

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Pektinové obaly s obsahem antokyanů jako indikátory kažení potravin

Bakalářská práce

2024

Lukáš Culek

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2024/2025

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lukáš Culek**  
Osobní číslo: **C22053**  
Studijní program: **B0531A130024 Hodnocení a analýza potravin**  
Téma práce: **Pektinové obaly s obsahem antokyanů jako indikátory kažení potravin**  
Téma práce anglicky: **Pectin-based coatings containing anthocyanins as indicators of food spoilage**  
Zadávací katedra: **Katedra analytické chemie**

## Zásady pro vypracování

1. V práci definujte termín potravinářský obal v souvislosti s legislativou. Popište základní chemické a funkční vlastnosti antokyanů a pektinů, včetně metod jejich získávání z potravinářských zdrojů. Popište stručně proces kažení masa. S využitím odborných databází dostupných v rámci sítě UPCE zpracujte přehled o možnostech detekce čerstvosti masa s využitím inteligentních obalů.
2. Připravte pektinový obal s přídavkem antokyanů a ověřte, zda jsou schopny detekovat zhoršující se kvalitu masa během skladování změnou své barevnosti.
3. Výsledky vyhodnoťte a určete, zda jsou obaly vhodné pro monitorování čerstvosti masa.

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:  
Podle pokynů vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Libor Červenka, Ph.D.**  
Katedra analytické chemie

Datum zadání bakalářské práce: **7. února 2025**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2025**

**prof. Ing. Petr Němec, Ph.D.** v.r.  
děkan

L.S.

**doc. Ing. Petr Česla, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. února 2025

## Prohlášení

Prohlašuji:

Práci s názvem Jedlé obaly s přídavkem antokyanů jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 23.6.2025

Lukáš Culek v.r.

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Liboru Červenkovi, Ph.D., za trpělivost a podporu, ale také za poskytnutá doporučení, rady a připomínky, které vedly k dokončení této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval své rodině i přátelům za jejich psychickou podporu během psaní této bakalářské práce.

## **ANOTACE**

Práce se zabývá národní i evropskou legislativou týkající se potravinářských obalů a materiálů určených pro styk s potravinami. Dále se věnuje vybraným chemickým látkám, jejich chemickým a fyzikálním vlastnostem a také metodám, kterými jsou zjišťovány. Ve druhé části práce je popsána metodika přípravy pektinových obalů s přídavkem lyofilizovaných prášků plodů obsahující antokyany. Tyto obaly byly testovány jako možný indikátor čerstvosti masa.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Obaly, antokyany, indikátory, kažení

## **TITLE**

Pectin-based coatings containing anthocyanins as indicators of food spoilage

## **ANNOTATION**

The thesis deals with national and European legislation concerning food packaging and materials intended for contact with food. It also addressed selected chemical substances, focusing on their chemical and physical properties and methods, as well as the methods used for their identification. The second part of the thesis outlines the methodology for preparing pectin-based coatings supplemented with freeze-dried fruit powders rich in anthocyanins. These coatings were evaluated for their potential application as indicators of meat freshness.

## **KEYWORDS**

Coatings, anthocyanins, indicators, spoilage

# OBSAH

## OBSAH 7

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK .....	9
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	10
TERMINOLOGIE .....	11
ÚVOD.....	12
1 TEORETICKÁ ČÁST .....	13
1.1 Evropská legislativa obalů .....	13
1.2 Antokyany.....	16
1.2.1 Chemická struktura .....	16
1.2.2 Vlastnosti .....	16
1.2.3 Zdroje.....	17
1.2.4 Využití antokyanů v obalových materiálech.....	17
1.3 Pektin .....	20
1.3.1 Chemická struktura .....	20
1.3.2 Vlastnosti .....	21
1.3.3 Zdroje.....	22
1.4 Glycerol .....	23
1.4.1 Chemická struktura .....	23
1.4.2 Vlastnosti .....	23
1.4.3 Zdroje.....	23
1.5 Kažení masa .....	25
1.6 Spektrometrie.....	27
1.6.1 Barevnost .....	29
2 PRAKTICKÁ ČÁST .....	31
2.1 Použité přístroje a chemikálie.....	31
2.2 Metodika .....	31

2.2.1	Příprava filmu .....	31
2.2.2	Spektrální vlastnosti.....	31
2.2.3	Proces kažení masa .....	32
2.3	Výsledky a diskuse .....	33
2.3.1	Spektrální vlastnosti filmů.....	33
2.3.2	Proces kažení masa .....	36
Závěr		38
Použitá literatura.....		39
Přílohy		49

## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

<b>Obrázek 1:</b> Struktury běžných antokyanů [12] .....	16
<b>Obrázek 2:</b> Ukázka struktur pektinu [32] .....	20
<b>Obrázek 3:</b> Schéma jednopaprskového spektrofotometru [63] .....	28
<b>Obrázek 4:</b> Ukázka kolorimetrického prostoru CIELAB [73] .....	30
<b>Tabulka 1:</b> Rozdělení simulantů potravin [4] .....	14
<b>Tabulka 2:</b> Příklad podmínek migračních testů [4] .....	14
<b>Tabulka 3:</b> Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) brusinkového prášku .....	33
<b>Tabulka 4:</b> Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) brusinkového prášku při kažení kuřecího masa .....	33
<b>Tabulka 5:</b> Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) rybízového prášku ...	34
<b>Tabulka 6:</b> Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) rybízového prášku při kažení kuřecího masa .....	34
<b>Tabulka 7:</b> Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) borůvkového prášku	34
<b>Tabulka 8:</b> Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) borůvkového prášku při kažení kuřecího masa .....	35
<b>Tabulka 9:</b> Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) aroniového prášku ...	35
<b>Tabulka 10:</b> Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) aroniového prášku při kažení kuřecího masa .....	36

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AAS ..... atomová absorpční spektrometrie

AES..... atomová emisní spektrometrie

UV..... ultra fialová/é

CIE..... Commission Internationale l'Eclairage

## **TERMINOLOGIE**

Inteligentní obaly: obaly, které plní nejen ochrannou funkci, ale zároveň monitorují stav potravin. Získané informace o její kvalitě poté předávají spotřebiteli např. změnou barvy.

Spektrometrie: jedná se o fyzikálně-chemickou metodu, která studuje interakci elektromagnetického záření s hmotou, a měří intenzitu světla v závislosti na jeho vlnové délce.

Kolorimetrie: je vědní disciplína zabývající se vymezením a kvantifikací barev. Existuje také stejnojmenná metoda, která stanovuje koncentraci barevných roztoků pomocí kolorimetru porovnáváním intenzity zbarvení se standardem.

# ÚVOD

Neodmyslitelnou součástí potravinářského průmyslu jsou obaly a obalové materiály. Obaly prošly v průběhu historie mnohými změnami, ať už jde o používaný materiál, nebo způsob výroby. V dnešní době, vzhledem ke zhoršujícím se ekologickým podmínkám, je kladen stále větší důraz na recyklaci a zavedení ekologičtějších způsobů produkce obalů. Dalším moderním trendem je vývoj aktivních a inteligentních obalů, popřípadě výroba biologicky rozložitelných obalů.

Cílem práce je otestovat obalový materiál s přídavkem lyofilizovaného prášku z různých druhů plodů obsahující antokyanová barviva jako případný indikátor kažení masa.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Evropská legislativa obalů

Zákonů, které se týkají obalů a obalových materiálů v potravinářském průmyslu je hned několik. Prvním a nejvýznamnějším zákonem je zákon č. 110/1997 Sb. Zákon o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů. Tento zákon udává obecné vlastnosti, které by měly obaly potravin splňovat. Například, že daný obal musí potravinu chránit před jejím znehodnocením, že musí být na obalu jasně a srozumitelně uvedený název potraviny, její výrobce, země původu, datum minimální spotřeby, složení a další náležitosti zmíněné v tomto zákoně [1].

Důležitými zákony týkající se potravin jsou také zákon č. 634/1992 Zákon o ochraně spotřebitele a zákon č. 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Ten nařizuje, že obaly a obalové materiály musí být bezpečné, tedy že: „za obvyklých nebo běžně předvídatelných podmínek nezpůsobily poškození zdraví fyzických osob nebo nepříznivé ovlivnění potraviny nebo pokrmu.“ Také definuje povinnosti výrobců, distributorů a prodávajících z pohledu mikrobiologické čistoty a hygieny [2, 3].

Je třeba zmínit vyhlášku č. 38/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami a pokrmy. Ta udává požadavky na čistoty a limity materiálů a látek používaných na výrobu obalů, jejich potisk či barvení. Mimo jiné určuje podmínky ověřování dodržení hygienických požadavků. Jednou z metod kontroly jsou takzvané „zkoušky migrace“. Vyhláška také určuje pravidla těchto zkoušek viz. tabulka 1 a 2 [4].

**Tabulka 1:** Rozdělení simulantů potravin [4]

Druh potravin	Konvenční klasifikace	Simulant potravin	Zkratka
Vodné potraviny (t.j. vodné potraviny mající $\text{pH} > 4,5$ )	Potraviny se zkouší za použití stimulantu A podle kapitoly II	Destilovaná voda nebo voda odpovídající kvality	Simulant A
Kyselé potraviny (t.j. vodné potraviny mající $\text{pH} \leq 4,5$ )	Potraviny se zkouší za použití stimulantu B podle kapitoly II	Kyselina octová 3 % (hmotnost/objem)	Simulant B
Alkoholické potraviny	Potraviny se zkouší za použití stimulantu C podle kapitoly II	Ethanol 10 % (V/V) Tato koncentrace musí být upravena podle skutečné koncentrace alkoholu v potravine, jestliže překročí 10 % (V/V)	Simulant C
Tukové potraviny	Potraviny se zkouší za použití stimulantu D podle kapitoly II	Rektifikovaný olivový olej nebo jiný tukový potravinový simulant	Simulant D
Suché potraviny		Žádný	Žádná

Veškeré materiály, jenž je zamýšleno použít jako obalový materiál potravin, musí být předem otestovány a schváleny [4].

**Tabulka 2:** Příklad podmínek migračních testů [4]

Podmínky nejnejpříznivějšího způsobu použití zkoušeného výrobku	Podmínky migrační zkoušky
Nejdelší doba předvídatelného použití výrobku	Doba migrační zkoušky
$T \leq 5 \text{ min}$	Viz. podmínky v kapitole II, bod 4.4
$5 \text{ min} < t \leq 0,5 \text{ h}$	0,5 h
$0,5 \text{ h} < t \leq 1 \text{ h}$	1 h
$1 \text{ h} < t \leq 2 \text{ h}$	2 h
$2 \text{ h} < t \leq 4 \text{ h}$	4 h
$4 \text{ h} < t \leq 24 \text{ h}$	24 h
$t > 24 \text{ h}$	10 dnů

Migrační testy obalů potravin se řídí i dalšími právními předpisy. Jmenovitě nařízení komise EU č. 10/2011, které dále specifikuje a upřesňuje metodiku migračních testů. Do detailů rozebírá celkové a specifické migrační limity a jakým způsobem vyjadřovat výsledky. Součástí tohoto nařízení je také obsáhlý seznam povolených látek a materiálů určených pro styk s potravinami, a to včetně látek používaných na výrobu požitelných obalů, například glycerol (č. 103) nebo pektin (č. 546) [5]. Na toto nařízení navazuje opravné nařízení komise EU

2016/1416, které rozšiřuje seznam povolených látek určených pro styk s potravinami, upravuje povolené migrační limity a unifikuje vyjadřování výsledků [6].

Materiály určené pro styk s potravinami jsou dále podřízeny nařízením Evropského parlamentu a rady č. 1935/2004. Jedná se o právní předpis zaměřený na značení, kontrolu, sankce a další opatření [7].

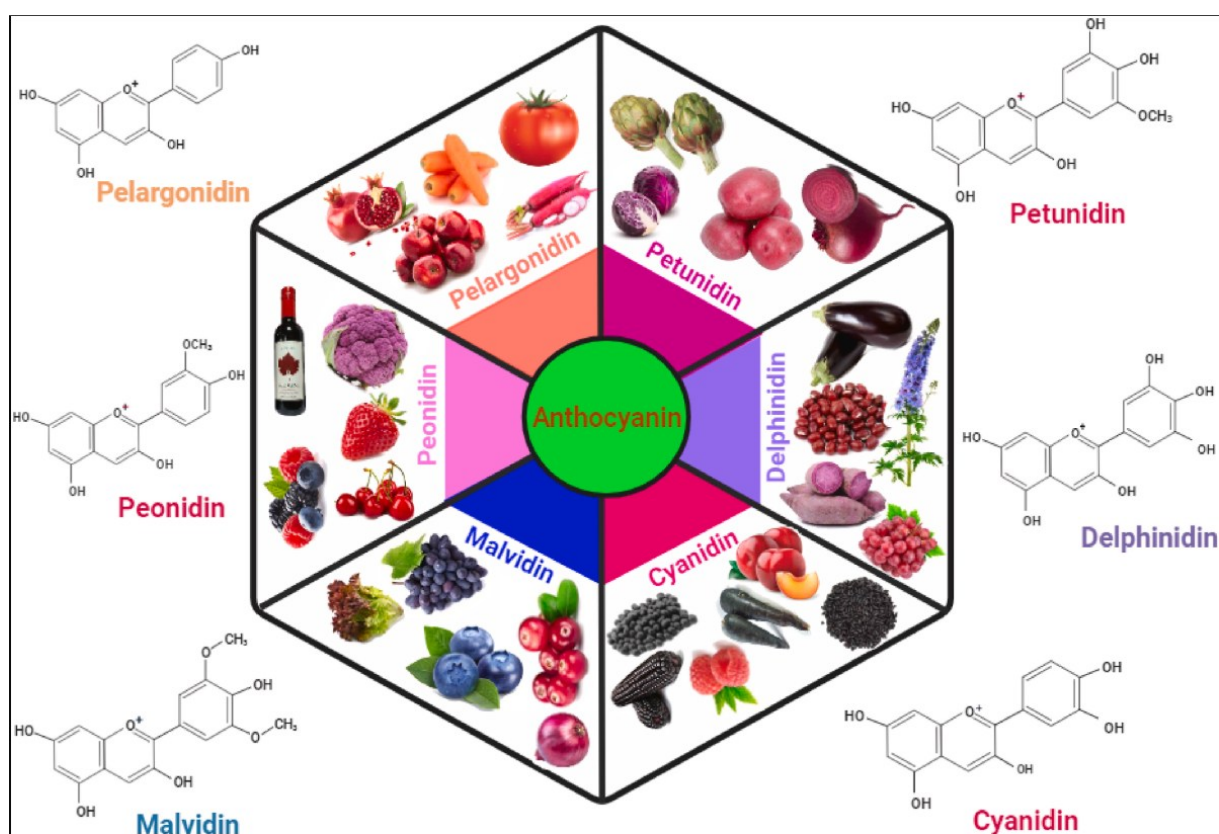
Dalším nařízením, kterému jsou obaly podrobeny je nařízení komise č. 2023/2006. Zaměřuje se na všechny fáze výroby, distribuci a kontrolu jakosti, a to jak samotných materiálů, tak i potiskových barev [8].

A v neposlední řadě je tu skupina zákonů a směrnic zaměřených na povinnosti při nakládání s obaly, požadavky na výrobu a složení obalů, a jejich recyklaci. Velký důraz se klade hlavně na plán Evropské unie o zvýšení rozsahu recyklace a opětovného využití obalového odpadu. Jmenovitě jde o zákon č. 477/2001 Zákon o obalech a směrnici Evropského parlamentu a Rady 94/62/ES a směrnici 2018/852 [9–11].

## 1.2 Antokyany

### 1.2.1 Chemická struktura

Antokyany rozumíme skupinu biologicky aktivních barviv rostlinného původu, které mají intenzivní červené, modré, fialové, někdy až černé zbarvení. Z chemického hlediska se jedná o flavonoidy, což jsou deriváty jejichž základ tvoří flavyliový iont. Na něj jsou navázány hydroxy a methoxy skupiny. Jejich počet a umístění záleží na typu daného antokyanu. Mezi běžně se vyskytující patří například: kyanidin, delphinidin, malvidin, peonidin, petunidin nebo třeba pelargonidin. V přírodě se vyskytují nejčastěji ve spojení s cukry například: glukosa, galaktóza, arabinóza a další. Popřípadě mohou být dále modifikovány navázáním aromatických nebo alifatických organických kyselin [12–16].



Obrázek 1: Struktury běžných antokyanů [12]

### 1.2.2 Vlastnosti

Antokyany jsou velmi slabé kyseliny, dobře rozpustné ve vodě. Díky své struktuře mají antokyany hned dvě absorpční maxima. První ve viditelné oblasti spektra kolem 500 nm a druhé v UV oblasti přibližně 280 nm. Jejich zbarvení je závislé na pH a přechází z červené v kyselém prostředí, na fialovou až modrou barvu v rozmezí pH 3–6. V alkalické oblasti pH > 8 ovšem

dochází k otevření kruhu a jejich degradaci na nažloutlé či bezbarvé produkty. Antokyany se také degradují teplotou a slunečním světlem. Dalším degradačním faktorem je kyslík, na nějž jsou citlivé díky velkému množství násobných vazeb. Zajímavá je také jejich interakce s kyselinou askorbovou, kdy dochází k rychlé degradaci obou sloučenin. Sírany, siřičitany a enzymy, jmenovitě gykosidázy, peroxidázy a fenolázy jsou dalšími degradačními činiteli. Antokyany jsou poměrně stabilní při  $\text{pH} \leq 2$ . Ukázalo se, že antokyany obsahující více methoxy skupin jsou stabilnější. Jejich stabilitu lze dále zvýšit, pokud dojde k vytvoření komplexů antokyanů s kovy, například: kationty mědi, železa, hliníku či hořčíku. Podmínkou vytvoření těchto komplexů je dostatečné množství volných hydroxy skupin. Další možností, jak stabilizovat antokyany je, pokud dojde ke ko-pigmentaci s fenolickými látkami. Zvyšující se zájem o potlačení syntetických barviv v potravinách umožnil antokyanům a dalším přírodním barvivům dostat se do popředí. Antokyany v potravinách najdeme pod označením E163. Jsou přidávány do potravin nejen díky svým barvám, ale také pro své antioxidační schopnosti. Ty jsou žádané jak v potravinářském průmyslu, tak ve farmakologii. Nejlepším antioxidantem z celé skupiny je delphinidin. S antioxidačními vlastnostmi souvisí jejich schopnost prevence mutací a nádorového bujení. Antokyany působí protizánětlivě a mají také příznivý vliv na zdravý osob trpícími kardiovaskulárními chorobami nebo obezitou. Své uplatnění našli i v kosmetice, kde se využívají nejen jako přírodní pigmenty, ale i jejich schopnost absorbovat sluneční záření a chránit tak pokožku [12, 14–22].

### 1.2.3 Zdroje

Antokyany je možné nalézt napříč rostlinným spektrem. Příkladem zeleniny mohou být červené zelí, lilek nebo červená cibule. Co se týče ovoce, nabízí se třešně, jahody, ostružiny a maliny, či švestky. Skvělým zdrojem antokyanů jsou také bobule. Mezi něž patří: borůvky, aronie, brusinky, černý rybíz a hroznové víno. Antokyany můžeme v některých případech nalézt i v obilovinách, nebo dokonce v dřevinách. Jsou také nesdílňnou součástí květín červeného a fialového zbarvení. Z těchto zdrojů jsou antokyany izolovány a extrahovány, ať už prostou extrakcí z rozmělněného vzorku, nebo usnadněnou extrakcí za pomoci ultrazvuku či enzymů [12, 21].

### 1.2.4 Využití antokyanů v obalových materiálech

Díky zvyšujícím se nárokům na bezpečnost spotřebitelů byl v posledních letech zaznamenán neustálý rozvoj v odvětví inteligentních obalů a senzorů, určených k monitorování potravin. Spolu s trendem preference přírodních barviv, zvláště barviv rostlinného původu, mělo za

následek čím dál častější využití antokyanů v této oblasti. Staly se velice účinným nástrojem pro monitoring a kontrolu kvality potravin díky své schopnosti reagovat na změny pH, některé plyny či teplotu. Jako obzvláště užitečná je jejich vlastnost měnit barvu podle změny hodnoty pH [12].

Jedna studie přinesla užitečnou informaci týkající se stability vodných roztoků antokyanů. Ukázalo se, že barva a stabilita těchto roztoků je značně ovlivněna teplotou, ve které jsou skladovány. Roztoky skladované při teplotě 4 °C vykazovaly vynikající chemickou a barevnou stabilitu. Ovšem u roztoků skladovaných při 65 °C došlo v průběhu skladování k poklesu koncentrace a barevného zbarvení. Další důležitý poznatek je, že rychlost degradace antokyanů ve vodných roztocích bez přítomnosti cukrů, organických kyselin, proteinů, kovových iontů atd. byla rychlejší, než by tomu bylo u skutečných potravin [19].

Byl vyvinut inteligentní kolorimetrický film na bázi polyvinylalkoholu a glycerolu, do kterého byly začleněny nanokomplexy ovalbumin–propylenglykolalginátu s obsahem antokyanů. Cílem bylo vytvořit a otestovat stabilní indikátor pH pro monitoring čerstvosti vepřového masa v reálném čase. Film vykazoval barevnou odezvu na pufrы o různé hodnotě pH a také vysokou citlivost na těkavý amoniak. Během skladování vepřového masa vykazoval film dobrou stabilitu a potenciál efektivně indikovat čerstvost masných výrobků v inteligentních obalech na potraviny [23].

Testováním se ukázalo, že indikátory impregnované antokyanů jsou poměrně selektivní na sloučeniny na bázi aminů. Po vystavení různým organickým sloučeninám, došlo ke změně barvy pouze u indikátorů vystavených dimethylaminu, trimethylaminu a amoniaku, kde došlo ke změně barvy z růžové na fialovou, zelenou a modrou. Naproti tomu indikátory, které byly vystavené ethanolu nebo acetonu zůstaly beze změny. Dalším potěšujícím zjištěním byl fakt, že tyto indikátory odolávají vlivům vzdušné vlhkosti, což rozšiřuje možnosti jeho potenciální aplikace. Díky vysoké stabilitě, selektivitě, citlivosti a rychlému času detekce NH<sub>3</sub> budou přínosem nejen pro kontrolu bezpečnosti potravin. Získané poznatky by mohly sloužit i k rozvoji nových, ekologičtějších metod analýzy potravin [24].

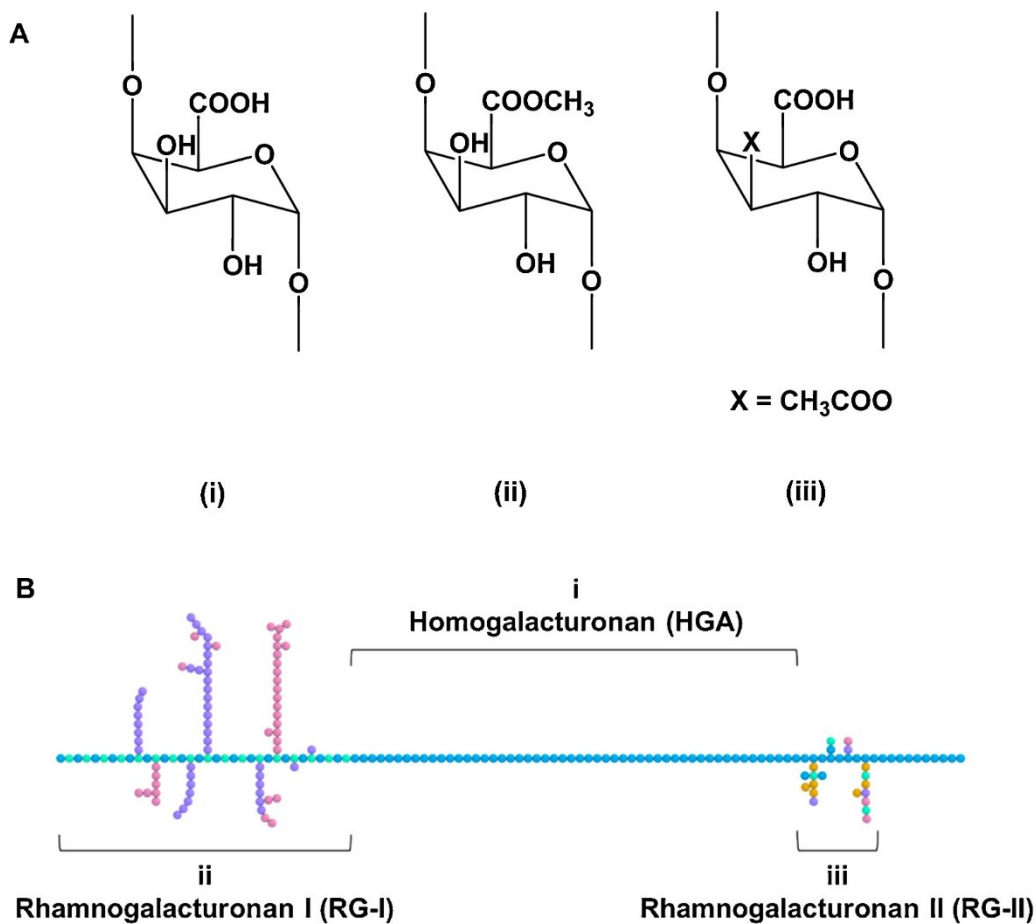
Několik dalších studií popsaly přípravu, vlastnosti a testování filmů vytvořených převážně na bázi polyvinylalkoholu a další látky, např.: celulózy nebo methylcelulózy. Do této matrice byly následně různým způsobem zabudovány antokyanů. Cílem těchto výzkumů bylo vytvořit inteligentní filmy pro vizuální sledování čerstvosti různých druhů masa, např.: kuřecího či vepřového, nebo mořských plodů. Následně byly zkoumány vlastnosti filmů, včetně fyzikálně-chemických, antioxidačních, antimikrobiálních vlastností, uvolňování anthokyanů a barevných změn v důsledku změny pH. Díky těmto výhodám byly filmy testovány pro sledování čerstvosti

masa v reálném čase v obalu. Výsledky ukázaly, že přidání extraktu antokyanů dodalo filmům inteligentní vlastnosti a také zlepšilo antibakteriální aktivitu připravených filmů, které pomáhali udržovat čerstvost masa. Přidání celulózy a antokyanů vedlo také ke zlepšení mechanických vlastností a odolnosti vůči vlhkosti. Filmy vykazovaly silné odezvy na pH v rozmezí hodnot 2–13 a těkavý amoniak. Během monitorování čerstvosti masa sloužily antokyaniny změnou barvy v závislosti na pH jako indikátor těkavého dusíku. Inteligentní filmy navíc vykazovaly dobré mechanické vlastnosti a barevnou stabilitu. Optická pozorování a monitorování čerstvosti ukázaly, že filmy rychle reagovaly na páry  $\text{HN}_3$  i ve velmi nízkých koncentracích. A citlivě detekovaly změny kvality kuřecího masa a krevet během skladování při 4 °C. Filmy vykazovaly po degradaci nápadné barevné změny od růžové přes fialovou a modrou, až po žlutozelenou se zvyšujícím se pH a od fialové po modrou s rostoucí dobou expozice plynnému amoniaku. Díky těmto výsledkům byly filmy považovány za inteligentní obalové materiály s dobrými mechanickými vlastnostmi, bránící obsah proti vodní páře a pH-senzorickými vlastnostmi pro vizuální hodnocení kvality čerstvého masa a mořských produktů. Jelikož filmy vykazovaly viditelné změny barvy, které lze snadno identifikovat pouhým okem během procesu kažení při 4 °C, nabízí se jako potenciální řešení, jak zajistit bezpečnosti a prodloužit trvanlivost potravin [25–29].

## 1.3 Pektin

### 1.3.1 Chemická struktura

Pektiny jsou polysacharidy obsažené v rostlinných buňkách a pletivech. Ve své podstatě se jedná o polymery kyseliny galakturonové viz. obrázek 2A, které lze rozdělit na 3 typy viz. obrázek 2B. Prvním je pektin, který je pouze lineárním řetězcem kyseliny galakturonové. Dalším typem je pektin, složený ze střídajících se jednotek kys. galakturonové a rhamnózy, na který mohou být navázány postranní řetězce neutrálních cukrů. Posledním typem je pektin, jeho základem je lineární polymer kys. galakturonové, na nějž jsou navázány složité postranní řetězce. Důležitým faktorem je stupeň esterifikace methanolem. Definuje se jako procentuální poměr esterifikovaných jednotek kyseliny galakturonové v molekule. Rozděluje tak pektiny do dvou skupin podle toho, zda je stupeň esterifikace nad nebo pod 50 %. Jedná se o důležitý indikátor určující fyzikálněchemické vlastnosti daného pektinu a jeho potenciální uplatnění v potravinářství, popřípadě v dalších průmyslových odvětvích [30–32].



Obrázek 2: Ukázka struktur pektinu [32]

### 1.3.2 Vlastnosti

Pektiny s vysokým obsahem methoxylových skupin tvoří gely při pH 2–3 v cukerných roztocích o koncentracích 55–75 %. Pektiny s nízkým stupněm esterifikace lze použít jako želírující prostředek v širším rozmezí pH 2–6. Stačí jim nižší koncentrace cukrů nebo dokonce žádné, ale k tvorbě gelu potřebují dvojmocné ionty jako například  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  a další. Struktura gelu se významně liší podle navázaného kationtu a délce pektinového řetězce. Gelovatění za přítomnosti vápenatých kationtů je pravděpodobně nejčastěji využívané a nejvíce prozkoumané. Pektinové gely je možné vytvořit i za použití jednomocných iontů  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  a  $\text{Li}^+$ . Tyto gely jsou ovšem křehčí, a proto nenachází mnohá uplatnění v průmyslu. Existují názory, že schopnost pektinu vázat dvojmocné kationty má pozitivní a zároveň negativní význam pro lidské trávení. Pektin může vytvořit komplexi s toxickými prvky jako je Cd a Pb a usnadnit tak jejich metabolizaci, a vyloučení močí. Na druhou stranu může snižovat dostupnost a vstřebávání některých esenciálních minerálů jako Fe a Zn. Když už je řeč o lidském trávení, je nutné zmínit fakt, že pektin patří pod obecný název „dietní vláknina“. Podporuje gastrointestinální motilitu a usnadňuje pohyb střev, čímž přispívá ke zlepšení zdraví střev. Je nízkokalorický, a je proto používán jako náhražka tuku ve zdravé výživě. Běžně je přidáván do potravin jako jsou džemy a marmelády pro své želírující vlastnosti. Do omáček a dresingů, jogurtových a ovocných nápojů, sirupů a dalších, kde slouží jako emulgátor, stabilizátor nebo zahušťovadlo. V potravinách ho nalezneme pod označením E440. Stále častěji se používá jako alternativa klasických plastových obalů. Jedná se o poměrně dobrou volbu díky své biokompatibilitě a snadné odbouratelnosti v přírodě. Potravinu lze zabalit do odlitých filmů, namočit do roztoku, kde po usušení dostaneme ochranný povlak. Takto vytvořené jedlé obaly často obsahují přídavek glycerolu, který slouží jako změkčovadlo. Své uplatnění nachází i v medicíně. Jelikož trávení pektinu probíhá specificky v tlustém střevě, je možné ho použít jako obal léčiv jež chceme uvolnit v této oblasti. Dále se dají použít jako sterilní pokrývka ran. Přesněji filmy a hydrogely na bázi pektinu slouží jako bezpečné obvazové materiály. Pektin se využívá napříč potravinářským průmyslem a své využití našel i v medicíně a farmaceutickém průmyslu. Proto se hledají stále účinnější způsoby extrakce pektinu. Dalším směrem výzkumu je využívání alternativních zdrojů pektinu, jako jsou odpady při zpracování ovoce a zeleniny [30–37].

### 1.3.3 Zdroje

Většina komerčně dostupného pektinu pochází buďto z jablečných slupek a výlisků nebo slupek citrusů. Jedny nejlepších zdrojů pektinu jsou limetky, pomeranče a citróny. To ovšem neznamená, že nelze pro získání pektinu využít i jiných zdrojů. Proběhly pokusy o využití průmyslového odpadu jako potencionální suroviny pro extrakci pektinu. Jmenovitě se jednalo o řízky z cukrové řepy, slupky vodního melounu, rajčat, lilku a dalších plodin. Výrobní proces se liší podle použité suroviny a daného výrobce, ovšem základní kroky zůstávají vesměs stejné: rozmělnění rostlinného materiálu, přidavek kyselin a snížení pH na hodnotu  $\pm 2$ , extrakce pektinu za zvýšené teploty, filtrace, vysrážení alkoholem a nakonec sušení. Tento postup lze urychlit a zvýšit jeho efektivitu, pokud pektin extrahujeme za použití ultrazvuku, enzymů, či mikrovln [30, 31, 38–40].

## 1.4 Glycerol

### 1.4.1 Chemická struktura

Glycerol, někdy také glycerin a systematicky propan–1,2,3–triol, je čirá, bezbarvá, viskózní kapalina bez pachu se sladkou chutí. Ve své podstatě je netoxický pro člověka i životní prostředí a je nesdílnou součástí všech tuků a olejů, které se také používají jako jeho zdroj. Přestože je za normálních podmínek skladování stabilní, jedná se o poměrně reaktivní molekulu a v přítomnosti silných oxidovadel může dojít k explozi. Tento trojsytný alkohol našel své využití v mnoha průmyslových odvětvích: v automobilovém průmyslu, farmaceutickém, kosmetickém i potravinářském a v mnohých dalších [41–44].

### 1.4.2 Vlastnosti

Jak již bylo zmíněno glycerol je netoxický trojsytný alkohol. Přestože se jedná o organickou molekulu, je díky svým hydroxy skupinám dobře rozpustný ve vodě a dalších polárních rozpouštědlech. Se vzduchem nereaguje, ale snadno přijímá vzdušnou vlhkost, což je problém při dlouhodobém skladování koncentrovaných roztoků. Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, glycerol je poměrně reaktivní, což je způsobeno přítomností primárních a sekundárních alkoholových skupin. Glycerol je tak možné přeměnit na ether, ester, amin nebo aldehyd. Jedná se o velice důležitou vstupní surovinou v oleochemickém průmyslu, kde slouží jako prekurzor při výrobě některých monomerů, rozpouštědel, povrchově aktivních látek a dalších chemikálií. Glycerol a jeho deriváty jsou také široce využívány napříč potravinářským, kosmetickým a farmaceutickým průmyslem. Používá se jako rozpouštědlo chuťových extraktů v sirupech a nápojích. Mono a diglyceridy a estery slouží jako emulgátory v dezertech a zmrzlínách a zlepšují tak texturu a stabilitu. Dále glycerol zlepšuje texturu a prodlužuje trvanlivost pečiva. Dále se používá jako konzervační prostředek pro ovoce, zeleninu, maso a ryby, kde brání ztrátě vody. Potraviny obsahující glycerol nesou označení E422. V kosmetice se převážně používá jako emulgátor a zvlhčovač krémů a pleťových mlék. Ve farmaceutickém průmyslu se jedná o rozpouštědlo sirupů a mastí, dále jako změkčovač želatinových kapslí a čípků. V jiných průmyslových odvětvích se s glycerolem setkáme například v podobě zvlhčovačů a změkčovačů, nebo jako složku lubrikantů [41, 42, 44–47].

### 1.4.3 Zdroje

Glycerol je získáván hned z několika zdrojů. Zde je možné vidět určitý posun v myšlení a využívání zdrojů šetrných k životnímu prostředí. Ať už jako hlavní surovina, nebo vedlejší produkt výroby bionafty, jako první zdroje byly využívány rostlinné oleje jako např. palmový

či slunečnicový. Nevýhodou těchto zdrojů byla ekologická zátěž velkých plantáží a fakt, že se jedná o rostliny, které by našli uplatnění v krmných směsích. Ve druhé etapě byli jako zdroje použity oleje z rostlin šetrnějších k životnímu prostředí, odpady z olejů na vaření a tuky živočišného původu. V poslední etapě jsou využívány mořské řasy. Jedná se o ekologický a efektivní zdroj, který také poskytuje další užitečné vedlejší produkty. Z vyextrahovaných tuků a olejů je glycerol získán trans esterifikací. Jedná se o proces, kde směs triacylglycerolů reaguje s nižšími alkoholy, např. metanolem, za přítomnosti katalyzátoru. Vznikají tedy metylestery a surový glycerol, který je díky vyšší hustotě snadno separován. Surový glycerol je ovšem plný nečistot a příměsí, které musí být odstraněny přidáním sorbentů, filtrací nebo destilací, popřípadě kombinací těchto kroků [41–44].

## 1.5 Kažení masa

Díky svému složení patří maso mezi rychle kazící se potraviny. Ať už autolýzou nebo mikrobiálními enzymy, vznikající aminokyseliny, aminy, sirovodík, amoniak a další látky slouží jako ukazatel kažení masa. Za normálních okolností dochází ke kažení masa od povrchu dovnitř. Postupně dochází k oslznutí, povrchové hnilobě s prvními známkami zápachu a změny barvy, a nakonec hluboká hniloba. Může ale docházet i k situacím, kdy je kažení urychleno špatnou manipulací s masem, nebo nedostatečnou sanitací. Pokud není maso dostatečně zchlazeno, dochází k zapaření a urychlení rozkladných procesů. Tento proces je doprovázen ostrým, nakyslým zápachem. V případě, že nejsou dodrženy hygienické podmínky, může být zanesena mikrobiální kontaminace do řezů a vpichů v maso. Dochází tak k vytvoření hnilobných ložisek, které může být těžké identifikovat. Vzácnou formou kažení je „kažení masa od kosti“. Může se vyskytnout v případě, že jatečné zvíře onemocní v předporážkovém období [48–50].

Hospodářská zvířata a drůbeží maso jsou nevyhnutelně kontaminovány mikroorganismy během porážky, přepravy a marketingu, což nakonec vede k problémům, jako je hnědnutí a krátká trvanlivost. Primárními faktory ovlivňujícími znehodnocení chlazeného masa jsou vývoj a metabolismus bakterií. Mezi nejběžnější bakterie nalezené v chlazeném maso za aerobního chlazení patří *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Brochothrix*, *Shewanella* atd. V jedné studii byly analyzovány vztahy mezi bakteriálními společenstvy a těkavým bazickým dusíkem, barvou, celkovým počtem mikrobů, rychlostí úbytku hmotnosti, pH a byl vyhodnocen vliv bakteriálních společenstev na změny kvality kozího masa během konzervace. Hlavním poznatkem bylo, že s prodlužující se dobou skladování se bakterie rodu *Pseudomonas* postupně staly dominantní mikroflórou a měly klíčovou roli v kažení masa. Jiná studie se spíše zaměřila na vliv skladovací teploty na mikroflóru a změny v kvalitě syrového rybího masa. Ryby jsou výživnou potravinou, avšak po porážce se snadno kazí v důsledku chemických reakcí a působení bakterií. Běžné chlazení, skladování v ledu či superchlazené skladování prodlužuje trvanlivost rybí svaloviny snížením množení bakterií, ale zcela ho nezastaví. Rod *Pseudomonas* byl opět dominantní bakterií způsobující kažení za všech skladovacích podmínek, přičemž *Acinetobacter*, *Brochothrix* a *Shewanella* se objevily v pozdějších fázích skladování. *Pseudomonas* také měly pozitivní závislost s vývinem těkavého dusíku. Zápach je kritickým parametrem kvality, který vyžaduje pečlivou pozornost. Někteří lidé se vyhýbají konzumaci rybích pokrmů kvůli jejich nepříjemnému zápachu. Skladovací teplota hraje klíčovou roli v potlačení nežádoucích pachů tím, že ovlivňuje růst bakterií způsobujících kažení. Ovšem i bez přítomnosti bakterií dochází

k oxidaci lipidů, produkci těkavých organických sloučenin. Na průběh oxidace lipidů má opět vliv teplota. Pro udržení kvality rybího masa je tedy nutné klást důraz na skladování při nižších teplotách pro prevenci kažení a udržení kvality masa [51, 52].

Pro lepší porozumění stability a bezpečnosti kuřecího masa během jeho skladování, byly v této studii použity tradiční metody pro stanovení fyzikálně-chemických ukazatelů. Za pomoci plynové chromatografie s iontovou mobilní spektrometrií, elektronického nosu a elektronického jazyku byla testována chlazená kuřata skladovaná 10 dnů při 4 °C. Elektronický nos ukázal, že zápach kuřecího masa se během skladování výrazně změnil. Zatímco od 0 do 8 dnů došlo pouze k pomalým a malým změnám, mezi vzorkem skladovaným 10 dní a zbytkem vzorků byl rozdíl znatelně větší. Výsledky elektronického jazyka ukázaly, že rozdíly v chuti byly především v sytosti, hořké pachuti, svíravé pachuti a sladkosti, a chuť se začala zhoršovat po 8 dnech. Výsledky GC-IMS ukázaly, že typ a obsah těkavých aromatických látek se s trvanlivostí významně mění; zatímco aldehydy se degradují, obsah ketonů a alkoholů se zvyšoval, což urychlilo kažení kuřecího masa, které se zkazilo po 10 dnech skladování [53].

Proces vzniku těkavých organických sloučenin může být ovlivněn různými faktory. Kvalita výchozích surovin, přerušení chladicího řetězce, opětovného ohřátí již tepelně zpracovaného a zachlazeného masa, doba skladování a další okolnosti. To vše bude rozhodovat o tom, jaké těkavé organické sloučeniny a v jakém množství budou v průběhu času vznikat. Různé studie zkoumaly tyto okolnosti a analyzovaly různé typy masa pomocí mikroextrakce v prostoru parní fáze na pevné fázi spojené s plynovou chromatografií zakončené hmotnostní spektrometrií. Dle předpokladu se celkové množství těkavých sloučenin zvyšovalo s dobou skladování masa v mrazničce. Byly pozorován vztah mezi dobou skladování v mrazničce a hladinami sloučenin jako např.: benzaldehyd, oktanal, kyselina propanová, a hexanal. Celkově byly detekovány desítky těkavých organických sloučenin, mezi nimiž byly kyseliny, ketony, aldehydy, aminy, alkoholy, uhlovodíky, ethery, estery a dalšími. Hexanal a benzaldehyd byly identifikovány jako klíčové sloučeniny v kachním, kuřecím, hovězím, skopovém a vepřovém mase. Oktanal, kyselina propanová a benzaldehyd by mohly být použity jako indikátory zhoršení kvality masa během skladování v mrazáku. Všechny tyto sloučeniny by mohly být použity jako indikátory zhoršení kvality masa, bez ohledu na jejich příspěvek k rozvoji nežádoucí chuti [54–57].

## 1.6 Spektrometrie

Spektrometrie, někdy též zvaná spektroskopie, je obecný název pro řadu analytických technik zaměřených na interakci elektromagnetického záření a hmoty. Za objevitele spektrální analýzy je považován sir Isaac Newton. Neméně důležitými jmény jsou také J. H. Lambert a A. Beer, jež odvodili zákon popisující zeslabení prošlého záření v závislosti na délce absorbující vrstvy a koncentraci analytu.

Lambert-Beerův zákon:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot 10^{-\varepsilon_\lambda \cdot l \cdot c} \quad (1)$$

Kde  $\Phi_0$  je intenzita původního záření,  $\Phi$  je intenzita prošlého záření,  $\varepsilon_\lambda$  je molární absorpční koeficient [ $l/mol \cdot cm$ ],  $l$  je délka absorbující vrstvy [ $cm$ ] a  $c$  je molární koncentrace [ $mol/l$ ].

V praxi se nejčastěji používá odvozený vztah:

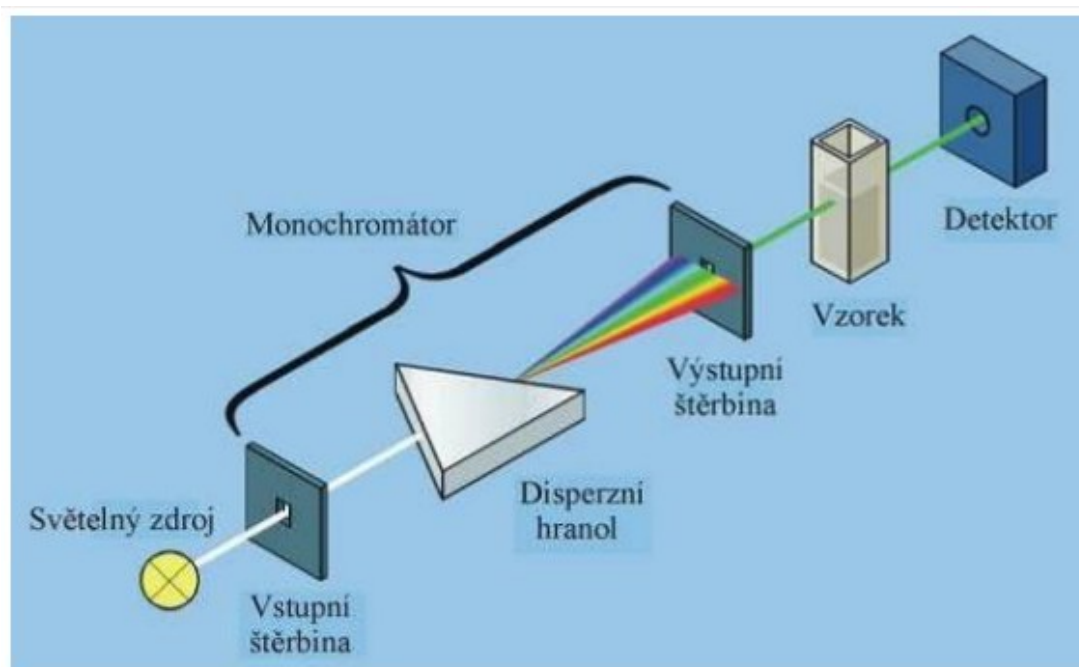
$$A = \varepsilon_\lambda \cdot l \cdot c \quad (2)$$

vyjadřující absorbanci, tedy míru pohlceného záření [58 s. 124-127, 59 s. 9-12; 15, 60 s. 5-6, 61 s. 67-68; 71-72, 62 s. 61-65].

Na měření absorbance je založená jedna z metod prvkové analýzy – atomová absorpční spektrometrie. Zdrojem záření je výbojka s dutou katodou vyrobená ze stanovovaného kovu. Tok záření prochází atomizovaným vzorkem, kde je částečně pohlcován. Po průchodu monochromátorem dopadá na fotonásobič a získaný elektrický signál je následně vyhodnocen. Jedná se o přesnou a citlivou metodu s širokým využitím v analýze klinických vzorků a vzorků životního prostředí [58 s. 196-198, 59 s. 136-139; 192-198, 60 s. 11, 61 s. 73-75; 79, 62 s. 102-106].

Další spektrální metodou pro stanovení prvků ve vzorku je atomová emisní spektrometrie. Atomy vzorku jsou excitovány působením vysokých teplot a následně je měřena intenzita emitovaného záření. AES, přestože se jedná o méně citlivou metodu než AAS, nachází uplatnění např. při analýze biologických materiálů [58 s. 233-236, 60 s. 12, 49 s. 122, 62 s. 110-112].

Velmi rozšířenou metodou, obzvláště v kvantitativní analýze, je molekulová spektrometrie ve viditelné a ultrafialové oblasti. Měří se specifická absorbance, nejčastěji vodných roztoků analytu, v absorpčním maximu daného analytu viz. obrázek 3. Jedná se o rychlou, levnou a poměrně citlivou metodu, která nachází využití napříč průmyslovými odvětvími [58 s. 123-127; 150-152, 60 s. 15-16, 61 s. 80-82; 87-88; 92, 62 s. 63-72, 51].



**Obrázek 3:** Schéma jednopaprskového spektrofotometru [63]

Rentgenová spektroskopie je založená na vyražení subvalenčních elektronů mimo prostor atomu. Volné místo je poté zaplněno jedním z valenčních elektronů a dojde k vyzáření fotonu o určité energii. Získané čárové spektrum je specifické pro daný prvek a je téměř nezávislé na chemických vazbách. Uplatnění nachází nejen ve zdravotnictví, ale mimo jiné také při kontrole vad materiálů [58 s. 357-360, 59 s. 219-222, 60 s. 13, 61 s. 146, 62 s. 128-130; 136-138].

Při interakci molekuly s infračerveným elektromagnetickým zářením dochází ke změnám rotačních a vibračních stavů. Změřením rotačně-vibračního přechodu molekuly získáme infračervené spektrum. To je unikátní pro každou látku, a také udává informace o funkčních skupinách dané látky a jejím uspořádání [58 s. 252-254, 61 s. 96-102, 62 s. 139-145].

V Ramanově spektrometrii je vzorek ozařován laserem a rozptýlené záření je měřeno citlivým spektrometrem. Ramanova spektrometrie doplňuje infračervenou spektrometrii a často jsou používány souběžně při identifikaci nebo charakterizaci látek [58 s. 296-298, 61 s. 157-158, 62 s. 148]

Fluorimetrie a fosforimetrie jsou podobné techniky využívající luminiscence. Látka je ozářena elektromagnetickým zářením ve viditelné nebo UV oblasti spektra. Deexcitací vzniká spektrum využitelné jak v kvalitativní, tak kvantitativní analýze [58 s. 174-180, 61 s. 137-139, 62 s. 86-94].

Nukleární magnetická rezonance je spektrální technika založená na měření absorbance jader atomů v oblasti rádiových vln. K absorpenci dochází pouze tehdy, je-li vzorek umístěn v silném magnetickém poli [58 s. 310-311, 60 s. 23, 61 s. 105-106, 62 s. 149-150].

Hmotnostní spektrometrie je metoda, která rozděluje ionty podle poměru jejich hmotnosti a náboje. Často se využívá zapojení hmotnostního spektrometru za kapalinovým nebo plynovým chromatografem [58 s. 420-422, 60 s. 29-30, 61 s. 185]. V některých pramenech je však tato metoda označována za metodu separační [62].

### 1.6.1 Barevnost

Barevností, lépe řečeno vymezením barev se zabývá kolorimetrie. Ta popisuje barvu pozorovaného předmětu definováním zdroje záření, objektu a pozorovatele. Při měření barevnosti je nutné zajistit standardizované podmínky, proto byl komisí CIE vytvořen systém značení zdrojů světla. Například wolframová žárovka je považována za standard A. Mimo standardů mají zdroje světla značení např. d65. znamená to, že tento zdroj světla má tzv. „teplotu barvy“ stejnou, jako absolutně černé těleso zahřáté na 6500 K. Objekt je popsán mírou odraženého světla. Přesněji, jeho reflexním spektrem v rozmezí vlnových délek 360-760 nm. Pozorovatel je definován pomocí trichromatických činitelů. Jedná se o spektrální citlivost čípků v oku pro určitou vlnovou délku. Tyto experimentálně zjištěné hodnoty jsou pro jednotlivé vlnové délky tabelované. Spojením všech parametrů a přepočtem získáváme koordináty kolorimetrického prostoru CIELAB viz. obrázek 4. Kde  $L$  určuje světlost barvy, osa  $a$  tvoří škálu zelená-červená a osa  $b$  určuje škálu modrá-žlutá [64 s. 39; 41; 65; 129-130; 161-164; 215-220, 65 s. 20-21, 66 s. 1-5; 26-31, 67 s. 26-28; 86; 99-101, 68 s. 31; 293, 57]. Dalším důležitým ukazatelem je opacita. Jedná se o schopnost odolávat průchodu záření, nejčastěji viditelné složky elektromagnetického záření. Opacitu lze definovat různými způsoby, podle použité metody. Například u testování jedlých a biologicky rozložitelných folií byl pro výpočet opacity použit vzorec:

$$Opacita = \frac{Abs\ 600}{d} \quad (3)$$

Kde  $Abs\ 600$  je absorbance při 600 nm a  $d$  vyjadřuje tloušťku materiálu v mm.

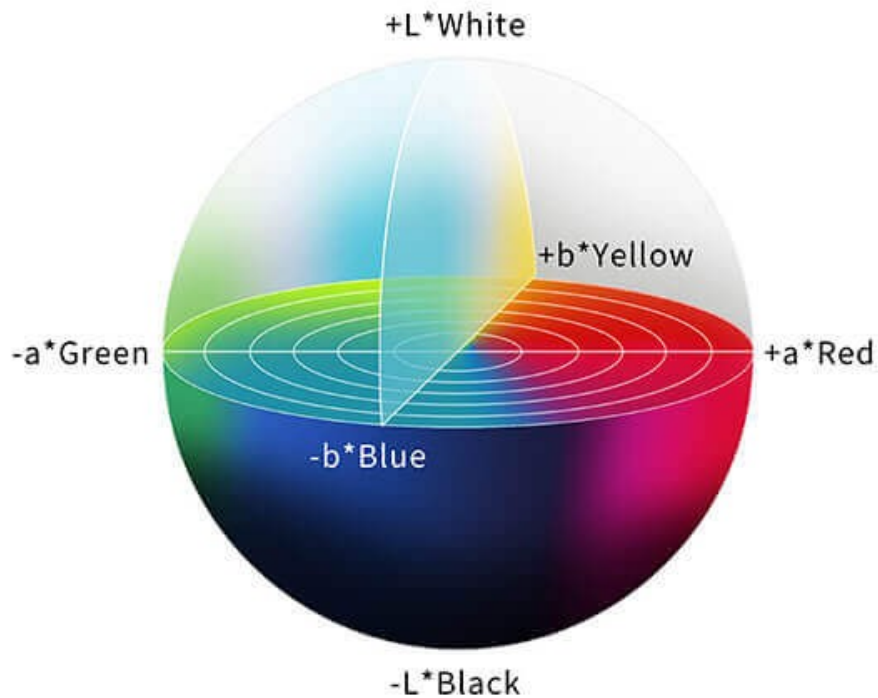
Další možné vyjádření opacity se používá pro vyjádření neprůhlednosti tuhých plastů. Toho je možné využít pro kontrolu kvality daného materiálu. Opacita je vypočtena podle vzorce:

$$Opacita = 100\% - Transmittance \quad (4)$$

Další možné vyjádření opacity je v dnešní době často používané při měření barevnosti. Jedná se o rovnici:

$$Opacita = \frac{Y_{\text{\u010dern\u00e9 pozad\u00ed}}}{Y_{\text{\u00b0il\u00e9 pozad\u00ed}}} \cdot 100 \% \quad (5)$$

Kde Y vyjad\u0159uje parametr sv\u011btlosti zm\u011b\u011ben\u00fd za ur\u010den\u00fdch podm\u00ednek, tj. vybran\u00e9 osv\u011btlen\u00ed/pozorovatel a dan\u00e9 pozad\u00ed. [69, 70, 71, 72]



**Obr\u00e1zek 4:** Uk\u00e1zka kolorimetrick\u00e9ho prostoru CIELAB [73]

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

### 2.1 Použité přístroje a chemikálie

Spektrometr UltraScan VIS (Hunter Associate Laboratory, Inc., USA)

Magnetické míchadlo RCT digital (IKA-Werke GmbH & Co. KG, Německo)

Sušárna Heratherm OMH60 (Thermo Fisher Scientific, USA)

Pektin z citrusové kůry – Kyselina galakturonová  $\geq 74,0$  % (v sušině) (Merck KGaA, Německo)

Glycerol bezvodý p.a. (PENTA s.r.o., Česká republika)

### 2.2 Metodika

#### 2.2.1 Příprava filmu

Celý postup byl proveden v laboratoři při 20 °C, není-li uvedeno jinak. Lyofilizované prášky druhů: brusinky lesní, černý rybíz, borůvky lesní a aronie (Lyopotraviny s.r.o., Česká republika) viz. příloha A byly prosety analytickým sítem s velikostí ok 0,125  $\mu\text{m}$ . Pro potřeby výroby filmu byla použita pouze prosetá část lyofilizovaných prášků. Prosetý prášek (5,0 g) byl rozpuštěn ve 100 g redestilované vody a celá směs byl zahřáta na 65 °C. Po dosažení této teploty bylo přidáno 3,0 g citrusového pektinu. Směs byla dále zahřívána 15 minut při teplotě 65 °C a míchána při 200 otáčkách za minutu. Ke směsi bylo přidáno 1,5 g glycerolu a směs byla za stálého míchání na magnetické míchače zahřívána při 65 °C po dobu 15 minut. Bylo odděleno 14 g takto připravené směsi a nalito do Petriho misek s průměrem 10 cm a sušeno při 50 °C po dobu 18 h. Vysušené filmy byly uloženy a skladovány v exsikátoru ve zhruba 50% vlhkosti vzduchu. Toho bylo dosaženo použitím přesyceného roztoku dusičnanu draselného.

#### 2.2.2 Spektrální vlastnosti

Hotové plátky filmu byly nastříhány na čtvrtky. Z nich bylo namátkově vybráno 5 kusů, které sloužili jako reprezentativní kusy. Pro veškerá měření byly plátky umístěny hladkou stranou směrem k optice. Barevnost byla měřena na spektrometru UltraScan VIS v odraženém světle v přítomnosti hlavní složky odraženého světla v intervalu 36–780 nm při osvětlení D95. Měřená plocha vzorku byla 5,07  $\text{cm}^2$ . Byly změřeny parametry  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , sytost barvy ( $C^*$ ) a barevný odstín (h). Dále byla změřena opacita vzorku jako pozdíl prostupu světla měřená proti bílému a černému pozadí.

### **2.2.3 Proces kažení masa**

Do čistých a suchých skleněných nádobek bylo na předvážkách naváženo  $3 \pm 0,1$  g mletého kuřecího stehenního masa. Nádobky byly zakryty čtvrtkou plátku filmu a utěsněny pomocí parafilmu. Takto bylo připraveno pro každý druh filmu 6 vzorků. Stejným postupem, s výjimkou vložení masa, byly také připraveny pro každý druh filmu 3 kontrolní kusy. Všechny nádobky byly poté vloženy do termostatu při teplotě 30 °C. Po uplynutí 21 hodin byly kontrolní kusy a 3 vzorky od každého druhu vyjmuty z termostatu a sejmuté plátky filmu znovu proměřeny na spektrometru UlatrScan VIS proti bílému černému pozadí. Vzorky byly poté zlikvidovány a kontrolní kusy navraceny zpět do termostatu k dalšímu použití. Po uplynutí 45 hodin od chvíle přípravy vzorků a kontrolních kusů byly zbývající 3 vzorky a kontrolní kusy vyjmuty z termostatu, plátky sejmuty z nádob a stejným způsobem opět proměřeny na spektrometru. Po dokončení měření byly zlikvidovány.

## 2.3 Výsledky a diskuse

### 2.3.1 Spektrální vlastnosti filmů

U filmů vyrobených z lyofilizovaného prášku brusinek a rybízu bylo patrné postupné blednutí a ztráta sytosti barvy. Obzvláště film z brusinek prošel výraznou změnou. Zatímco filmy vyrobené z lyofilizovaného prášku borůvek a aronií zůstali prakticky beze změny, alespoň co se týče lidským okem pozorovatelných rozdílů.

**Tabulka 3:** Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) brusinkového prášku

doba kažení	L*	a*	b*	C*	h	Opacita
0 h	48 ± 2	46,6 ± 0,5	17 ± 2	50 ± 1	21 ± 2	35 ± 2
21 h	48 ± 3	45,7 ± 0,6	17 ± 2	49 ± 1	20 ± 2	36 ± 3
45 h	48 ± 2	43,3 ± 0,6	16 ± 2	46 ± 1	20 ± 2	36 ± 2

V tabulce 3 je vidět postupná změna barevnosti brusinkových filmů. Došlo k postupné ztrátě sytosti barvy (C\*) a také k posunu parametru a\* směrem k zeleným odstínům. U hodnot ostatních parametrů nedošlo k významným změnám viz. příloha B1, B2 a B3.

**Tabulka 4:** Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) brusinkového prášku při kažení kuřecího masa

doba kažení	L*	a*	b*	C*	h	Opacita
0 h	48 ± 2	46,6 ± 0,5	17 ± 2	50 ± 1	21 ± 2	35 ± 2
21 h	47,2 ± 0,7	40 ± 1	14,7 ± 0,3	42 ± 1	20,3 ± 0,3	35,9 ± 0,8
45 h	49 ± 3	8 ± 2	16,0 ± 0,2	18,1 ± 0,8	63 ± 6	36 ± 3

U plátků filmu nad vzorky masa došlo ke stejným, ale mnohem výraznějším změnám viz. tabulka 4. Dále pak došlo ke zvýšení parametru L\*, tedy ztmavnutí filmu. Překvapivá je změna parametru b\* u plátků vystavených kuřecímu se masu, kde po 21 hodinách došlo k poklesu, a po 45 hodinách opět ke zvýšení parametru b\* ke žlutým odstínům. To je ostatně vidět v příloze B4 a B4.

**Tabulka 5:** Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) rybízového prášku

doba kažení	L*	a*	b*	C*	h	Opacita
0 h	32,4 ± 0,7	30 ± 1	13 ± 1	32 ± 2	23,5 ± 0,7	64 ± 2
21 h	33 ± 1	29 ± 2	13 ± 1	32 ± 2	23,5 ± 0,8	64 ± 3
45 h	32,9 ± 0,9	29 ± 1	12,6 ± 0,8	31 ± 1	23,7 ± 0,5	64 ± 2

Kontrolní kusy rybízových filmů se zdají být poměrně stabilní napříč čase i všemi parametry viz. tabulka 5, což je zřetelné v příloze C1, C2 a C3.

**Tabulka 6:** Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) rybízového prášku při kažení kuřecího masa

doba kažení	L*	a*	b*	C*	h	Opacita
0 h	32,4 ± 0,7	30 ± 1	13 ± 1	32 ± 2	23,5 ± 0,7	64 ± 2
21 h	32,1 ± 0,5	26,7 ± 0,3	11,6 ± 0,5	29,1 ± 0,4	23,6 ± 0,9	66 ± 1
45 h	33 ± 2	11,4 ± 0,9	11 ± 2	16 ± 2	44 ± 4	65 ± 6

Totéž však nelze říct o plátcích filmu vystavených kazícímu se masu. Obdobně jako u brusinkových filmů, došlo k poklesu hodnot parametrů a\* a C\*. Opět došlo k posunu směrem k zeleným odstínům, poklesu sytosti barvy ale také ke kolísání světlosti. Oproti brusinkovým filmům je zde ale možné vidět ustálený pokles parametru b\* směrem k modrým odstínům. Změny barev je možné vidět v přílohách C4 a C5.

**Tabulka 7:** Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) borůvkového prášku

doba kažení	L*	a*	b*	C*	h	Opacita
0 h	26,4 ± 0,8	6,1 ± 0,6	1,2 ± 0,2	6,2 ± 0,6	10,8 ± 0,7	96,3 ± 0,6
21 h	26,1 ± 0,9	4,3 ± 0,5	0,7 ± 0,2	4,4 ± 0,5	9 ± 2	97,4 ± 0,9
45 h	26,1 ± 0,8	3,9 ± 0,5	0,5 ± 0,2	3,9 ± 0,5	7 ± 3	97,5 ± 0,9

Z hodnot v tabulce 7 je patrné, že světlost borůvkových filmů je prakticky identická bez ohledu na čas. Je zde ovšem vidět pokles hodnot parametrů  $a^*$ ,  $b^*$  a  $C^*$ . Žádné z těchto změn však nebyly pozorovatelné pouhým okem, jak je vidět v přílohách D1, D2 a D3.

**Tabulka 8:** Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) borůvkového prášku při kažení kuřecího masa

doba kažení	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	h	Opacita
0 h	$26,4 \pm 0,8$	$6,1 \pm 0,6$	$1,2 \pm 0,2$	$6,2 \pm 0,6$	$10,8 \pm 0,7$	$96,3 \pm 0,6$
21 h	$26,2 \pm 0,8$	$4,0 \pm 0,4$	$0,5 \pm 0,1$	$4,0 \pm 0,3$	$8 \pm 2$	$97,9 \pm 0,4$
45 h	$26,6 \pm 0,7$	$1,2 \pm 0,2$	$-0,4 \pm 0,0$	$1,3 \pm 0,2$	$340 \pm 3$	$99,2 \pm 0,5$

Obdobně jako u kontrolních kusů i zde je možné vidět stabilní hodnoty světlosti viz. tabulka 8. Znovu je vidět pokles hodnot parametrů  $a^*$ ,  $b^*$  a  $C^*$ , zde ovšem došlo k výraznějším posunům hodnot. Velice zvláštní je skok v hodnotě parametru h kde, přestože se jedná o tak veliký posun hodnot, není viditelný pouhým okem viz. přílohy D4 a D5.

**Tabulka 9:** Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) aroniového prášku

doba kažení	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	h	Opacita
0 h	$23,9 \pm 0,4$	$0,6 \pm 0,1$	$0,3 \pm 0,0$	$0,6 \pm 0,1$	$28 \pm 1$	$100,2 \pm 0,7$
21 h	$24,4 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,8$	$0,4 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,8$	$25 \pm 6$	$99,5 \pm 0,1$
45 h	$24,5 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,5$	$0,2 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,5$	$13 \pm 3$	$99 \pm 1$

Podobně jako u borůvkových filmů, hodnoty světlosti zůstávají zhruba stejné viz tabulka 9. U kontrolních kusů je vidět překvapivý nárůst a následný pokles hodnot parametrů  $a^*$ ,  $b^*$  a  $C^*$ . Zatímco hodnoty odstínu klesaly. I přes toto neočekávané chování však nebyly viditelné žádné změny barvy viz. přílohy E1, E2 a E3.

**Tabulka 10:** Změna barevnosti pektinových filmů obsahující 5 % (hm.) aroniového prášku při kažení kuřecího masa

doba kažení	L*	a*	b*	C*	h	Opacita
0 h	23,9 ± 0,4	0,6 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,6 ± 0,1	28 ± 1	100,2 ± 0,7
21 h	24,6 ± 0,3	0,4 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,5 ± 0,1	35 ± 3	100,4 ± 0,9
45 h	24,9 ± 0,3	0,4 ± 0,0	0,2 ± 0,1	0,4 ± 0,1	27 ± 12	100,2 ± 0,9

Naproti tomu hodnoty vzorků vykazují opačné trendy. U parametrů a\*, b\* a C\* došlo k pozvolnému poklesu, a hodnota parametru h vzrostla po 21 hodinách, ale po 45 hodinách opět klesla viz. tabulka 10. Veškeré tyto změny byly ovšem pro lidské oko prakticky nepozorovatelné viz. přílohy E4 a E5.

Je patrné, že dlouhodobé skladování má negativní vliv na kvalitu připraveného filmu. Obzvláště teplota skladování bude hrát klíčovou roli v urychlení degradace filmů, jelikož jejich hlavním komponentem jsou antokyany, jež jsou na vyšší teploty citlivé.

### 2.3.2 Proces kažení masa

Po uplynutí 21 hodin v termostatu byly na plátcích filmu brusinek a rybízu patrné drobné rozdíly mezi plátky umístěnými na nádobkách s masem a kontrolním kusy. Tato změna byla obzvláště viditelná, pokud se na plátky pohlédlo proti slunečnímu světlu. Bylo možné vidět světlá, téměř namodralá místa. Aby byly dodrženy obdobné podmínky jako při měření spektrometrem, byly plátky pozorovány hladkou stranou směřující k oku pozorovatele. Pro kontrolu byly pozorovány všechny druhy plátků včetně kontrolních kusů. Toto zesvětlení a modré zabarvení bylo pouze viditelné u plátků z brusinek a rybízu vystavených kazícímu se masu. Jako možné vysvětlení se nabízí zastoupení antokyanů v těchto bobulích. Nejvíce zastoupeným antokyanem v brusinkách je kyanidin [74–76], ten se vyskytuje i v černém rybízu spolu s delphinidinem [77, 78]. Kyanidin reaguje na zvyšující se pH změnou odstínu k namodralým až k zeleným tónům. To se projeví jako změna barvy, kdy z červeno-růžové postupně bledne a přechází až do žluto-hnědého zbarvení [16][79][80]. Po 45 hodinách v termostatu byly jasně patrné rozdíly mezi vzorky a kontrolními plátky. Plátky brusinek a rybízu vystavené hničícímu masu nesli jasně ohraničené kruhové skvrny v odstínech žluté a světle hnědé. Zajímavé je, že namodralé zbarvení, které bylo možné vidět při předchozím pozorování zcela zmizelo. Všechny plátky byly opět pozorovány proti světlu, ale jediné rozdíly

mezi vzorky a kontrolními plátky byly viditelné pouze u plátků brusinek a rybízu. U plátků filmu borůvek a aronií nebyla viditelná změna barvy díky jejich tmavému zbarvení.

Již při prvním otevření termostatu po 21 hodinách byl cítit slabý zápach shnilého masa, je tedy pravděpodobné že mohlo dojít ke kontaminaci kontrolních kusů plátků filmu, a tedy zkreslení získaných výsledků.

## **Závěr**

Připravené filmy jsou zatím nevhodné pro použití jako inteligentní obal určený k indikaci čerstvosti masa. Ve stavu, v jakém jsou teď, jsou zkrátka nedostačující. U filmů vyrobených z lyofilizovaného prášku borůvek a aronií nebylo možné ani po 45 hodinách vizuálně detekovat změnu barvy. Přestože filmy z černého rybízu, a obzvláště filmy vyrobené z brusinek změnilly barvu již po 21 hodinách, nelze je zatím spolehlivě použít pro požadovaný účel. Simulované podmínky totiž neodpovídají skutečným situacím, a množství uvolněného amoniaku vzrostlo natolik, že bylo možné jej detekovat čichem. V tuto chvíli se nabízejí brusinky jako kandidát pro další sérii pokusů. Díky světlejším barvám vyrobených filmů, jsou jakékoli změny barev lépe viditelné a byly znatelné již po 21 hodinách. Nejdůležitějším krokem bude identifikace a zakoncentrování aktivní látky. Teprve po dalších experimentech bude možné definitivně odpovědět, zda mají inteligentní obaly tohoto typu své místo v potravinářském průmyslu a na trhu.

## Použitá literatura

1. ČESKO. Zákon č. 110/1997 Sb. Zákon o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů. Online, In: Zákony pro lidi. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-110>. [cit. 2025-02-19].
2. ČESKO. Zákon č. 634/1992 Sb. Zákon o ochraně spotřebitele. Online, In: Zákony pro lidi. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-634>. [cit. 2025-02-19].
3. ČESKO. Zákon č. 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Online, In: Zákony pro lidi. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>. [cit. 2025-02-19].
4. ČESKO. Vyhláška č. 38/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami a pokrmů. Online, In: Zákony pro lidi. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-38>. [cit. 2025-02-19].
5. ČESKO. 32011R0010 Nařízení Komise (EU) č. 10/2011 ze dne 14. ledna 2011 o materiálech a předmětech z plastů určených pro styk s potravinami Text s významem pro EHP. Online, In: Zákony pro lidi. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/pravoieu/dokument?celex=32011R0010>. [cit. 2025-02-19].
6. ČESKO. 32016R1416 Nařízení Komise (EU) 2016/1416 ze dne 24. srpna 2016, kterým se mění a opravuje nařízení (EU) č. 10/2011 o materiálech a předmětech z plastů určených pro styk s potravinami (Text s významem pro EHP). Online, In: Zákony pro lidi. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/pravoieu/dokument?celex=32016R1416>. [cit. 2025-02-19].
7. ČESKO. 32004R1935 Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1935/2004 ze dne 27. října 2004 o materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami a o zrušení směrnic 80/590/EHS a 89/109/EHS. Online, In: Zákony pro lidi. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/pravoieu/dokument?celex=32004R1935&text=32004R1935>. [cit. 2025-02-19].
8. ČESKO. 32006R2023 Nařízení Komise (ES) č. 2023/2006 ze dne 22. prosince 2006 o správné výrobní praxi pro materiály a předměty určené pro styk s potravinami (Text s

- významem pro EHP). Online, In: *Zákony pro lidi*. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/pravoedu/dokument?celex=32006R2023>. [cit. 2025-02-19].
9. ČESKO. Zákon č. 477/2001 Sb. Zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech). In: *Zákony pro lidi*. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-477>. [cit. 2025-02-19].
  10. ČESKO. 31994L0062 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 94/62/ES ze dne 20. prosince 1994 o obalech a obalových odpadech. Online, In: *Zákony pro lidi*. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/pravoedu/dokument?celex=31994L0062>. [cit. 2025-02-19].
  11. ČESKO. 32018L0852 Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/852 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 94/62/ES o obalech a obalových odpadech (Text s významem pro EHP). Online, In: *Zákony pro lidi*. 2010–2025. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/pravoedu/dokument?celex=32018L0852>. [cit. 2025-02-19].
  12. LAKSHMIKANTHAN, Mythileeswari; MUTHU, Sakthivel; KRISHNAN, Kathiravan; ALTEMIMI, Ammar B.; HAIDER, Noor N. et al. A comprehensive review on anthocyanin-rich foods: Insights into extraction, medicinal potential, and sustainable applications. Online. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2024, roč. 17. ISSN 26661543. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101245>. [cit. 2025-03-20].
  13. SINOPOLI, Alessandro; CALOGERO, Giuseppe a BARTOLOTTA, Antonio. Computational aspects of anthocyanidins and anthocyanins: A review. Online. *Food Chemistry*. 2019, vol. 297, no. 124898. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.172>. [cit. 2025-03-20].
  14. LIN, Bo-Wen; GONG, Cheng-Chen; SONG, Hai-Fei a CUI, Ying-Yu. Effects of anthocyanins on the prevention and treatment of cancer. Online. *British Journal of Pharmacology*. 2017, roč. 174, č. 11, s. 1226-1243. ISSN 0007-1188. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/bph.13627>. [cit. 2025-03-20].
  15. CORTEZ, Regina; LUNA-VITAL, Diego A.; MARGULIS, Daniel a GONZALEZ DE MEJIA, Elvira. Natural Pigments: Stabilization Methods of Anthocyanins for Food Applications. Online. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2017, roč. 16, č. 1, s. 180-198. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12244>. [cit. 2025-03-20].

16. SMERIGLIO, Antonella; BARRECA, Davide; BELLOCCO, Ersilia a TROMBETTA, Domenico. Chemistry, Pharmacology and Health Benefits of Anthocyanins. Online. *Phytotherapy Research*. 2016, roč. 30, č. 8, s. 1265-1286. ISSN 0951-418X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ptr.5642>. [cit. 2025-03-20].
17. ALAPPAT, Bindhu a ALAPPAT, Jayaraj. Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics. Online. *Molecules*. 2020, roč. 25, č. 23. ISSN 1420-3049. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules25235500>. [cit. 2025-03-20].
18. LEE, Yoon-Mi; YOON, Young; YOON, Haelim; PARK, Hyun-Min; SONG, Sooji et al. Dietary Anthocyanins against Obesity and Inflammation. Online. *Nutrients*. 2017, roč. 9, č. 10. ISSN 2072-6643. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/nu9101089>. [cit. 2025-03-20].
19. SUI, Xiaonan; BARY, Solène a ZHOU, Weibiao. Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage. Online. *Food Chemistry*. 2016, roč. 192, s. 516-524. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.021>. [cit. 2025-03-20].
20. ENARU, Bianca; DREȚCANU, Georgiana; POP, Teodora Daria; STĂNILĂ, Andreea a DIACONEASA, Zorița. Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation: Factors Affecting Their Stability and Degradation. Online. *Antioxidants*. 2021, roč. 10, č. 12. ISSN 2076-3921. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/antiox10121967>. [cit. 2025-03-20].
21. E163. Online. FÉR potravina. ©2025. Dostupné z: <https://www.ferpotravina.cz/seznam-ecek/E163>. [cit. 2025-03-20].
22. GASPARRINI, Massimiliano; FORBES-HERNANDEZ, Tamara; AFRIN, Sadia; ALVAREZ-SUAREZ, José; GONZÁLEZ-PARAMÁS, Ana et al. A Pilot Study of the Photoprotective Effects of Strawberry-Based Cosmetic Formulations on Human Dermal Fibroblasts. Online. *International Journal of Molecular Sciences*. 2015, roč. 16, č. 8, s. 17870-17884. ISSN 1422-0067. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijms160817870>. [cit. 2025-03-20].
23. ZHANG, Xinyue; ZOU, Wenjie; XIA, Minquan; ZENG, Qi a CAI, Zhaoxia. Intelligent colorimetric film incorporated with anthocyanins-loaded ovalbumin-propylene glycol alginate nanocomplexes as a stable pH indicator of monitoring pork freshness. Online. *Food Chemistry*. 2022, roč. 368. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130825>. [cit. 2025-06-16].

24. KARIMI ALAVIJEH, Dariush; HELI, Bentolhoda a AJJI, Abdellah. Development of a Sensitive Colorimetric Indicator for Detecting Beef Spoilage in Smart Packaging. Online. *Sensors*. 2024, roč. 24, č. 12. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s24123939>. [cit. 2025-06-16].
25. HE, Yunxia; LU, Lun; LIN, Yanyun; LI, Ruyi; YUAN, Yuan et al. Intelligent pH-sensing film based on polyvinyl alcohol/cellulose nanocrystal with purple cabbage anthocyanins for visually monitoring shrimp freshness. Online. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022, roč. 218, s. 900-908. ISSN 01418130. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.194>. [cit. 2025-06-16].
26. WANG, Debao; WANG, Xinxia; SUN, Zhilan; LIU, Fang a WANG, Daoying. A fast-response visual indicator film based on polyvinyl alcohol/methylcellulose/black wolfberry anthocyanin for monitoring chicken and shrimp freshness. Online. *Food Packaging and Shelf Life*. 2022, roč. 34. ISSN 22142894. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100939>. [cit. 2025-06-16].
27. LIN, Xueqi; LI, Ning; XIAO, Qiao; GUO, Yaping; WEI, Jie et al. Polyvinyl alcohol/starch-based film incorporated with grape skin anthocyanins and metal-organic framework crystals for colorimetric monitoring of pork freshness. Online. *Food Chemistry*. 2022, roč. 395. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133613>. [cit. 2025-06-16].
28. EBRAHIMI, Vajihah; MOHAMMADI NAFCHI, Abdorreza; BOLANDI, Marzieh a BAGHAEI, Homa. Fabrication and characterization of a pH-sensitive indicator film by purple basil leaves extract to monitor the freshness of chicken fillets. Online. *Food Packaging and Shelf Life*. 2022, roč. 34. ISSN 22142894. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100946>. [cit. 2025-06-16].
29. JANG, Jeong Hwa; KANG, Hye Jee; ADEDEJI, Olajide Emmanuel; KIM, Ga Young; LEE, Jin Kyoung et al. Development of a pH indicator for monitoring the freshness of minced pork using a cellulose nanofiber. Online. *Food Chemistry*. 2023, roč. 403. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134366>. [cit. 2025-06-17].
30. MAY, Colin D. Industrial pectins: sources, production, and applications: Sources, production and applications. Online. *Carbohydrate Polymers*. 1990, roč. 12, č. 1, s. 79-99. ISSN 01448617. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(90\)90105-2](https://doi.org/10.1016/0144-8617(90)90105-2). [cit. 2025-03-29].

31. MARIĆ, Mirela; GRASSINO, Antonela Ninčević; ZHU, Zhenzhou; BARBA, Francisco J.; BRNČIĆ, Mladen et al. An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. Online. *TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY*. 2018, roč. 76, s. 28-37. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.022>. [cit. 2025-03-30].
32. CHAN, Siew Yin; CHOO, Wee Sim; YOUNG, David James a LOH, Xian Jun. Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. Online. *Carbohydrate Polymers: Origin, structure, commercial production and rheology*. 2017, roč. 161, s. 118-139. ISSN 01448617. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.033>. [cit. 2025-03-31].
33. CELUS, Miete; KYOMUGASHO, Clare; VAN LOEY, Ann M.; GRAUWET, Tara a HENDRICKX, Marc E. Influence of Pectin Structural Properties on Interactions with Divalent Cations and Its Associated Functionalities. Online. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2018, roč. 17, č. 6, s. 1576-1594. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12394>. [cit. 2025-03-31].
34. YI, Le; CHENG, Lifeng; YANG, Qi; SHI, Ke; HAN, Fengbo et al. Source, Extraction, Properties, and Multifunctional Applications of Pectin: A Short Review. Online. *Polymers*. 2024, roč. 16, č. 20. ISSN 2073-4360. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/polym16202883>. [cit. 2025-04-02].
35. NGOUÉMAZONG, Eugénie D.; CHRISTIAENS, Stefanie; SHPIGELMAN, Avi; VAN LOEY, Ann a HENDRICKX, Marc. The Emulsifying and Emulsion-Stabilizing Properties of Pectin: A Review. Online. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2015, roč. 14, č. 6, s. 705-718. ISSN 1541-4337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12160>. [cit. 2025-04-02].
36. E440. Online. FÉR potravina. ©2025. Dostupné z: <https://www.ferpotravina.cz/seznam-ecek/E440>. [cit. 2025-04-02].
37. REICHEMBACH, Luis Henrique a LÚCIA DE OLIVEIRA PETKOWICZ, Carmen. Pectins from alternative sources and uses beyond sweets and jellies: An overview. Online. *Food Hydrocolloids*. 2021, roč. 118. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106824>. [cit. 2025-04-03].
38. DRANCA, Florina a OROIAN, Mircea. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. Online. *Food*

- Research International*. 2018, roč. 113, s. 327-350. ISSN 09639969. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.065>. [cit. 2025-03-29].
39. GRASSINO, Antonela Ninčević; HALAMBEEK, Jasna; DJAKOVIĆ, Senka; RIMAC BRNČIĆ, Suzana; DENT, Maja et al. Utilization of tomato peel waste from canning factory as a potential source for pectin production and application as tin corrosion inhibitor. Online. *Food Hydrocolloids*. 2016, roč. 52, s. 265-274. ISSN 0268005X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.020>. [cit. 2025-03-29].
40. KAZEMI, Milad; KHODAIYAN, Faramarz a HOSSEINI, Seyed Saeid. Eggplant peel as a high potential source of high methylated pectin: Ultrasonic extraction optimization and characterization. Online. *LWT*. 2019, roč. 105, s. 182-189. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.060>. [cit. 2025-03-29].
41. TAN, H.W.; ABDUL AZIZ, A.R. a AROUA, M.K. Glycerol production and its applications as a raw material: A review. Online. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013, roč. 27, s. 118-127. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.035>. [cit. 2025-04-22].
42. ATTARBACHI, Taha; KINGSLEY, Martin D. a SPALLINA, Vincenzo. New trends on crude glycerol purification: A review: A review. Online. *Fuel*. 2023, roč. 340. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127485>. [cit. 2025-04-22].
43. WANG, Zhengxiang; ZHUGE, Jian; FANG, Huiying a PRIOR, Bernard A. Glycerol production by microbial fermentation. Online. *Biotechnology Advances*. 2001, roč. 19, č. 3, s. 201-223. ISSN 07349750. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(01\)00060-X](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(01)00060-X). [cit. 2025-04-22].
44. PIRZADI, Zahra a MESHKANI, Fereshteh. From glycerol production to its value-added uses: A critical review. Online. *Fuel*. 2022, roč. 329. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125044>. [cit. 2025-04-22].
45. PHAM, Phuoc Dien; MONGE, Sophie; LAPINTE, Vincent; RAOUL, Yann a ROBIN, Jean Jacques. Various radical polymerizations of glycerol-based monomers. Online. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2013, roč. 115, č. 1, s. 28-40. ISSN 1438-7697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201200202>. [cit. 2025-04-22].
46. CHRISTOPH Ralf, SCHMIDT Bernd, STEINBERNER Udo, DILLA Wolfgang, KARINEN Reetta. (2006). Glycerol. Ullmanns' Encyclopedia of Industrial Chemistry, vol. 17, 67–82. [https://doi.org/10.1002/14356007.a12\\_477.pub2](https://doi.org/10.1002/14356007.a12_477.pub2). [cit. 2025-05-11]

47. E422. Online. FÉR potravina. ©2025. Dostupné z: <https://www.ferpotravina.cz/seznam-ecek/E422>. [cit. 2025-04-22].
48. SCHNEIDEROVÁ, D. a INGR, I. *AMONIAK JAKO INDIKÁTOR ČERSTVOSTI MASA*. Online. In: MendelNet. 2022. Dostupné z: <https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2004/obsahy/tech/schneiderova.pdf>. [cit. 2025-03-10].
49. STAROSTKOVÁ, Monika. *Monitorování čerstvosti drůbežího masa pomocí experimentálního zařízení*. Diplomová práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2022.
50. INGR, Ivo. *Atypické zrání a kažení masa*. Online. In: Český svaz zpracovatelů masa. ©2024. Dostupné z: <https://cszm.cz/aktualni-deni/odborne-clanky/286-atypicke-zrani-a-kazeni-masa>. [cit. 2025-03-11].
51. XIAO, Longquan; CUI, Lin; LAPU, Molazi; BAI, Ting; WANG, Juan et al. The Structure, Assembly Processes of Microbial Communities and Their Effects on the Quality of Goat MEAT During Chilled Storage (4 °C). Online. *Foods*. 2025, roč. 14, č. 9. ISSN 2304-8158. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods14091653>. [cit. 2025-06-17].
52. JI, Yajing; ISHIZU, Shinta; MATSUMOTO, Akane; FURUTA, Ayumi; OKADA, Genya et al. Changes in Bacterial Flora and Quality of Yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) Muscle Stored at Different Temperatures. Online. *Applied Sciences*. 2025, roč. 15, č. 6. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app15062996>. [cit. 2025-06-17].
53. JU, Xiaojun; ZHANG, Ming; SHAN, Yanju; LIU, Yifan; TU, Yunjie et al. A comprehensive analysis of meat quality degradation and identification of spoilage markers in chicken during refrigerated storage using multi-method approach. Online. *Food Chemistry*. 2025, roč. 483. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144316>. [cit. 2025-06-17].
54. YU, Ligang; PANG, Ying; SHEN, Guang; BAI, Baoqing; YANG, Yukun et al. Identification and selection of volatile compounds derived from lipid oxidation as indicators for quality deterioration of frozen white meat and red meat using HS-SPME-GC-MS combined with OPLS-DA. Online. *Food Chemistry*. 2025, roč. 463. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141112>. [cit. 2025-06-17].

55. LIU, Zhijie; HUANG, Yiqun; KONG, Shanshan; MIAO, Junjian a LAI, Keqiang. Selection and quantification of volatile indicators for quality deterioration of reheated pork based on simultaneously extracting volatiles and reheating precooked pork. Online. *Food Chemistry*. 2023, roč. 419. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135962>. [cit. 2025-06-17].
56. FREIXO, Ana Paula Alexandre; SILVA, Ana Carolina Ramos da; CASTRO, Maria Luiza Reis de; QUITÉRIO, Simone Lorena a RAICES, Renata Santana Lorenzo. Volatile organic compounds present in jerked beef, a traditional Brazilian meat product. Online. *Food Science and Technology*. 2022, roč. 42. ISSN 1678-457X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/fst.99521>. [cit. 2025-06-17].
57. WANG, Wei; JIANG, Feng; ZHANG, Li; ZHU, Xiao-Ling a WU, Wan-Qin. Screening and identification of deterioration markers in lean and fatty pork by metabolomics. Online. *LWT*. 2025, roč. 215. ISSN 00236438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117283>. [cit. 2025-06-17].
58. SKOOG, Douglas A. a LEARY, James J. *Principles of instrumental analysis*. 4th ed. Fort Worth: Saunders College, 1992. ISBN 00-307-5398-8.
59. HELÁN, Václav. *Automatická spektrometrie: sborník přednášek z kurzu*. 3. upravené a doplněné vydání. Český Těšín: 2 THETA, 1998. ISBN 30-902432-2-3.
60. BEKÁREK, Vojtěch a FRYŠOVÁ, Iveta. *Optické metody v chemické analýze*. 2., přeprac. vyd. Skripta / Univerzita Palackého. Olomouc: Univerzita Palackého, 2003. ISBN 80-244-0605-5.
61. ČŮTA, František a POPL, Milan. *Instrumentální analýza*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
62. SOMMER, Lumír. *Základy analytické chemie II*. V Brně: Vutium, 2000. ISBN 80-214-1742-0.
63. NOVOTNÁ, Radka a TRÁVNÍČEK, Zdeněk. *Spektrální metody studia chemických látek*. Online. In: Přírodovědecká fakulta UP. 2011. Dostupné z: [https://www.prf.upol.cz/fileadmin/userdata/PrF/katedry/afc/Studijni\\_materialy/Spektralni\\_metody.pdf](https://www.prf.upol.cz/fileadmin/userdata/PrF/katedry/afc/Studijni_materialy/Spektralni_metody.pdf). [cit. 2025-03-02].
64. DOHNAL, Miroslav. *Barevné vidění: kolorimetrie*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2019. ISBN 978-80-7560-246-6.
65. MALÁT, Miroslav. *Kolorimetrie*. Studie a prameny, sv. 15. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1956.

66. MACADAN, D. L. *Color measurement: theme and variations*. Berlin: Springer, 1985.
67. HUNTER, Richard S. *The Measurement of appearance*. [1. vyd.]. New York: John Wiley, 1975. ISBN 0-471-42141-3.
68. WYSZECKI, Günter a STILES, W. S. *Color science: concepts and methods, quantitative data and formulas*. New York: John Wiley, 1967.
69. W. APRILYANI, Mulia; PURWADI, Purwadi; MANAB, Abdul; W. APRILYANTI, Mulia a D. IKHWAN, Alvira. Characteristics of Moisture Content, Swelling, Opacity and Transparency with Addition Chitosan as Edible Films/Coating Base on Casein. Online. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2020, roč. 18, č. 1, s. 9-14. ISSN 2042-4868. Dostupné z: <https://doi.org/10.19026/ajfst.18.6041>. [cit. 2025-06-22].
70. DAI, Lei; QIU, Chao; XIONG, Liu a SUN, Qingjie. Characterisation of corn starch-based films reinforced with taro starch nanoparticles. Online. *Food Chemistry*. 2015, roč. 174, s. 82-88. ISSN 03088146. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.005>. [cit. 2025-06-22].
71. *Theory Of Measuring Opacity Of Rigid Plastics*. Online. Laboratory Testing Instruments & Equipments Manufacturer - Presto Group. C2025. Dostupné z: <https://www.prestogroup.com/articles/theory-of-measuring-opacity-of-rigid-plastics/>. [cit. 2025-06-22].
72. *Contrast Ratio Opacity | HunterLab*. Online. Color Measurement Spectrophotometer Supplier & Manufacturer. C2025. Dostupné z: <https://www.hunterlab.com/blog/contrast-ratio-opacity/>. [cit. 2025-06-22].
73. *Color Management: Know about Color Spaces*. Online. In: Linshang Technology Make measurement easier. ©2021. Dostupné z: <https://www.linshangtech.com/tech/color-space-tech1439.html>. [cit. 2025-03-09].
74. ANDERSEN, ØYVIND M. Chromatographic Separation of Anthocyanins in Cowberry (Lingonberry) *Vaccinium vitis-idaea* L. Online. *Journal of Food Science*. 1985, roč. 50, č. 5, s. 1230-1232. ISSN 0022-1147. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10449.x>. [cit. 2025-06-09].
75. LEHTONEN, Henna-Maria; RANTALA, Milla; SUOMELA, Jukka-Pekka; VIITANEN, Matti a KALLIO, Heikki. Urinary Excretion of the Main Anthocyanin in Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*), Cyanidin 3- O -Galactoside, and Its Metabolites. Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009, roč. 57, č. 10, s. 4447-4451. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/jf900894k>. [cit. 2025-06-09].

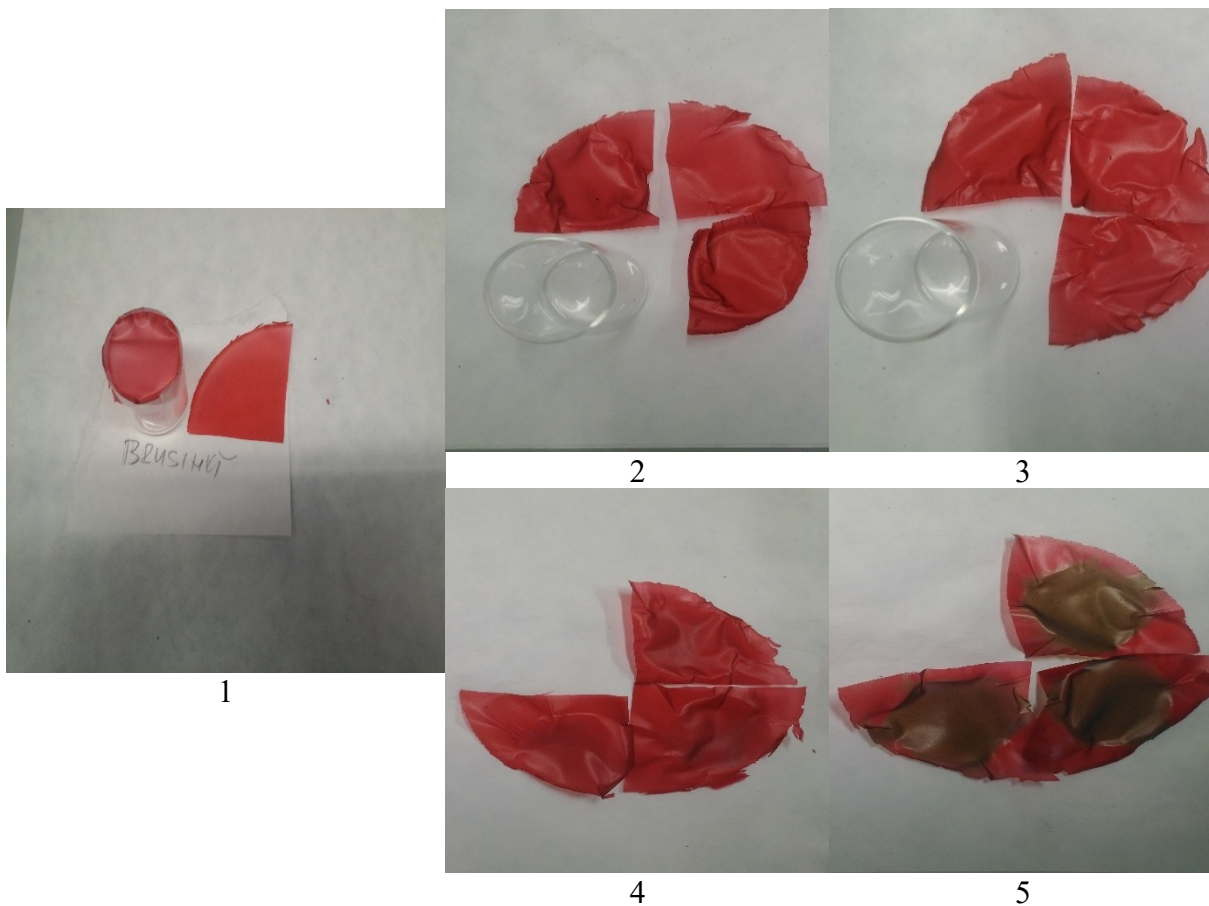
76. EK, Sari; KARTIMO, Heikki; MATTILA, Sampo a TOLONEN, Ari. Characterization of Phenolic Compounds from Lingonberry ( *Vaccinium vitis-idaea* ). Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006, roč. 54, č. 26, s. 9834-9842. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/jf0623687>. [cit. 2025-06-09].
77. DA COSTA, Cristina T; NELSON, Bryant C; MARGOLIS, Sam A a DEREK HORTON. Separation of blackcurrant anthocyanins by capillary zone electrophoresis. Online. *Journal of Chromatography A*. 1998, roč. 799, č. 1-2, s. 321-327. ISSN 00219673. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(97\)01043-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(97)01043-1). [cit. 2025-06-09].
78. CAO, Lei; PARK, Yena; LEE, Sanggil a KIM, Dae-Ok. Extraction, Identification, and Health Benefits of Anthocyanins in Blackcurrants (*Ribes nigrum* L.). Online. *Applied Sciences*. 2021, roč. 11, č. 4. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app11041863>. [cit. 2025-06-09].
79. OLIVEIRA, Joana; FERNANDES, Virgínia; MIRANDA, Cândida; SANTOS-BUELGA, Celestino; SILVA, Artur et al. Color Properties of Four Cyanidin–Pyruvic Acid Adducts. Online. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006, roč. 54, č. 18, s. 6894-6903. ISSN 0021-8561. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/jf061085b>. [cit. 2025-06-09].
80. RAKIĆ, Violeta a POKLAR ULRIH, Nataša. Influence of pH on color variation and stability of cyanidin and cyanidin 3- O- $\beta$  -glucopyranoside in aqueous solution. Online. *CyTA - Journal of Food*. 2021, roč. 19, č. 1, s. 174-182. ISSN 1947-6337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1874539>. [cit. 2025-06-09].

## **Přílohy**

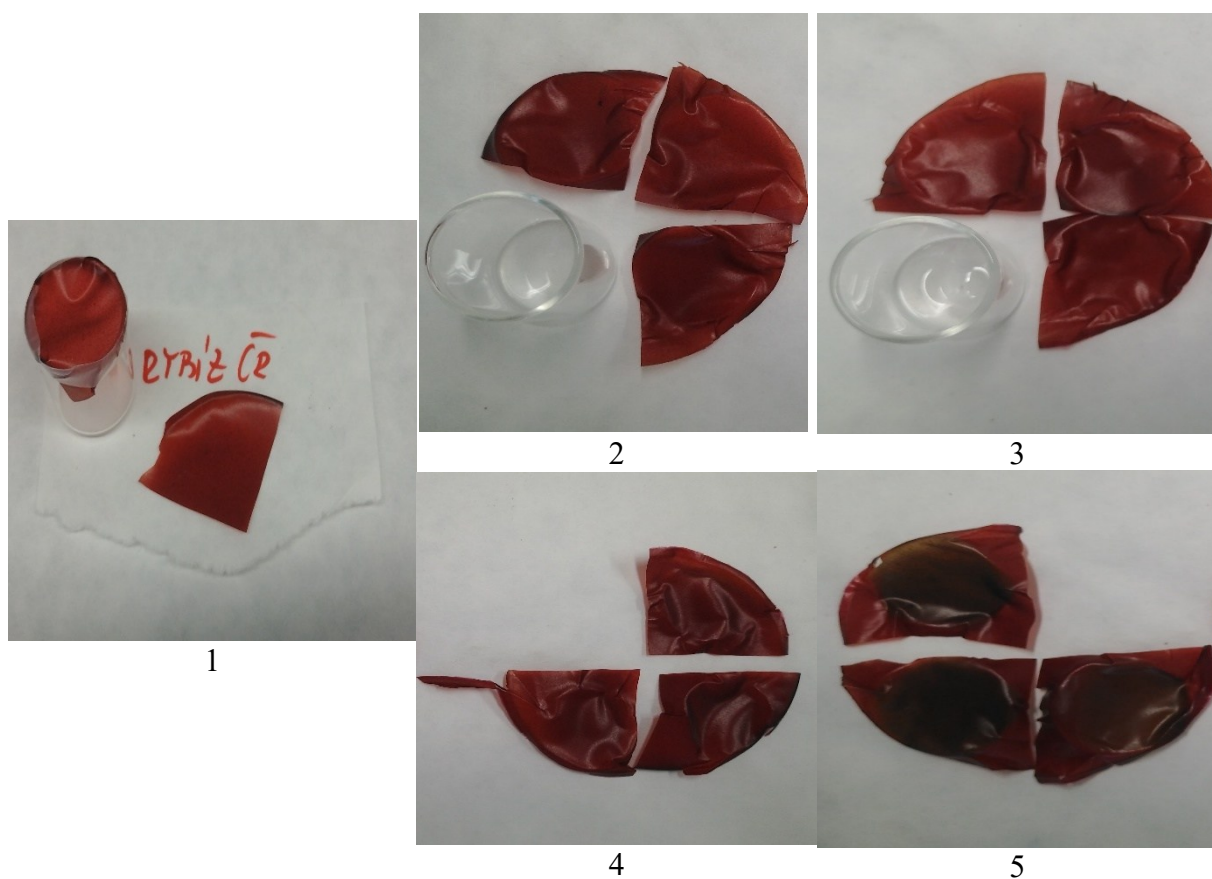
Příloha A: Lyofilizované prášky .....	50
Příloha B: Pektinové filmy obsahující 5 % (hm.) brusinkového prášku po překrytí kuřecího masa a inkubaci při 30 °C po dobu A) 0 h, D) 21 h a E) 45 h. Vzorky B a C byly inkubovány za stejných podmínek bez vzorků kuřecího masa.....	51
Příloha C: Pektinové filmy obsahující 5 % (hm.) rybízového prášku po překrytí kuřecího masa a inkubaci při 30 °C po dobu A) 0 h, D) 21 h a E) 45 h. Vzorky B a C byly inkubovány za stejných podmínek bez vzorků kuřecího masa. ....	52
Příloha D: Pektinové filmy obsahující 5 % (hm.) borůvkového prášku po překrytí kuřecího masa a inkubaci při 30 °C po dobu A) 0 h, D) 21 h a E) 45 h. Vzorky B a C byly inkubovány za stejných podmínek bez vzorků kuřecího masa.....	53
Příloha E: Pektinové filmy obsahující 5 % (hm.) aroniového prášku po překrytí kuřecího masa a inkubaci při 30 °C po dobu A) 0 h, D) 21 h a E) 45 h. Vzorky B a C byly inkubovány za stejných podmínek bez vzorků kuřecího masa. ....	54



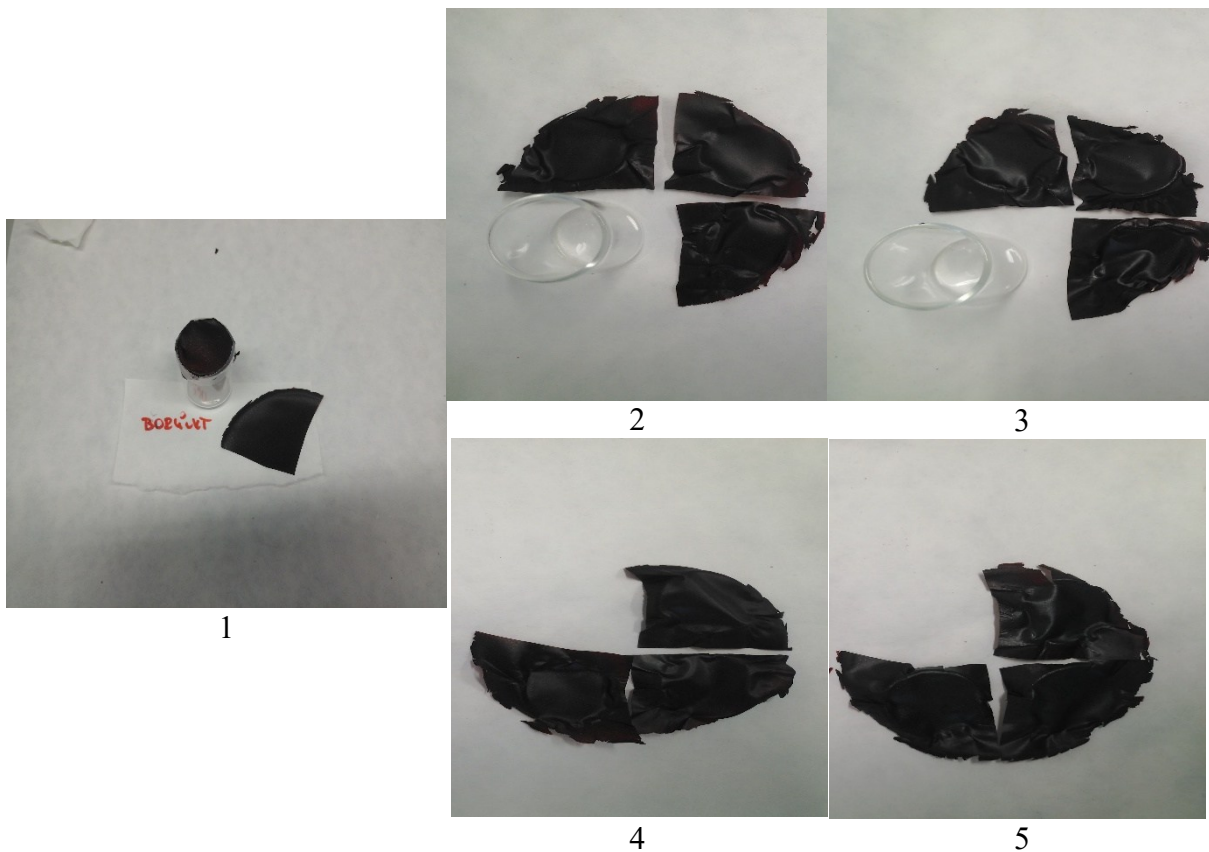
Příloha A: Lyofilizované prášky



Příloha B: Pektinové filmy obsahující 5 % (hm.) brusinkového prášku po překrytí kuřecího masa a inkubaci při 30 °C po dobu A) 0 h, D) 21 h a E) 45 h. Vzorke B a C byly inkubovány za stejných podmínek bez vzorků kuřecího masa.



Příloha C: Pektinové filmy obsahující 5 % (hm.) rybízového prášku po překrytí kuřecího masa a inkubaci při 30 °C po dobu A) 0 h, D) 21 h a E) 45 h. Vzorky B a C byly inkubovány za stejných podmínek bez vzorků kuřecího masa.



Příloha D: Pektinové filmy obsahující 5 % (hm.) borůvkového prášku po překrytí kuřecího masa a inkubaci při 30 °C po dobu A) 0 h, D) 21 h a E) 45 h. Vzorky B a C byly inkubovány za stejných podmínek bez vzorků kuřecího masa.



1



2



3



4



5

Příloha E: Pektinové filmy obsahující 5 % (hm.) aroniového prášku po překrytí kuřecího masa a inkubaci při 30 °C po dobu A) 0 h, D) 21 h a E) 45 h. Vzorky B a C byly inkubovány za stejných podmínek bez vzorků kuřecího masa.