44^{c}	27,92 ± 0,96^{d}
Zákal	91,20 ± 0,41	94,00 ± 0,09	93,90 ± 0,27	93,60 ± 0,63	94,10 ± 0,51	94,30 ± 0,86
	40/0	**40/1**	**40/2**	**40/4**	**40/8**	**40/16**
Žlutost	23,13 ± 0,28^{a}	24,91 ± 0,17^{b}	25,11 ± 0,90^{b}	25,63 ± 0,87^{b}	26,36 ± 0,61^{c}	28,11 ± 0,07^{d}
Zákal	93,60 ± 0,81	93,90 ± 0,56	94,10 ± 0,23	93,60 ± 0,76	94,50 ± 0,53	93,70 ± 0,89

Různá písmena ve stejném řádku označují významné rozdíly ($p < 0,05$) mezi vzorky na základě obsahu glycerolu podle Tukeyova testu.

Získané souřadnice L, a* b* splnily naše očekávání, protože hodnoty pro vzorky s přídavkem 40 % (hmot.) glycerolu se také jen mírně lišily v závislosti na době ozařování. Hodnoty jasu se pohybovaly od 88,50 do 90,00, s rostoucí dobou

expozice UV záření klesaly. Hodnota a* zůstala podobná od -0,85 do -0,25, bez zjevného vlivu doby expozice UV záření. Hodnota b* zůstala v intervalu od 12,00 do 15,00 a zvyšovala se s rostoucí dobou expozice UV zářením.

Pro jiné aplikace, jako jsou obalové materiály nebo léky, mají změny intenzity zákalu a žlutosti největší význam. Výrazné zvýšení hodnot může indikovat např. degradaci materiálu v důsledku nadměrného UV záření. Index žlutosti se zvyšuje s dobou síťování, což koreluje s posunem hodnoty b* k vyšším hodnotám. Obsah glycerolu je statisticky významný pro žlutost vzorků, ale doba expozice UV záření nikoliv.

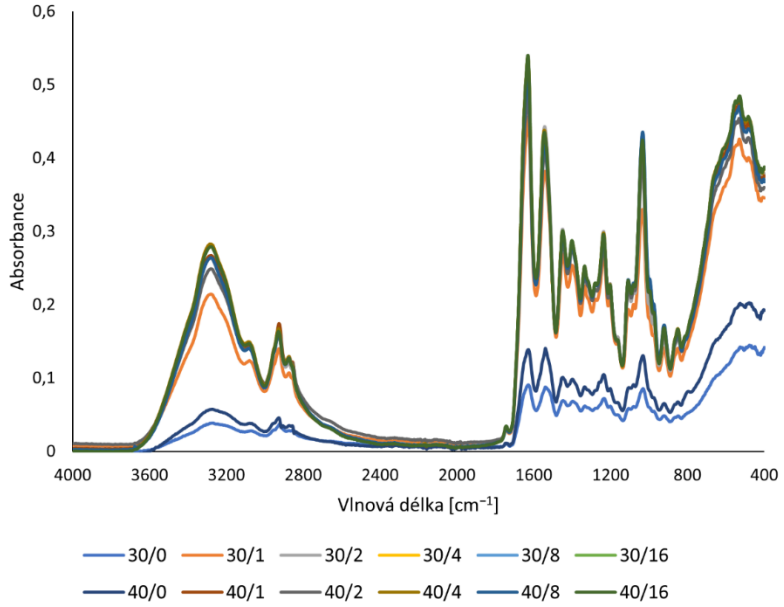
Zákal filmů s 30 % změkčovadla před a po síťování se zvýšil. Žádný takový rozdíl nebyl pozorován u filmů s vyšším obsahem. Naměřené hodnoty zákalu se významně neliší od výsledků želatin připravených naším týmem (Mokrejš, 2019). Podle dvoufaktorové ANOVA nemá doba ozařování ani obsah změkčovadla statisticky významný vliv na zákal vzorků.

Stevenson a kol. (2020) síťovali želatiny získanou z ryb pomocí ribózy. Maillardovou reakcí vznikly sloučeniny s barevnými pigmenty. Stupeň zesítění byl sledován podle intenzity změny barvy. Pigmenty vzniklé Maillardovou reakcí vedly k výraznějším barevným změnám než v případě našich vzorkových měření. Kim a kol. (2012) pracoval také s rybí želatinou z kůží pstruha. Hodnoty jasu a parametrů a* byly v souladu s publikovanými hodnotami. Výsledky parametru b* byly nižší, což může být způsobeno jiným zdrojem želatiny a způsobem zpracování. Želatina nebyla zesíťována; glycerol byl přidán jako změkčovadlo. Yap a kol. (2022) zkoumali vliv rostlinného extraktu *Garcinia atroviridis* na vlastnosti želatinových filmů připravených 3D tiskem. Jas byl kolem 30, hodnota a* byla dokonce mírně negativní a hodnota b* se blížila nule, na rozdíl od výsledků získaných na našich síťovaných filmech z kuřecí želatiny. Rawdkuen a kol. (2010) porovnávali vlastnosti hovězí a rybí želatiny. Jedním ze sledovaných parametrů byla i barva. Hodnoty jasu byly mírně vyšší než u našich vzorků, tj. kolem 90. Také hodnoty a* byly velmi podobné v negativní části spektra od -1,10 do -1,30. Nejvíce se lišily hodnoty souřadnice b*, která byla přibližně o 10 nižší než u našich vzorků. Podobných hodnot dosáhly také vzorky od Pranoto et al. (2007), kteří porovnávali vlastnosti rybích želatinových filmů s přídavkem gellanu a κ-karagenanu. Ekielski a kol. (2021) studovali vliv přidání digestátového kalu na vlastnosti termoplastických škrobových povlaků plastifikovaných glycerolem. Jedním ze sledovaných parametrů byla i barva. Vzorek bez přídavku digestátu měl nízký zákal (hodnota světlosti 77) ve srovnání se vzorky v této studii. Vzorky s přídavkem digestátu měly mnohem nižší jas v intervalu od 25 do 48. Parametr a* se také měnil s přídavkem digestátu. Přidání digestátu posunulo hodnoty ze zeleného spektra do červeného. Hodnota parametru b* se až na dvě výjimky zvýšila, ale ve všech případech zůstaly ve žlutém spektru. Rozdíly mezi touto studií a testovanými želatinovými filmy lze přičíst různým biopolymerům a metodě zpracování. Modifikace UV zářením

neměla takový vliv na změny barevných souřadnic jako přidání digestátu do termoplastického škrobového povlaku.

4.3.4 Charakteristika skupin a vazeb pomocí FTIR spektrometrie

Pomocí FTIR spektrometru byl studován vliv UV záření na funkční skupiny v želatinových filmech s přídavkem glycerolu jako změkčovadla. Naměřená spektra jsou znázorněna na obrázku 4.6. Graf ukazuje, že se nevytvořily žádné nové píky. Všechny připravené filmy vykazují píky v oblastech stejných vlnových délek bez ohledu na koncentraci změkčovadla a délku expozice UV záření, liší se pouze intenzitou.



Obr. 4.6: Vibrační charakteristika funkčních skupin želatinových filmů obsahujících 30 % a 40 % glycerolu po UV ozáření v intervalech 0–16 hodin.

Píky ve spektru se nacházejí v pásech kolem 3288, 1631, 1544 a 1243 cm^{-1} odpovídajících amidu A (natahování a oscilace N-H), amidu I (kmitání a natahování vazeb C=O a C-N), amidu II (ohyb N-H vazeb) a amid III (ohyb N-H vazeb). Pokud se do filmu přidá glycerol, vytvoří se další charakteristický pík kolem 1045 cm^{-1} a jeho intenzita se zvyšuje s vyšším množstvím glycerolu (Peña-Rodriguez, 2015; Nor, 2017).

Vrchol v oblasti amidu A by měl být také intenzivnější a širší a měl by růst ostřeji s vyšším obsahem glycerolu. Podle studie Nor a kol. by tato skutečnost měla souviset s -OH skupinou, zavedenou do filmu přidáním změkčovadla (Nor, 2017).

Zvýšení intenzity píku amidu I s přidáním glycerolu je způsobeno snadnou tvorbou intermolekulárních vodíkových můstků mezi skupinami C=O a N-H s O-H z glycerolu. Amid I je nejúčinnější pás pro zkoumání proteinových struktur pomocí infračervené spektroskopie. Přesné umístění píku amidu I je ovlivněno vodíkovými vazbami a tvarem proteinu. Typicky mnoho proteinů současně

vykazuje různé formy sekundárních struktur (α-helix, β-list nebo náhodná struktura), což je důvod, proč pík v oblasti amidu I často vykazuje několik větví (Peña-Rodriguez, 2015). Rozsah a intenzita píku amidu II jsou obecně mnohem citlivější na hydrataci než na změny sekundární struktury. Přestože byly filmy sušeny po dobu 24 hodin při 35 °C, rozdíly mohly být způsobeny různým obsahem vody. Vrchol kolem 1 045 cm^{-1} pravděpodobně souvisí s interakcí mezi glycerolem a strukturou filmu (Nor, 2017).

FTIR spektra želatinových filmů s 30 % glycerolu a 40 % glycerolu po UV ozáření v různých časových intervalech ukazují nárůst intenzity všech píků. Nárůst intenzity indikuje tvorbu a přítomnost vícenásobných vazeb charakterizovaných specifickými vlnovými délkami. Tato skutečnost může naznačovat zesíťování vzorků po vystavení UV záření. Po jedné hodině expozice UV záření došlo k dramatickému zvýšení intenzity a při prodloužení expozice UV záření nebyla pozorována žádná další významná změna intenzity.

Všechny připravené filmy vykazují píky v oblastech stejných vlnových délek bez ohledu na koncentraci změkčovadla a délku expozice UV záření, liší se pouze intenzitou.

4.3.5 Termická analýza

Zahřívání vzorků s 30 % a 40 % glycerolu je znázorněno na obrázku 4.7 A,B. Lze zde pozorovat dva kritické přechody: teplotu skelného přechodu, charakterizovanou změnou základní polohy (změna tepelné kapacity); a v tomto případě endotermické zotavení (skleněný přechod a relaxace). Po T_g následuje endotermický pík odpovídající teplotě tání spirální struktury.

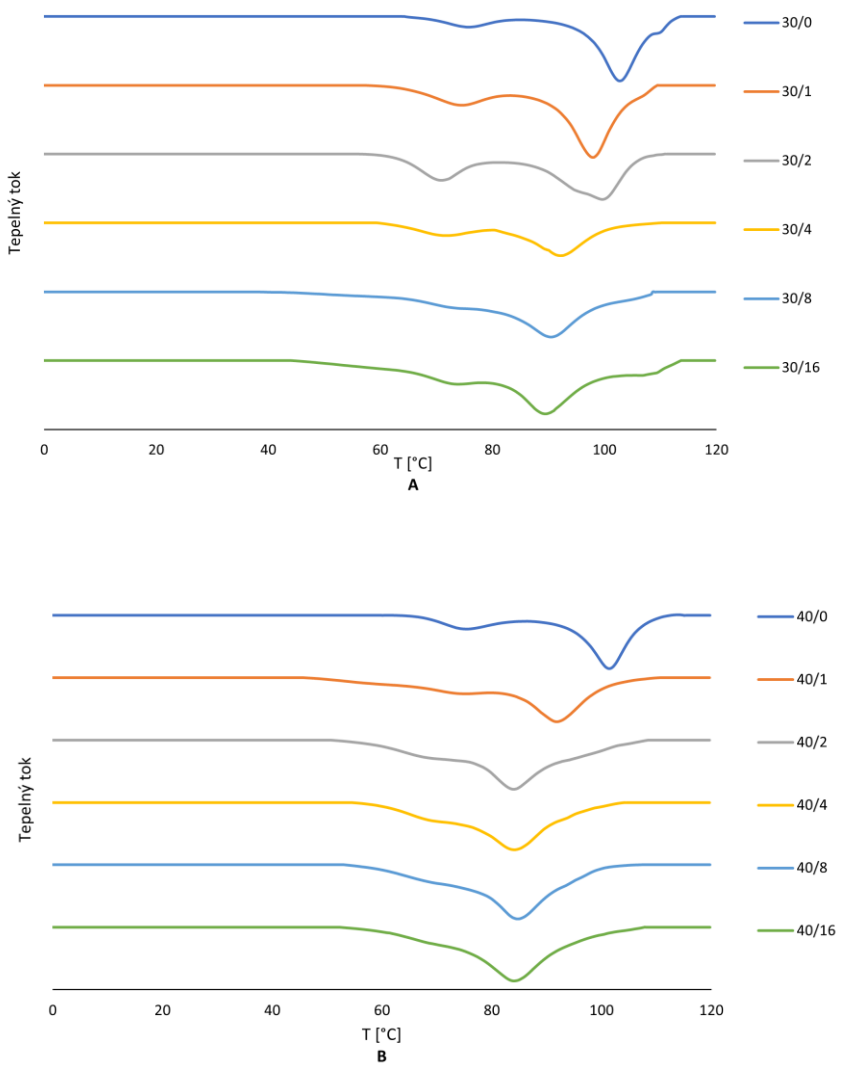
Zahříváním se film mezi T_g a T_m stává elastickým a obsahuje semikrystalickou strukturu tvořenou přítomností trojitých šroubovic. Nad T_m jsou všechny šroubovice roztaveny a film přechází do viskózního kapalného stavu s minimálním rozpouštědlem. Při ochlazení vzorku rychlostí 10 °C/min nemohou šroubovice znovu vytvořit krystalickou fázi, takže želatina je při druhém ohřevu pouze čistě amorfní. Příčinou rozdílů a posunů Tg může být voda imobilizovaná mezi peptidovými řetězci vzorku tvořícími trojitou šroubovici během prvního zahřívání.

V případě filmů s 30 % glycerolu se teplota skelného přechodu snižovala se zvyšující se dobou expozice UV záření. Stejný trend byl pozorován u vzorků se 40% obsahem glycerolu, kde teplota skelného přechodu klesala. Ve studii Coppola a kol. (2008) bylo zjištěno, že vzorky s vyšším obsahem změkčovadla (glycerolu) vykazovaly nižší teploty skelného přechodu. S přídavkem glycerolu se také opět snížila teplota tání.

U většiny studovaných vzorků lze pozorovat, že čím vyšší je obsah glycerolu, tím nižší je bod tání a obecně tím nižší je i teplota skelného přechodu. Rozdílné hodnoty mohou být způsobeny homogenitou vzorků. Pro každou dobu UV záření byl použit jiný vzorek filmu, což mohlo způsobit určité anomálie v charakterizaci. Přestože vzorky pro měření byly odebrány z jednoho filmu, jeho struktura

nemusela být jednotná. Část filmu o hmotnosti 5 mg, která byla pro měření odříznuta, mohla obsahovat drobné mikroskopické vzduchové kapsle nebo praskliny zkreslující výsledek měření. Například vzorek 40/2 také vykazoval odchylné chování při FTIR analýze a testu bobtnání. Statistická analýza za použití dvoufaktorové ANOVA neodhalila statisticky významný vliv doby expozice UV záření nebo obsahu glycerolu na teplotu skelného přechodu nebo teplotu tání.

Ekielski a kol. (2021) pozorovali teplotu tání 150 °C u termoplastického škrobového povlaku bez přidání digestátu a tato teplota se posunula na 180 °C u vzorků s digestátem. Ve všech případech je teplota tání vyšší než u našich vzorků.



Obr. 4.7: DSC zahřívací křivky želatinových filmů s 30 % glycerolu (A) a 40 % glycerolu (B) po ozáření v intervalech 0–16 hodin.

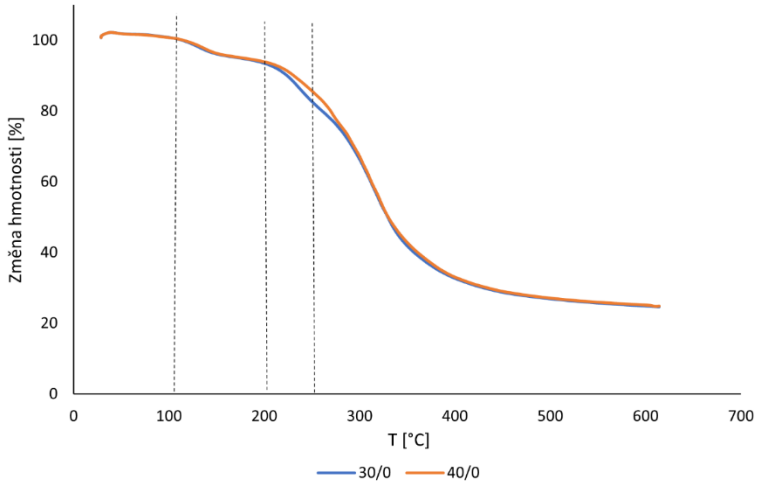
Termogravimetrická analýza (TGA) poskytuje informace o tepelné stabilitě vzorků pomocí vztahu mezi ztrátou hmotnosti a teplotou.

Křivka TGA ukazuje tři oblasti rozkladu. První etapa je spojena s narušením vodíkových můstků a ztrátou povrchové i vnitřně vázané vody. Dá se pozorovat kolem 100 °C. Druhá fáze rozkladu začala kolem 200 °C; v tomto bodě dochází

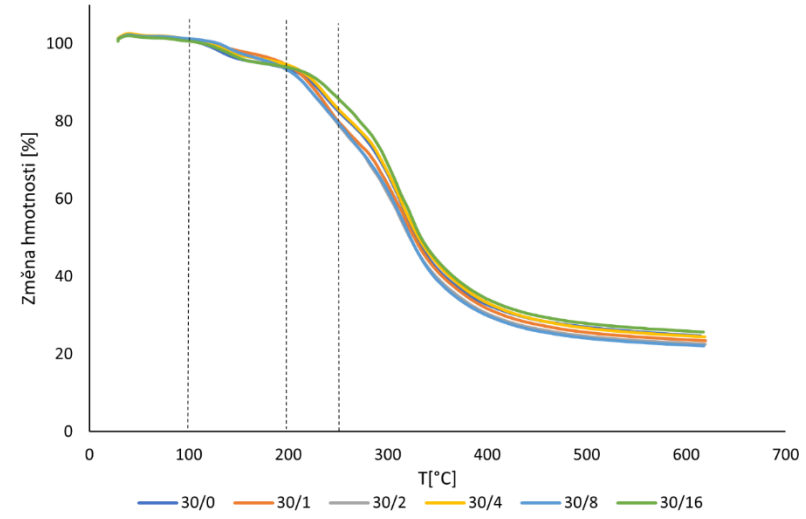
k degradaci a molekulární modifikaci složek želatinového filmu – glycerolu a méně stabilních kratších želatinových řetězců. Poslední fáze nastává kolem 250 °C a označuje depolymerizaci delších želatinových makromolekul (Rosseto, 2021).

Naměřené hodnoty nezesíťovaných vzorků s 30 a 40 % glycerolu (obr. 4.8 A) vykazují stejný trend, jak je uvedeno výše. První stupeň do cca 180 °C je spojen s odstraněním zbytkové vody, která byla 6,27 % u vzorku s 30 % glycerolu a 5,21 % u vzorku se 40 % glycerolu. V oblasti nástupu degradace glycerolu a kratších želatinových řetězců kolem 200 °C je vidět, že vzorek s vyšším obsahem glycerolu vykazuje o 3 % vyšší zbytkovou hmotnost. Třetí fáze degradace dlouhých želatinových řetězců trvala až do teploty asi 500 °C. Když teplota dosáhla 600 °C, měření skončilo. Zbytkové množství bylo u obou vzorků asi 24 %. Toto množství obsahovalo uhlíkové zbytky, které se nemohly při této teplotě v argonu rozložit. Pokud by byl vzorek vystaven působení kyslíku, tyto zbytky uhlíku by mohly shořet a zůstal by pouze obsah popela.

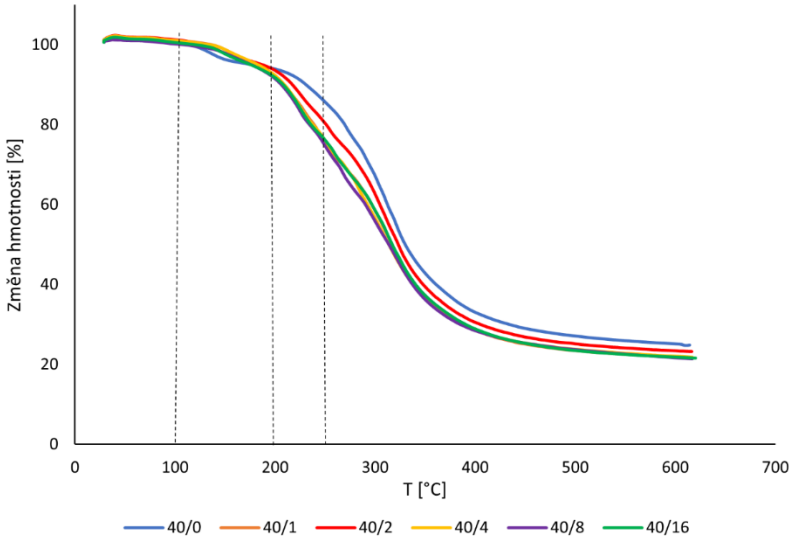
Při porovnání vzorků před a po ozáření vykazují křivky vzorků s 30% a 40% obsahem glycerolu (obrázek 4.8 B,C) po ozáření velmi podobný průběh jako u vzorků neozářených. Opět lze pozorovat tři fáze poklesu kolem stejných teplot se srovnatelným průběhem pro všechny testované vzorky.



A



B



C

Obr. 4.8: Křivka tepelné analýzy pro nezesíťované vzorky s 30 % a 40 % glycerolu (A), pro vzorky s 30 % glycerolu s intervaly UV záření 0–16 hodin (B) a pro vzorky se 40 % glycerolu s intervaly UV záření 0–16 hodin (C). Přerušované čáry při 100 °C označují odpařování volné vody ze vzorků, při 200 °C degradaci krátkých želatinových řetězců a glycerolu a při 250 °C degradaci dlouhých želatinových řetězců.

Termoplastický škrobový film (Ekielski, 2021) vykazoval podobný proces rozkladu jako naše vzorky. Baggio a kol. (2022) studovali vliv množství transglutaminázy na vlastnosti želatinových filmů. Kromě mechanických vlastností zjišťovali i rozsah degradace filmu v půdě termogravimetrií. Jak se množství transglutaminázy zvyšovalo, docházelo k většímu zesíťování a tím k lepší odolnosti vůči biodegradaci. Chiono a kol. (2008) testovali filmy na bázi hovězí želatiny zesíťované genipinem pro lékařské aplikace. Jedním z použitých testů byla termogravimetrická analýza, která prokázala pyrolýzu vzorků při teplotách podobných našim měřením.

5. PŘÍNOS PRÁCE PRO VĚDU A PRAXI

Předložená disertace představuje aplikace kuřecích želatin na přípravu povlaků, vláken a filmů, které mohou být zajímavou alternativu v potravinářských a medicínských aplikacích, kde se pro tyto matrice doposud využívají hovězí nebo vepřové želatiny.

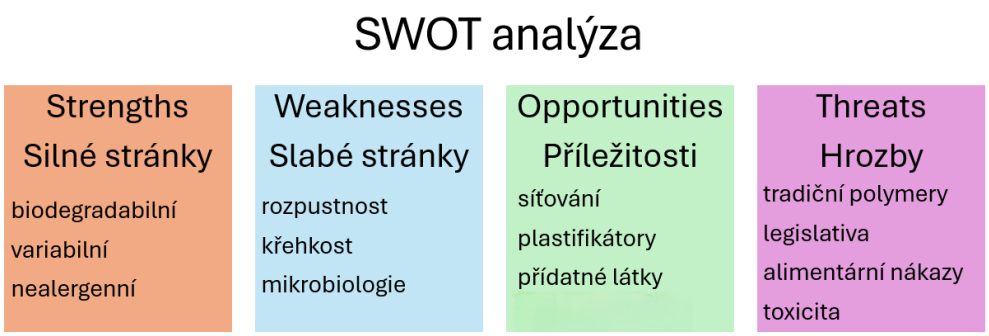
Želatina vzniká částečnou hydrolýzou kolagenu, je plně biodegradabilní, má rozsáhlé aplikační možnosti v potravinářství a medicíně, protože nezpůsobuje alergické reakce. Kolagen je strukturálním proteinem, který se v lidském těle vyskytuje zcela přirozeně. Želatinu lze převádět do různých forem a tvarů z vodných roztoků, což opět pomáhá v rozsahu jejího použití; lze použít i plastifikační techniky.

Materiál čistě založený na želatině se poměrně rychle ve vodném prostředí rozpouští a ztrácí tvar, soudržnost a tím pádem i funkční vlastnosti. Nevýhodou je i křehkost připravených matric a skutečnost, že jde o surovinu, která může sloužit jako živné medium pro mikroorganismy.

Naštěstí existují způsoby, kterými lze tyto slabé stránky eliminovat. Jak tento výzkum prokázal, vhodným způsobem síťování lze dosáhnout výrazného snížení rozpustnosti a stabilizace tvaru připravených matric. Přidáním plastifikátoru se snižuje křehkost, výrobek je pružnější. Do želatinové matrice lze přidat další látky, esenciální oleje, antioxidanty aj., které zlepšují stávající, nebo výslednému materiálu dodávají nové funkční vlastnosti.

I přes výše uvedené výhody zůstávají pro tyto materiály největší výzvou tradiční polymery, na které je naše civilizace zvyklá, jejich výroba relativně levná a jednoduchá, stejně jako jejich skladování. Pro použití želatin z vedlejších produktů jatečného zpracování je rovněž nutné dbát přísných legislativních podmínek především z důvodu zaručení zdravotní nezávadnosti. Při jejich nedodržení hrozí nákaza alimentárními onemocněními. Zdravotní riziko také představují některá chemická síťovadla, především ta na tradiční bázi aldehydů. Toto lze ale vyřešit síťovadly přírodního původu, nebo síťováním pomocí fyzikálních postupů.

SWOT analýza stavu problematiky kuřecích želatin a jejich potenciálu po ověřených výsledcích disertační práce je znázorněna na Obr. 5.1.



Obr. 5.1: SWOT analýza aplikace kuřecí želatiny připravené biotechnologickým způsobem

6. ZÁVĚR

Předložená práce představuje možnosti aplikace materiálů (povlaky, vlákna, filmy) vyrobené z želatiny, která byla připravena inovativním enzymatickým procesem z netradičního zdroje - vedlejších drůbežích produktů.

Výsledky získané z testování povlaků přispívají k rozšíření a možnému rozvoji nových a perspektivních metod konzervace masa jedlým polymerním povlakem na bázi želatiny připravené z kuřecího kolagenu metodou enzymatické extrakce želatiny, který byl vyvinut v rámci našeho výzkumného týmu. Vzorky masa s povlakem, který obsahoval přídavek změkčovadla a síťovadla, vykazovaly po rozmrazení nižší hmotnostní úbytek než vzorky bez povlaku. Zároveň nebyl zjištěn žádný negativní vliv povlaku na další technologické parametry masa, jako je pH, barva či textura. Použití tohoto typu povlaku představuje zcela nový aplikační potenciál kuřecí želatiny připravené ekologickým postupem. Želatinový obal připravený z nepoužitých kuřecích vedlejších produktů zlepšuje kvalitu masa díky zadržování vody a živin v mase konzervační metodou zmrazením a následným rozmražením před gastronomickým zpracováním na kvalitní pokrm, ve studovaném případě hovězí steaky, u nichž je žádoucí zachovat šťavnatost masa a přísun živin pro spotřebitele. Vyšší mrazící teploty, hluboké nebo šokové zmrazování (které jsou pro uchování masa prospěšné), snižují ztráty hmotnosti a pomáhají tak v ekonomice přípravy pokrmů s přínosem pro životní prostředí při zachování šetrného přístupu a neplýtvání potravinami.

Další formou pokročilé aplikace želatin jsou vlákna připravená odstředivým zvlákňováním. Výsledky ukázaly, že vlákna z kuřecí želatiny mají srovnatelné či lepší vlastnosti v oblasti morfologie, bobtnání, rozpustnosti v porovnání s vlákny připravenými z komerčně dostupných vepřových a hovězích želatin. Síťovaná vlákna z kuřecí želatiny vykazovala vyšší odolnost vůči vodě, což je dobrý předpoklad pro jejich použití v balení potravin nebo imobilizace léků (scaffoldy).

Posledním příkladem přispívajícím k rozšíření potenciálních aplikací želatin připravených z nevyužitého kuřecího kolagenu jsou filmy. Fyzikální zesíťování filmů UV zářením pozitivně snížilo bobtnání vzorků a zvýšilo intenzitu vazeb ve srovnání s nezesíťovanými vzorky. IR spektra se mezi testovanými vzorky nelišila tvorbou nových vazeb, ale ve všech případech zesíťované vzorky vykazovaly zvýšení intenzity původních vazeb. Ozáření vzorku po nejkratší době zvýšilo intenzitu existujících vazeb; při delším ozařování se intenzity zvýšily už jen mírně. UV záření pozitivně ovlivnilo strukturální soudržnost želatinových filmů; ani po 16 hodinách expozice nebyla pozorována žádná degradace. Žlutost a zákal nebyly ovlivněny expozicí UV záření. Vyšší podíl plastifikátoru snižuje teplotu skleného přechodu a teplotu tání. Výsledky ukázaly, že biologicky odbouratelné kuřecí želatinové filmy zesíťované UV zářením by mohly být dobrou alternativou želatiny z tradičních zdrojů při výrobě obalových materiálů na potraviny (např. pro čerstvé ovoce a zeleninu, maso nebo pekařské výrobky), a rovněž pro lékařské aplikace (tkáňové inženýrství, distribuce léků atd.).

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AHMAD, M., BENJAKUL, S. Characteristics of gelatin from the skin of *Unicorn leatherjacket* **(***Aluterus monoceros***)** as influenced by acid pretreatment and extraction time. *Food Hydrocolloids*, 2011, iss. 3, p. 25–34.

ALIPAL, J. et al. A review of gelatin: Properties, sources, process, applications, and commercialisation. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2021, iss. 42, p. 240-250 [cit. 2023-07-12].

AN, Bo et al. Collagen interactions: Drug design and delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews* [online]. 2016, iss. 97, p. 69-84 [cit. 2023-07-13].

ARICAN, Fatih et al. Fabrication of gelatin nanofiber webs via centrifugal spinning for N95 respiratory filters. *Bulletin of Materials Science* [online]. 2022, vol. 45, iss. 2 [cit. 2023-12-03].

AROEIRA, Carolina N. et al. Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from Bos indicus and Bos taurus cattle. *Meat Science* [online]. 2016, iss. 116, p. 118–125 [cit. 2023-07-10].

ARRIETA, Marina P. et al. Functional properties of sodium and calcium caseinate antimicrobial active films containing carvacrol. *Journal of Food Engineering* [online]. 2014, vol. 121, p. 94–101 [cit. 2023-07-09].

AUDIC, Jean-Luc, CHAUFER, Bernard. Caseinate based biodegradable films with improved water resistance. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2010, p. 1828–1836 [cit. 2023-07-09].

AVENA-BUSTILLOS, Roberto et al. Water vapor permeability of mammalian and fish gelatin films. *Journal of Food Science* [online]. 2006, vol. 71, p. E202–E207 [cit. 2024-10-19].

BAGGIO, Elizete et al. Transglutaminase effect on the gelatin-films properties. *Polymer Bulletin* [online]. 2022, vol. 79, p. 7347–7361 [cit. 2024-11-08].

BOANINI, Elisa et al. Chemico-physical characterization of gelatin films modified with oxidized alginate. *Acta Biomaterialia* [online], 2010, vol. 6, iss. 2, p. 383–388 [cit. 2024-10-08].

BOURTOOM, Thawien. Edible protein films: characteristics and properties. *International Food Research Journal* [online], 2008, vol. 15, iss 3, p. 237-248 [cit. 2023-07-06].

CAMA-MONCUNILL, Raquel et al. Prediction of Warner-Bratzler shear force, intramuscular fat, drip-loss and cook-loss in beef via Raman spectroscopy and chemometrics. *Meat Science* [online]. 2020, vol. 167 [cit. 2023-07-10].

COPPOLA, Mara. Phase diagram of gelatin plasticized by water and glycerol. *Macromolecular Symposia* [online]. 2008, vol. 273, p. 56–65 [cit. 2024-11-15].

DANG, Xugang et al. Biodegradable films based on gelatin extracted from chrome leather scrap. *International Journal of Biological Macromolecules* [online]. 2018, vol. 107, p. 1023–1029 [cit. 2024-11-13].

DE CARVALHO, Rosemary A. et al. Characterization of gelatin based films modified with transglutaminase, glyoxal and formaldehyde. *Food Hydrocolloids* [online]. 2004, vol. 18, iss. 5, p. 717–726 [cit. 2023-07-07].

DRABEK, Jiri, ZATLOUKAL, Martin. Meltblown technology for production of polymeric microfibers/nanofibers: A review. *Physics of Fluids* [online]. 2019, vol. 31, iss. 9 [cit. 2023-05-01].

DU, Lihui et al. Physicochemical and functional properties of gelatins extracted from turkey and chicken heads. *Poultry Science* [online]. 2013, vol 92, iss. 9, p. 2463–2474 [cit. 2023-07-24].

EKIELSKI, Adam et al. Properties of biocomposites produced with thermoplastic starch and digestate: Physicochemical and mechanical characteristics. *Materials* [online]. 2021, vol. 14, 6092 [cit. 2024-11-06].

EMBUSCADO, Milda E., HUBER, Kerry C. *Edible films and coatings for food applications*. USA: Springer, 2009, p. 367–390. ISBN 978-0-387-92823-4

ETXABIDE, Alaitz et al. Effect of gelatin concentration, ribose and glycerol additions on the electrospinning process and physicochemical

properties of gelatin nanofibers. *European Polymer Journal* [online]. 2022, vol. 180 [cit. 2023-12-03].

GILL, Elisabeth L. et al. Additive batch electrospinning patterning of tethered gelatin hydrogel fibres with swelling-induced fibre curling. *Additive Manufacturing* [online]. 2020, vol. 36 [cit. 2023-12-03].

GORDON, Patrick W. et al. Studies into the swelling of gelatine films using a scanning fluid dynamic gauge. *Food and Bioproducts Processing* [online]. 2010, vol. 88, iss. 4, p. 357–364 [cit. 2023-12-03].

GUNGOR, Melike et al. Developing centrifugal spun thermally cross-linked gelatin based fibrous biomats for antibacterial wound dressing applications. *Polymer Engineering & Science* [online]. 2021, vol. 61, iss. 9, p. 2311–2322 [cit. 2023-12-03].

HASHIM, P. et al. Collagen in food and beverage industries. *International Food* [online]. 2015, vol. 22, iss. 1 [cit. 2023-07-12].

HAUG, Ingvild J. a Kurt I. DRAGET. *Handbook of Hydrocolloids* [online]. Elsevier, 2009, s. 142–163. Kapitola Gelatin. [cit. 2023-08-12].

HAUGH, Matthew G. et al. The effect of dehydrothermal treatment on the mechanical and structural properties of collagen-GAG scaffolds. *Journal of Biomedical Materials Research Part A* [online]. 2009, vol. 89A, iss. 2, p. 363–369 [cit. 2023-07-12].

HUANG, Lynn L. H. et al. Biocompatibility study of a biological tissue fixed with a naturally occurring crosslinking reagent. *Journal of Biomedical Materials Research* [online]. 1998, vol. 42, iss. 4, p. 568–576 [cit. 2023-07-06].

CHAOCHAI, Thitirat et al. Preparation and Properties of Gelatin Fibers Fabricated by Dry Spinning. *Fibers* [online]. 2016, vol. 4, iss. 4 [cit. 2023-12-03].

CHENG, Shasha et al. Influence of multiple freeze-thaw cycles on quality characteristics of beef semimembranous muscle: With emphasis on water status and distribution by LF-NMR and MRI. *Meat Science* [online]. 2019, vol. 147, p. 44–52 [cit. 2023-07-27].

CHIONO, Valeria et al. Genipin-crosslinked chitosan/gelatin blends for biomedical applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* [online]. 2008, vol. 19, p. 889–898 [cit. 2024-10-12].

JABERI, Rahimeh, et al. Effects of vacuum and high-oxygen modified atmosphere packaging on physico-chemical and microbiological properties of minced water buffalo meat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* [online]. 2019, vol. 32, iss. 3, p. 421–429 [cit. 2023-07-10].

JI, Fangqi. et al. Effects of relative molecular weight distribution and isoelectric point on the swelling behavior of gelatin films. Frontiers in Chemistry [online]. 2022, vol. 10, 857976 [cit. 2024-10-21].

JIANG, Bo et al. Electron beam irradiation modification of collagen membrane. *Biomaterials* [online]. 2006, vol. 27, iss. 1, p. 385-408.

KIELISZEK, Marek et al. Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review. *Folia Microbiologica* [online]. 2014, vol. 59, iss. 3, p. 241–250 [cit. 2023-07-07].

KIM, Hyun-Wook et al. Effects of aging and freezing/thawing sequence on quality attributes of bovine Mm. gluteus medius and biceps femoris. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* [online]. 2017, vol. 30, iss. 2, p. 254–261 [cit. 2023-07-10].

KROCHTA, John M., GENNADIOS, Aristippos. *Protein-based films and coatings*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2002, 672 p. ISBN 1-58716-107-9

KUPPAN, Purushothaman et al. PCL and PCL-Gelatin Nanofibers as Esophageal Tissue Scaffolds: Optimization, Characterization and Cell-Matrix Interactions. *Journal of Biomedical* Nanotechnology [online]. 2013, vol. 9, iss. 9, p. 1540–1555 [cit. 2023-12-03].

LEYGONIE, Coleen et al. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science* [online]. 2012, vol. 91, iss. 2, p. 93–98 [cit. 2023-07-09].

LIU, Xinhua et al. Recent advances of collagen-based biomaterials: Multi-hierarchical structure, modification and biomedical applications. *Materials*

Science and Engineering: C [online]. 2019, vol. 99, p. 1509–1522 [cit. 2023-07-13].

LOO, Christine P.Y. a SARBON, Norizah M. Chicken skin gelatin films with tapioca starch. *Food Bioscience* [online]. 2020, vol. 35, 100589 [cit. 2024-10-23].

LU, Lin-Chen, et al. Fish gelatin: The novel potential applications. *Journal of Functional Foods* [online]. 2019, vol. 63 [cit. 2023-07-12].

MANJULA, Kola, BHAGATH, Yerramathi B.. Influence of composite edible coating systems on preservation of fresh meat cuts and products: a brief review on their trends and applications. *International Food Research Journal* [online]. April 2019, vol. 26, iss 2, p. 377–392 [cit. 2023-01-7].

MÎNDRU, Tudorel Bălău et al. Morphological aspects of polymer fiber mats obtained by air flow rotary-jet spinning. *Fibers and Polymers* [online]. 2013, vol. 14, iss. 9, s. 1526–1534 [cit. 2023-12-03].

MITRA, Tapas et al. Preparation and characterization of a thermostable and biodegradable biopolymers using natural cross-linker. *International Journal of Biological Macromolecules* [online]. 2011, vol. 48, iss 2, p. 276–285 [cit. 2023-07-06].

OCKERMAN, Herbert W. et al. *Animal By-Product Processing & Utilization*. Florida, USA: CRC Press LLC. vyd., 1999, 380 p.

MOKREJŠ, Pavel et al. Biotechnological Preparation of Gelatines from Chicken Feet. *Polymers* [online]. June 2019, vol. 11.

MRÁZEK, Petr et al. Biotechnological preparation of chicken skin gelatine using factorial design of experiments. *Food Bioscience* [online]. 2022, vol. 47 [cit. 2023-07-13].

NAGURA, Masanobu et al. Structures and Physical Properties of Cross-Linked Gelatin Fibers. *Polymer Journal*. 2002, vol. 34, iss. 10, p. 761–766 [cit. 2023-12-03].

NOR, Muhamad H. M. et al. Effects of plasticizer concentrations on functional properties of chicken skin gelatin films. *International Food*

Research Journal [online]. 2017, vol. 24, iss. 5, p. 1910–1918 [cit. 2023-11-27].

OLIVEIRA, Matheus, et al. Meat Quality of Chicken Breast Subjected to Different Thawing Methods. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* [online]. 2015, vol. 17, iss. 2, p. 165–171 [cit. 2023-07-26].

PADRÃO, Jorge et al. Modifying Fish Gelatin Electrospun Membranes for Biomedical Applications: Cross-Linking and Swelling Behavior. *Soft Materials* [online]. 2014, vol. 12, iss. 3, p. 247–252 [cit. 2023-12-03].

PATHAK, Chandrashekhar P., MOORE, Mark A. *Cross-linking tissue with a compound having a C8 to C40 aliphatic chain* [patent]. United States Patent, US 6156531. 2000-12-05.

PEÑA-RODRIGUEZ, Cristina et al. Functional properties and in vitro antioxidant and antibacterial effectiveness of pigskin gelatin films incorporated with hydrolysable chestnut tannin. *Food Science and Technology International* [online]. 2015, vol. 21, iss. 3, p. 221–231 [cit. 2023-12-03].

PERKASA, Dian Pribadi et al. Polymeric biomaterials film based on poly(vinyl alcohol) and fish scale collagen by repetitive freeze-thaw cycles followed by gamma irradiation. *Indonesian Journal of Chemistry* [online]. 2013, vol. 13, p. 221–228 [cit. 2024-11-07].

PETERKOVÁ, Petra, LAPČÍK, Lubomír. Kolagen – vlastnosti, modifikace a aplikace. *Chemické listy*, 2000, vol. 94, iss. 6, p. 371–379.

PRANOTO, Yudi et al. Characterizations of fish gelatin films added with gellan and κ-carrageenan. LWT - Food Science and Technology [online]. 2007, vol. 40, p. 766–774 [cit. 2024-11-03].

RAHMAN, Mohammad H., et al. Evaluation of Physicochemical Deterioration and Lipid Oxidation of Beef Muscle Affected by Freeze-thaw Cycles. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources* [online]. 2015, vol. 35, iss. 6, p. 772–782 [cit. 2023-07-26].

RAMAKRISHNA, Seeram. *An introduction to electrospinning and nanofibers*. New Jersey: World Scientific, c2005. ISBN 98-125-6454-3.

RIYAJAN, Sa-Ad, TEPRAK, Anongnad. A Novel Environmentally Friendly Biopolymer Product from Gelatin and Natural Rubber: Effect of Bagasse Fiber and Urea. *Journal of Polymers and the Environment* [online]. 2019, vol. 27, p. 225–233 [cit. 2024-08-01].

ROSSETO, Marieli et al. Accelerated aging of starch-gelatin films with enzymatic treatment. *Journal of Polymers and the Environment* [online]. 2021, vol. 29, p. 1063–1075 [cit. 2024-11-11].

SABANTINA, Lilia et al. Stabilization of Electrospun PAN/Gelatin Nanofiber Mats for Carbonization. *Journal of Nanomaterials* [online]. 2018, vol. 2018, p. 1–12 [cit. 2023-12-03].

ŞAHIN, Aziz, et al. Fatty acid profilies and some meat quality traits at different slaughter weights of Brown Swiss bulls. *Tropical Animal Health and Production* [online]. 2021, vol. 53, iss. 3 [cit. 2023-07-27].

SALES, Luana A. et al. Effect of freezing/irradiation/thawing processes and subsequent aging on tenderness, color, and oxidative properties of beef. *Meat Science* [online]. 2020, vol. 163 [cit. 2023-07-27].

SANCAKLI, Aykut, et al. Effects of bovine gelatin viscosity on gelatin-based edible film mechanical, physical and morphological properties. *SN Applied Sciences* [online]. 2021, vol. 3, iss. 1 [cit. 2023-07-16].

SARKAR, Kamal, et al. Electrospinning to Forcespinning™. *Materials Today* [online]. 2010, vol 13, iss 11, p. 12–14 [cit. 2023-07-22].

SCHRIEBER, Reinhard, GAREIS, Herbert. *Gelatine Handbook—Theory and Industrial Practice*, Weinheim: Wiley-VCH, 2007, p. 45–117. ISBN 978-3-527-31548-2

SUDERMAN, Norafidah, SARBON, Norizah M. Optimization of chicken skin gelatin film production with different glycerol concentrations by response surface methodology (RSM) approach. *Journal of Food Science and Technology* [online]. 2020, vol. 57, iss. 2, p. 463–472 [cit. 2023-07-16].

SUHAIMA, Nurafi Razna el al. Comparison of fish and mammalian gelatin film properties: A meta-analysis. *AIMS Agriculture and Food* [online]. 2022, vol. 7, s. 461–480 [cit. 2024-10-26].

SUN, Chenkai et al. Fabrication and characterization of nanofibrous gelatin/chitosan-poly (ethylene oxide) membranes by electrospinning with acetic acid as solvent. *Journal of Polymer Research* [online]. 2021, vol. 28, 482 [cit. 2024-07-23].

ŠUPUT, Danijela Z. et al. Edible films and coatings: Sources, properties and application. *Food Feed Res* [online]. 2015, vol. 42, iss. 1, p. 11–22 [cit. 2023-07-08]. ISSN 2217-5369.

THOMAZINE, Maira et al. Physical Properties of Gelatin Films Plasticized by Blends of Glycerol and Sorbitol. *Journal of Food Science* [online]. 2005, vol. 70, iss. 3, p. E172–E176 [cit. 2023-07-16].

TYUFTIN, Andrey A. et al. Parameters affecting the water vapour permeability of gelatin films as evaluated by the infrared detecting method ASTM F1249. *Sustainability* [online]. 2022, vol. 14, 9018 [cit. 2024-10-28].

WANG, Feng et al. *Collagen-Derived Materials* [online]. Wiley, 2022 [cit. 2023-07-13]. ISBN 9783527349623.

WANG, Quan-Quan et al. Alginate/gelatin blended hydrogel fibers cross-linked by Ca^{2+} and oxidized starch: Preparation and properties. Materials Science and Engineering [online]. 2019, vol. 99, p. 1469–1476 [cit. 2024-07-29].

WANGTUEAI, Sutee et al. Processing optimization and characterization of gelatin from lizardfish (Saurida spp.) scales. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2009, vol. 42, iss. 4, p. 825–834 [cit. 2023-07-12].

WEITZ, Ralf T. et al. Polymer Nanofibers via Nozzle-Free Centrifugal Spinning. *Nano Letters* [online]. 2008, vol. 8, iss. 4, p. 1187–1191 [cit. 2023-07-22].

XIN, Ying et al. Comparative study on the gel properties and nanostructures of gelatins from chicken, porcine, and tilapia skin. *Journal of Food Science* [online]. 2021, vol. 86, iss. 5, p. 1936–1945 [cit. 2023-07-13].

XUE, Jiajia et al. Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications. *Chemical Reviews* [online]. 2019, vol. 119, iss. 8, p. 5298–5415 [cit. 2023-05-01].

8. SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

Tabulky

Tabulka 4.1 Hodnoty WBSF [N] u vzorků s povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování.
Tabulka 4.2 Hodnoty WBSF [N] u vzorků se zesíťovaným povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování.
Tabulka 4.3 Hodnoty barvy u vzorků s povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování
Tabulka 4.4 Hodnoty barvy u vzorků se zesíťovaným povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování
Tabulka 4.5 Úbytek hmotnosti (%) masa po rozmrazení s povlakem a bez něj v závislosti na způsobu zmrazování a rozmrazování
Tabulka 4.6 Bobtnání a rozpustnost želatinových vláken
Tabulka 4.7 Bobtnání a rozpustnost želatinových filmů
Tabulka 4.8 Žlutost a zákal filmů v závislosti na době expozice UV záření

Obrázky

Obr. 1.1: SWOT analýza vedlejších drůbežích produktů
Obr. 2.1: Příklad postupu výroby želatiny
Obr. 2.2: Schéma síťování alginátem
Obr. 2.3: Schéma síťování transglutaminázou
Obr. 2.4: Schéma jehlového odstředivého zvlákňování
Obr. 4.1: Hmotnostní ztráty masa po rozmražení v závislosti na teplotě mražení a způsobu rozmražení
Obr. 4.2: Morfologie vláken připravených z nezesítěné kuřecí (A), vepřové (B) a hovězí želatiny (C); zesíťovaná vlákna připravená z kuřecí (D), vepřové (E) a hovězí želatiny (F).
Obr. 4.3: Porovnání spekter zesíťovaných (A) a nezesíťovaných (B) vláken želatiny
Obr. 4.4: Přírůstek hmotnosti filmů s 30 % glycerolu (A) a 40 % glycerolu (B) s intervaly 1–16 hodin UV záření pro měření paropropustnosti.
Obr. 4.5: Propustnost vodních par filmů obsahujících 30 % glycerolu (A) a 40 % glycerolu (B) po 1–16 hodinách UV záření.
Obr. 4.6: Vibrační charakteristika funkčních skupin želatinových filmů obsahujících 30 % a 40 % glycerolu po UV ozáření v intervalech 0–16 hodin.
Obr. 4.7: DSC zahřívací křivky želatinových filmů s 30 % glycerolu (A) a 40 % glycerolu (B) po ozáření v intervalech 0–16 hodin.
Obr. 4.8: Křivka tepelné analýzy pro nezesíťované vzorky s 30 % a 40 % glycerolu (A), pro vzorky s 30 % glycerolu s intervaly UV záření 0–16 hodin (B) a pro vzorky se 40 % glycerolu s intervaly UV záření 0–16 hodin (C).
Obr. 5.1: SWOT analýza aplikace kuřecí želatiny připravené biotechnologickým způsobem

9. PŘEHLED PUBLIKAČNÍCH A DALŠÍCH AKTIVIT BĚHEM STUDIA

SEZNAM ČLÁNKŮ PUBLIKOVANÝCH NA WoS

A) MARTINEK, Jakub et al. The Effect of Application of Chicken Gelatin on Reducing the Weight Loss of Beef Sirloin after Thawing. Polymers. 2022, vol. 14, iss. 15. ISSN 2073-4360. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/polym14153094

B) MARTINEK, Jakub et al. Characterization of Fibers Prepared by Centrifugal Spinning from Biotechnologically Derived Chicken Gelatin. Foods. 2024, vol. 13, iss. 16. ISSN 2304-8158. Dostupné z https://doi.org/10.3390/foods13162630

C) MARTINEK, Jakub et al. Effect of UV Exposure Time on the Properties of Films Prepared from Biotechnologically Derived Chicken Gelatin. Processes. 2025, vol. 13, iss. 1. ISSN 2227-9717. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/pr13010091.

OSTATNÍ PUBLIKAČNÍ ČINNOST

MARTINEK, Jakub et al. Poultry gelates from by-products as a potential material for preparation of edible packaging. In Bezpečnosť a kontróla potravín 2020. 2020, s. 199-206, ISBN 9788055221687. Dostupné z: https://doi.org/10.15414/2020.9788055221687

MARTINEK, Jakub et al. Preparation of gelatine from poultry bones residue. In Mendelnet 2020. 2021, s. 341-346, ISBN 978-80-7509-765-1. Dostupné z: https://mendelnet.cz/artkey/inf-990000-0100_History.php

MARTINEK, Jakub et al. Reduction of weight loss after defrosting of meat using a gelatine-based coating. In Mendelnet 2021. 2022, s. 286-291, ISBN: 978-80-7509-821-4. Dostupné z: https://mendelnet.cz/artkey/inf-990000-0100_History.php

DALŠÍ AKTIVITY

A) Konference

- účast na konferenci Mendelnet 2021 (Brno)

B) Projekty

- účast na projektu IGA 2019/003
- účast na projektu IGA 2020/002
- účast na projektu IGA 2021/007 (řešitel projektu)
- účast na projektu IGA 2022/003
- účast na projektu IGA 2023/008

C) Stáže a kurzy

- Kurz základů vědecké práce v Akademii věd ČR
- zahraniční stáž listopad a prosinec 2022 Rzeszow University, Institute of Food Technology and Nutrition

10. ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORA

Osobní údaje

Jméno a příjmení: Jakub Martinek

Titul: Ing.

Datum narození: 18.01.1989

Kontaktní adresa: Svadůvky 138/3, 796 07 Držovice

Email: martinek.j89@seznam.cz

Vzdělání

2019 – doposud Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav inženýrství polymerů – Technologie makromolekulárních látek

2021–2023 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta humanitních studií, Studium v oblasti pedagogických věd k získání kvalifikace učitele 2. stupně ZŠ a SŠ

2017–2019 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav technologie potravin – Technologie potravin

2014–2017 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav technologie potravin – Chemie a technologie potravin

2000–2008 Gymnázium Jiřího Wolkera v Prostějově, všeobecné vzdělání

Zahraniční stáž

listopad–prosinec 2022 Odborná stáž Polsko

University of Rzeszów, Institute of Food Technology and Nutrition

Znalosti

Počítačové znalosti: MS Windows, internet, MS Office – pokročilý uživatel

Řidičský průkaz: sk. B

Evropský certifikát první pomoci EFAC

Zdravotník zotavovacích akcí

Jakub Martinek

Využití biotechnologicky získaných želatin pro potravinářské a lékařské aplikace

Utilization of biotechnologically derived gelatins for food and medical applications

Teze disertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,

nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: vyšlo elektronicky

Sazba: Jakub Martinek

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2025

Pořadí vydání: první

ISBN 978-80-7678-332-4