

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Využití odpadu z vinařství v pektinových obalech
Diplomová práce

2025

Bc. Sabina Chalupová

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Sabina Chalupová**
Osobní číslo: **C23265**
Studijní program: **N0531A130030 Hodnocení a analýza potravin**
Téma práce: **Využití odpadu z vinařství v pektinových obalech**
Téma práce anglicky: **Utilization of winery waste in pectine-based packaging**
Zadávací katedra: **Katedra analytické chemie**

Zásady pro vypracování

- S využitím odborných publikací zpracujte přehled o chemickém složení matoliny (slupky, semena) a využití těchto produktů v potravinářství. Vypracujte také přehled o obalových materiálech v potravinářství, s důrazem na jedlé obaly na bázi pektinu. Popište principy instrumentálních metod a chemických postupů využitých v experimentální práci.
- Připravte vzorky obalů na bázi pektinu s přísadky extraktů matoliny a určete jejich základní funkční vlastnosti.
- Výsledky zpracujte vhodnou metodou a určete, pro jaké typy potravin jsou obaly vhodné.

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

Seznam doporučené literatury:

Podle pokynů vedoucího práce.

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

Datum zadání diplomové práce: **7. února 2025**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 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:

Práci s názvem „Využití odpadu z vinařství v pektinových obalech“ jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena 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 odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne: 09. 05. 2025

Bc. Sabina Chalupová v.r.

PODĚKOVÁNÍ:

Ráda bych touto cestou vyjádřila poděkování doc. Ing. Liboru Červenkovi, Ph.D. za své cenné rady, trpělivost a inspiraci při vedení této diplomové práce. Chtěla bych také velmi ráda poděkovat své rodině, která mi byla oporou po celou dobu mého studia.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývala využitím vinařského odpadu při přípravě jedlých obalů v potravinářství. V teoretické části je popsáno jejich složení, legislativa a metody určené pro zjištění základních funkčních vlastností. V experimentální části byly testovány optické vlastnosti obalů vyrobených z citrusového a jablečného pektinu v kombinaci s extraktem z matoliny dvou zelených odrůd révy vinné. Migrace fenolických látek z obalů do různých rozpouštědel byla sledována s využitím Folin-Ciocalteuova činidla. Parapropustnost byla změřena vystavením vzorků 50 % relativní vzdušné vlhkosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jedlý film, pektin, glycerol, Sauvignon, Irsai Oliver, UV/VIS spektrometrie, ultrazvuk

TITLE

Utilization of winery waste in pectine-based packaging.

ANNOTATION

This thesis addresses the utilization of winemaking waste in the preparation of edible packaging for the food industry. The theoretical section describes their composition, legislation, and methods used to determine the basic functional properties. In the experimental, the optical properties of citrus and apple pectins combined with extracts from pomace of two green grape varieties were tested- The migration of phenolic compounds from the pectin films into various solvents was monitored using the Folin-Ciocalteu reagent. Permeability was measured by exposing samples to 50% relative humidity.

KEYWORDS

Edible film, pectin, glycerol, Sauvignon, Irsai Oliver, UV/VIS spectrometry, ultrasound

Obsah

Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	12
Seznam grafů.....	13
Seznam zkratek	14
Úvod.....	15
1 Réva vinná	16
1.1 Matolina	16
1.2 Výroba matoliny.....	17
1.3 Sauvignon.....	17
1.4 Irsai Oliver	17
2 Pektin.....	18
2.1 Struktura.....	18
2.1.1 Homogalacturonan (HG).....	19
2.1.2 Rhamnogalacturonan I (RG-I).....	20
2.1.3 Rhamnogalacturonan II (RG-II).....	20
2.2 Využití pektinů.....	20
2.3 Výskyt a získávání pektinu	21
3 Glycerol	23
3.1 Charakteristika	23
3.2 Původ a výroba.....	23
3.3 Využití glycerolu.....	24
3.3.1 Glycerol v jedlých obalech.....	24
4 Jedlé obaly	25
4.1 Úvod.....	25
4.2 Charakteristika	25
4.2.1 Vlastnosti jedlých obalů z pektinu a glycerolu	25

4.2.2	Použití jedlých obalů v praxi.....	26
4.3	Legislativa	26
4.3.1	Zákon č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích.....	26
4.3.2	Vyhláška č. 38/2001 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami.....	27
4.3.3	477/2001 – o obalech a obalových odpadech.....	27
4.3.4	Nařízení (ES) č. 178/2002, obecné zásady a požadavky potravinového práva	27
4.3.5	Nařízení (ES) č. 1935/2004 – Materiály přicházející do styku s potravinami	27
4.3.6	Nařízení (ES) č. 2023/2006, správná výrobní praxe pro materiály a předměty určené pro styk s potravinami.....	28
4.3.7	Nařízení (ES) č. 1333/2008 – Přídavné látky v potravinách.....	28
4.3.8	Nařízení (EU) č. 10/2011 - o materiálech a předmětech z plastů určené pro styk s potravinami.....	28
4.3.9	Nařízení (EU) č. 1169/2011 - O poskytování informací o potravinách spotřebitelům	29
4.3.10	Nařízení 94/62/ES – směrnice Evropského parlamentu a rady o obalech a obalových odpadech	30
5	Inteligentní obaly.....	31
6	Spektroskopické metody	32
6.1	UV/VIS spektrometrie	32
6.1.1	Lambert-Beerův zákon	32
6.1.2	Instrumentace	33
6.2	Optické vlastnosti.....	33
6.3	Infračervená spektrometrie s Furierovou transformací.....	34
6.3.1	Princip metody FTIR.....	34
6.3.2	Využití FTIR při vývoji jedlých obalů	34
6.3.3	Důležité pásy ve spektru.....	35

7	Chemické metody	36
7.1	Obsah fenolických látek	36
7.2	Měření obsahu cukrů (HPLC-HILIC)	36
7.2.1	Refraktometrické stanovení obsahu cukrů	36
7.2.2	Chromatografické stanovení obsahu cukrů	37
8	Parapropustnost jedlých obalů	38
8.1	Charakteristika metody měření parapropustnosti	38
8.2	Využití parapropustnosti v jedlých obalech	38
8.3	Role silikagelu v měření parapropustnosti	39
8.4	Princip přístroje DVS Intrinsic Plus	39
9	Optické vlastnosti – opacita	40
9.1	Princip metod hodnocení barevnosti a opacity	40
9.1.1	Barevnost	40
9.1.2	Opacita	41
9.2	Přístroje pro měření optických vlastností	42
10	Experimentální část	43
10.1	Přístroje a zařízení	43
10.2	Další pomůcky	43
10.3	Chemikálie	44
10.4	Příprava vzorků filmů	44
10.4.1	Příprava slepých filmů	44
10.4.2	Příprava extraktů	45
10.5	Měření tloušťky filmů	46
10.6	Optické vlastnosti filmů	46
10.6.1	Absorbance a transmittance vzorků	46
10.6.2	Barevnost a opacita vzorků	47
10.7	Infračervená spektrometrie s Furierovou transformací	47

10.8	Celkový obsah fenolických látek.....	47
10.9	Obsah cukrů.....	49
10.10	Mikroskopie filmů.....	49
10.11	Parapropustnost.....	49
11	Výsledky a diskuze.....	51
11.1	Měření tloušťky filmů.....	51
11.2	Optické vlastnosti filmů.....	52
11.2.1	Absorbance a transmitance vzorků.....	52
11.2.2	Barevnost a opacita vzorků.....	58
11.3	Infračervená spektrometrie s Furierovou transformací vzorků filmů.....	62
11.4	Celkový obsah fenolických látek.....	64
11.5	Obsah cukrů.....	66
11.6	Mikroskopie filmů.....	67
11.7	Parapropustnost.....	71
12	Závěr.....	73
13	Literatura.....	74
14	Přílohy.....	79

Seznam obrázků

Obrázek 1: <i>Základní struktura pektinové molekuly</i>	18
Obrázek 2: <i>Vedlejší větvení struktury molekuly pektinu</i>	19
Obrázek 3: <i>Chemická struktura glycerolu</i>	23
Obrázek 4: <i>Útlum intenzity světla (Lambert-Beerův zákon)</i>	33
Obrázek 5: <i>Základní instrumentace UV/VIS spektrometru</i>	33
Obrázek 6: <i>DVS Intrinsic Plus</i>	39
Obrázek 7: <i>Barevný prostor CIE L*a*b*</i>	40
Obrázek 8: <i>Slepý film s citrusovým pektinem</i>	45
Obrázek 9: <i>Slepý film s jablečným pektinem</i>	45
Obrázek 10: <i>Matolina Irsai Oliver</i>	46
Obrázek 11: <i>Výsledný extrakt z matoliny</i>	46
Obrázek 12: <i>Kalibrační řada kyseliny gallové</i>	48
Obrázky 13 A-F: <i>Citrusové filmy</i>	69
<i>A) slepý film</i>	
<i>B) slepý film s použitím ultrazvuku</i>	
<i>C) film z extraktu Sauvignon</i>	
<i>D) film z extraktu Sauvignon s použitím ultrazvuku</i>	
<i>E) film z extraktu Irsai Oliver</i>	
<i>F) film z extraktu Irsai Oliver s použitím ultrazvuku</i>	
Obrázky 14 A-F: <i>Jablečné filmy</i>	70
<i>A) slepý film</i>	
<i>B) slepý film s použitím ultrazvuku</i>	
<i>C) film z extraktu Sauvignon</i>	
<i>D) film z extraktu Sauvignon s použitím ultrazvuku</i>	
<i>E) film z extraktu Irsai Oliver</i>	
<i>F) film z extraktu Irsai Oliver s použitím ultrazvuku</i>	

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Porovnání jablečného a citrusového pektinu</i>	22
<i>Tabulka 2: Interpretace opacity (v režimu odrazivosti) D65 v procentech a dle Opacity indexu</i>	47
<i>Tabulka 3: Tloušťka filmů vyrobených z citrusového a jablečného pektinu</i>	51
<i>Tabulka 4: Naměřené hodnoty pro barevný prostor $L^*a^*b^*$ u pektinových filmů</i>	58
<i>Tabulka 5: Naměřené hodnoty pro barevný prostor $L^*C^*h^\circ$ u pektinových filmů</i>	60
<i>Tabulka 6: Výsledné hodnoty opacity filmů z citrusového pektinu</i>	61
<i>Tabulka 7: Výsledné hodnoty opacity filmů z jablečného pektinu</i>	62
<i>Tabulka 8: Hodnoty meze detekce (LOD) a meze stanovitelnosti (LOQ)</i>	64
<i>Tabulka 9: Hodnoty analýzy jedlých obalů po extrakci ve vodě</i>	65
<i>Tabulka 10: Hodnoty analýzy jedlých obalů po extrakci v 50% ethanolu</i>	65
<i>Tabulka 11: Hodnoty analýzy jedlých obalů po extrakci v 96% ethanolu</i>	66
<i>Tabulka 12: Výsledné hodnoty měření rychlosti přenosu vodních par (RVPP) a propustnosti vodní páry (PVP)</i>	72

Seznam grafů

Graf 1: UV/VIS absorpční spektrum citrusových filmů bez použití ultrazvuku	53
Graf 2: UV/VIS spektrum absorpance citrusových filmů s použitím ultrazvuku	53
Graf 3: UV/VIS spektrum transmitance citrusových filmů bez použití ultrazvuku	54
Graf 4: UV/VIS spektrum transmitance citrusových filmů s použitím ultrazvuku	55
Graf 5: UV/VIS spektrum absorpance jablečných filmů bez použití ultrazvuku	56
Graf 6: UV/VIS spektrum absorpance jablečných filmů s použitím ultrazvuku	56
Graf 7: UV/VIS spektrum transmitance jablečných filmů bez použití ultrazvuku	57
Graf 8: UV/VIS spektrum transmitance jablečných filmů s použitím ultrazvuku	57
Graf 9: ATR-FTIR spektrum filmů z extraktu Sauvignon bez použití ultrazvuku	63
Graf 10: ATR-FTIR spektrum filmů z extraktu Irsai Oliver bez použití ultrazvuku	63
Graf 11: Intenzita množství cukrů v extraktech Sauvignon a Irsai Oliver	67
Graf 12: Množství cukrů fruktóza a glukóza v extraktech Sauvignon a Irsai Oliver	67

Seznam zkratek

FTIR	Fourierova transformovaná infračervená spektroskopie
HG	homogalacturonan
HILIC	Hydrophilic Interaction Liquid Chromatography
HMP	vysoce metoxylové pektiny
LMP	nízkometoxylové pektiny
POS	pektinových oligosacharidů
PVP	propustnost vodní páry
RG-I	rhamnogalacturonan I
RG-II	rhamnogalacturonan II
RVPV	rychlosti přenosu vodních par
UV	ultrafialové záření
VIS	viditelné záření

Úvod

Plastové obaly a sáčky jsou nezbytnou součástí v životě dnešního člověka. Používají se téměř všude, ale jejich hlavní funkcí v potravinářství je převážně ochrana potravin před vnějšími vlivy a prodloužení trvanlivosti. V současnosti však existuje velký ekologický problém spojený právě s nadměrným výskytem a používáním těchto obalů a sáčků. Používají se ve velkém množství a je problém s jejich likvidací. Proto se vědci neustále snaží najít řešení k jejich redukcii a nahrazením ekologičtější variantou.

Jednou z těchto variant jsou, tzn. **jedlé obaly**, kterými se tato diplomová práce zabývá. Jedná se o obaly vytvořené nejčastěji z rostlinných produktů s přídavkem plastifikátoru a polysacharidu (glycerol s pektinem). Existují ovšem i jedlé obaly živočišného původu, které mají uplatnění pouze u masných výrobků.

Rostlinným produktem pro výrobu jedlých filmů v této práci byla matolina (odpad výroby vína). Víno je velmi populárním produktem na trhu a je vyráběné z hroznů (bobulí révy vinné). K výrobě se potřebuje neskutečné množství hroznů, ze kterých se získává šťáva. To co zbude po odšťavení jsou slupky, semena a stonky. Jelikož se jedná o velké množství odpadu, začaly se hledat cesty jeho dalšího využití. Jedním z nich by mohla být výroba těchto jedlých obalů.

Cílem práce bylo vyrobit pektinový obal s využitím dvou různých pektinů a extraktu z matoliny dvou zelených odrůd a zjistit jeho základní chemické a fyzikální vlastnosti. Navíc byl také testován vliv použití ultrazvuku během přípravy filmotvorné hmoty.

1 Réva vinná

Nejdůležitější součástí pro výrobu jedlých obalů je základní složka, ke které jsou přidány plastifikátory. Jak již bylo zmíněno v úvodu, v této diplomové práci se jedná o rostlinnou komponentu. V tomto případě o révu vinnou.

Réva vinná, též známá pod latinským názvem *Vitis vinifera L.* se používala již 5000 let př. n. l. a jednalo se o jedno z prvních lidsky pěstovaných druhů ovoce [1]. Kromě četnosti bobulí, jež se dokáže vypěstovat, musíme vyzdvihnout jejich chuť. Každá odrůda, z které se víno vyrábí, ji má specifickou. To vede k velkému výběru vín a díky velké oblibě se vinařství rozrostlo v lukrativní byznys. Aktuální produkce vína je v současnosti kolem 75 až 85 milionů tun [2].

Samostatné hrozny jsou skvělým zdrojem vitamínů, minerálů a cukrů [1], kdy jejich hladiny závisí na místě a podmínkách růstu a též pěstované odrůdě. V současnosti existuje více než 6000 odrůd, které se dělí dle svého morfologického charakteru. To se zároveň podílí i na velikosti vinařského průmyslu, vzhledem k tomu, že vinná réva má zásadní ekonomickou hodnotu [3]. Vinná réva je závislá na vnějších podmínkách, kdy jakákoliv změna může ovlivnit její růst a následnou kvalitu vína. Mezi tyto závislosti patří změna slunečního záření, teplota, cirkulace vzduchu atd. [1].

1.1 Matolina

Hroznový odpad (slupky, stonek, semena), též známý jako **matolina**, je vedlejší produkt výroby vína. Je zdrojem polyfenolů, vlákniny, mastných kyselin, minerálů a organických kyselin, které by mohly být použity jako surovina pro výrobu udržitelných materiálů [4], jako jsou právě jedlé obaly. Matolina též obsahuje neutrální polysacharidy (30 %), pektinové látky (20 %), nerozpustné proantho kyanidiny (15 %) a fenolické sloučeniny [2].

Konzumace hroznů je zdraví prospěšná, jelikož mají vysokou biologickou aktivitu. Ta je vyvolaná polyfenoly, které se v nich nachází. Mezi tuto aktivitu můžeme zařadit například antioxidační, protinádorové, protizánětlivých a antimikrobiálních vlastnosti [2].

1.2 Výroba matoliny

Matolina představuje zbytkový odpadní produkt získaný po předběžném kvašení a následném lisování. Vznikne polotuhý materiál připomínající tablety, které se ručně narušují a provádí se okamžitá lyofilizace pro odstranění zbytkové vody. Hotová matolina je nakonec vakuově uzavřena do plastového sáčku. Skladování hotového produktu je při pokojové teplotě na temném místě [2]. Zde je uchována, než je potřeba nějaká extrakce. Extrakce je později popsána v kapitole příprava filmů, kdy se používala matolina ze Sauvignonu a Irsai Olivera. V současnosti má matolina široké využití. Kromě v potravinářství nachází uplatnění i v kosmetice, zemědělství i energetice. Z matoliny se vyrábějí destiláty, extrahují antioxidanty pro funkční potraviny a kosmetiku, používá se jako krmivo pro zvířata, kompost nebo surovina pro výrobu biopaliv [5].

1.3 Sauvignon

Sauvignon je bílé víno, které v České Republice nalezneme nejvíce v oblasti Mikulova a Znojma, pochází ale z Francie. Hrozny jsou malé, válcovité, hustě osazené menšími, zelenožlutými bobulemi s tlustší slupkou a výrazně aromatickou dužninou. Víno jako takové patří do tzv. velké trojky bílých vín společně s oblíbenými odrůdami Chardonnay a Ryzlink rýnský.

Má mnoho aromatických vůní, kdy záleží na stáří hroznů. U vín z mladých hroznů to může být vůně kopřiv, bylinek nebo travnatosti. U vyzrálých hroznů jsou spíše černorybízové, angreštové [6]. Tato vůně zůstává i po vakuaci matoliny a přetrvává i měsíce.

1.4 Irsai Oliver

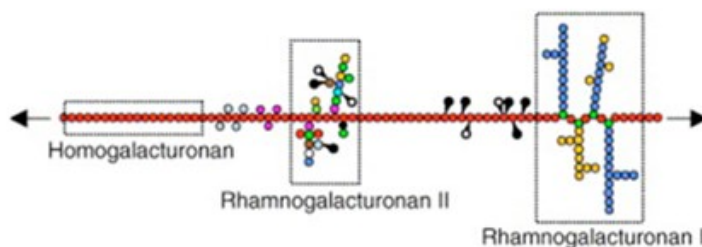
Stejně jako víno Sauvignon, je Irsai Oliver druh bílého vína. Jedná se o raně zrající moštovou i stolní odrůdu s muškátovou vůní bobulí i vína. V České Republice se však vyskytuje méně než Sauvignon a pochází z Maďarska, kde byla vyšlechtěna.

Vůně tohoto vína připomíná muškátově-kořenitou s malou kyselostí. Je perfektním vínem pro výrobu burčáku, jelikož rychle stárne. Je také vhodné k tvoření vinných směsí, kdy je kombinován s kyslejšími víny, jako je Ryzlink [7].

2 Pektin

2.1 Struktura

Pektin je komplexní heterogenní polysacharid přítomný v buněčných stěnách vyšších rostlin tvořený především lineárními řetězci kyseliny galakturonové spojené α -(1 \rightarrow 4) glykosidovými vazbami s různým stupněm methylesterifikace [8]. Celková struktura pektinu je rozmanitá, skládá se až ze 17 různých monosacharidů a více než 20 druhů vzájemných vazeb. Skládá se ze tří bloků zodpovědných za klasifikaci pektinu: homogalacturonan (HG), rhamnogalacturonan I (RG-I) a rhamnogalacturonan II (RG-II) viz Obrázek 1 [9]. Stupeň rozvětvení se může lišit v závislosti na zdroji pektinu. Kromě toho mohou molekuly pektinu vytvářet příčné vazby s jinými polysacharidy a bílkovinami v buněčné stěně, což dále komplikuje její strukturu [10].



Obrázek 1: Základní struktura pektinové molekuly, převzato z [9]

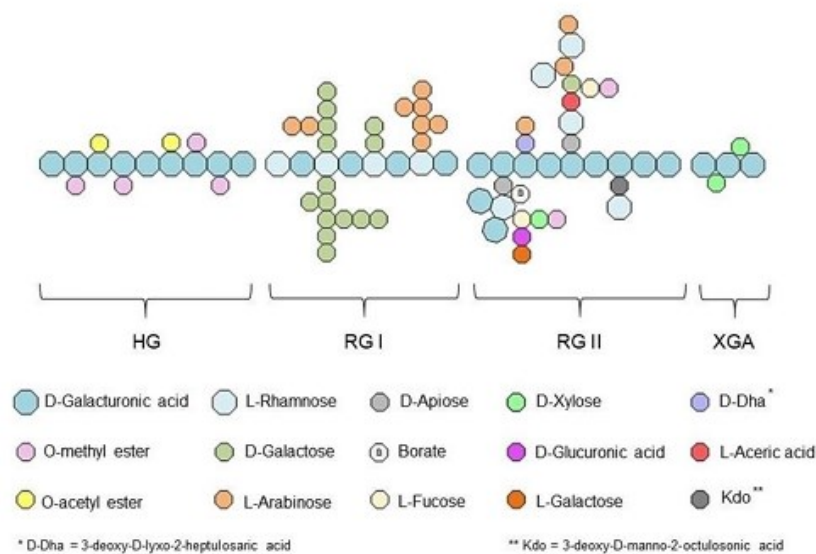
Strukturální vlastnosti tohoto polymeru, jako je obsah neutrálního cukru, molekulová hmotnost, obsah proteinů a methylesterifikace, se řídí jeho funkčními vlastnostmi, jako jsou emulgační a želírovací vlastnosti [10]. V posledním desetiletí byly využity strukturální modifikace molekuly pektinu s cílem vyrábět molekuly, které vykazují vylepšené funkční vlastnosti. Ty se získaly pomocí depolymerizace molekuly pektinu použitím různých technik. To vedlo ke vzniku směsi substituovaných a/nebo nesubstituovaných fragmentů polymeru [9].

Vzhledem k tomu, že u sloučenin odvozených z pektinu se předpokládá, že mají několik schopností, zkoumání jejich vztahu mezi strukturou a funkcí by usnadnilo využití plného potenciálu těchto molekul [8]. Molekuly odvozené od pektinu, včetně pektinových oligosacharidů (POS), byly navrženy jako potencionální prebiotika, protože bylo prokázáno, že tyto sloučeniny selektivně stimulují růst a aktivitu prospěšných střevních bakterií [11].

Složení pektinu se liší v závislosti na rostlinném zdroji, stupni zralosti suroviny, metodách a podmínkách extrakce a různých faktorech prostředí, což ztěžuje charakterizaci struktury

pektinu [9]. Objasnění struktury pektinu je důležité pro pochopení jeho úlohy při růstu a vývoji rostlin, během zrání ovoce, při zpracování potravin a jako nutriční vlákniny. Určit strukturu pektinů je velmi obtížné, protože jejich složení se liší podle zdroje a podmínek extrakce, lokality a dalších faktorů prostředí [8].

Kromě 3 hlavních částí struktury existuje vedlejší větvení, které zahrnuje neutrální cukry, jako je rhamnóza, arabinóza a galaktóza, což přispívá k jeho komplexní struktuře (viz Obrázek 2). Stupeň esterifikace ovlivňuje gelotvorné vlastnosti pektinu, přičemž HM pektiny tvoří gely za přítomnosti cukru a kyselin, zatímco LM pektiny gelují v přítomnosti vápníku [12]



Obrázek 2: Vedlejší větvení struktury molekuly pektinu; převzato z [12]

2.1.1 Homogalacturonan (HG)

HG je lineární polysacharid představující „hladkou oblast“ pektinu a tvoří lineární polymery složené převážně z jednotek kyseliny D-galakturonové (nejméně 65 %) spojených v řetězci pomocí (1-4)-glykosidických vazeb [11].

Dělíme je podle stupně metylace i acetylace na vysoce metoxylové pektiny (HMP) a nízkometoxylové pektiny (LMP). Tyto stupně mají hluboký vliv na funkční vlastnosti pektinu. Pektin se stupněm methylesterifikace (DE) > 50% je klasifikován jako HMP, zatímco DE ve výši < 50% je klasifikována jako LMP [9].

Vysoce metoxylové pektiny vyžadují přidání sacharózy a kyselého prostředí k vytvoření gelu, zatímco nízkometoxylové pektiny tvoří gely za přítomnosti iontů vápníku ve větším rozsahu pH [12].

2.1.2 Rhamnogalacturonan I (RG-I)

Jedná se o vysoce rozvětvený polysacharid představující „chlupatou oblast“ pektinu. Je to páteří opakujících se a střídajících se sekvencí disacharidových zbytků [(2)-L-Rhap-(14)-D-GalAp-(1)], které tvoří až 7-14 % pektinu [11].

2.1.3 Rhamnogalacturonan II (RG-II)

Jedná se o vysoce rozvětvený polysacharid představující „chlupatou oblast“ pektinu stejně jako rhamnogalacturonan I. Skládá se z homogalakturonanové páteře se 7 nebo 10-(14)-D-GalpA jednotkami a čtyřmi různými strukturními postranními řetězci, navázaných na pozice C-2 nebo C-3 zbytků GalA, včetně vzácných monomerů, jako jsou apióza, kyselina acerová a další [10].

2.2 Využití pektinů

Jako přírodní potravinářská přísada je pektin široce využíván v potravinářském průmyslu zejména díky svým gelotvorným schopnostem a biokompatibilitě. Stále více se využívá při výrobě jedlých filmů a obalů díky své schopnosti tvořit pružné a průhledné filmy s dobrými bariérovými vlastnostmi proti kyslíku a vlhkosti [13]. Pektin je vysoce ceněn jako složka jedlých obalů díky své schopnosti tvořit flexibilní, biodegradabilní filmy s dobrou bariérovou účinností. Pektinové filmy mohou být kombinovány s antimikrobiálními a antioxidačními látkami pro zajištění ochrany potravin [14]. Pektin je multifunkční přírodní polymer, jehož fyzikálně-chemické vlastnosti a ekologický charakter jej činí ideálním kandidátem pro použití v potravinářských obalech nové generace [15]. Má vynikající želírovací, zahušťovací a emulgační vlastnosti. Kromě toho má pektin také řadu bioaktivních účinků, jako jsou antioxidační, antiglykační, protinádorové a hypolipidemické. Studie uvádějí, že funkční vlastnosti pektinů úzce souvisejí s jejich monosacharidovým složením, molekulovou hmotností, interakcí řetězce s řetězcem, konformací glykosidických vazeb atd. [9].

Při použití v potravinářském odvětví mají pektinové fólie vysokou tvrdost a dobré adhezivní vlastnosti a fungují jako přirozená bariéra pro výměnu vlhkosti, plynů, lipidů a těkavých látek

mezi vnějším a vnitřním prostředím. To přispívá k prevenci mikrobiální kontaminace potravin [6]. Pektinové fólie však mají i některé nevýhody, jako je tuhost, křehkost a náchylnost k působení vody. Kromě toho má mnoho výhod: pektin obnovitelný, levný a snadno modifikovatelný, což umožňuje vývoj nových materiálů s vlastnostmi a funkcemi na míru [10].

Lze ho použít i v další průmyslové výrobě jako např. při vývoji jedlých fólií, změkčovadel, náhražek papíru a pěn a ve farmaceutickém průmyslu. Takové aplikace snižují využití plastových obalů a přispívají k udržitelnosti průmyslu.

2.3 Výskyt a získávání pektinu

Pektin se získává především z vedlejších produktů zpracování ovoce, jako jsou citrusové slupky (85 %) a jablečné výlisky (14 %). Současné studie však uvádějí, že pektin lze získat z mnoha vedlejších produktů potravinářského průmyslu. Mezi vedlejší produkty zkoumané v posledních letech patří slupky z řepy, hroznů a papáji. Získávat se může i z netradičních zdrojů jako kávová dužina a kakaové skořápky [12]. Citrusové slupky jsou bohatým zdrojem pektinu a mají potenciál být udržitelnou a nákladově efektivní surovinou pro výrobu pektinu stejně jako jablečné výlisky. Strukturní složitost citrusového pektinu však může činit jeho extrakci a zpracování náročnými a je třeba najít účinné a nákladově efektivní metody výroby vysoce kvalitních pektinových produktů [10]. porovnání mezi jablečným a citrusovým pektinem můžeme vidět v Tabulce 1.

Výroba pektinu zahrnuje několik klíčových kroků: extrakci, filtraci, čištění a sušení. Moderní technologie využívají biologicky odbouratelné rozpouštědlo a snižují spotřebu energie. V posledních letech byly studovány alternativní metody ke konvenční extrakci kyselinami, aby se překonaly obavy o životní prostředí v souvislosti s tvorbou odpadních látek, které jsou s těmito tradičními metodami spojeny [13]. Optimalizace výrobních procesů má za cíl zvyšovat kvalitu a čistotu získaného pektinu. Moderní metody, jako je použití organických kyselin (např. kyseliny citronové) nebo fyzikálních technik nabízejí ekologičtější alternativy s vyšší výtěžností a kvalitou získaného pektinu [14].

Tradiční metoda extrakce zahrnuje použití kyseliny za zvýšené teploty a srážení alkoholem, což umožňuje uvolnění pektinu z rostlinné matrice. Výhodou této metody je jednoduchost navzdory vysokým nákladům na energii [12]. Vědci hledají ekologičtější metody s popularizací „zelené chemie“ a proto spíše používají nové extrakční metody: mikrovlnná extrakce (MAE), extrakce

za pomoci ultrazvuku (UAE), extrakce podkritickou vodou (SWE), extrakce hlubokými eutektickými rozpouštědly (DES) a mnoho dalších [14].

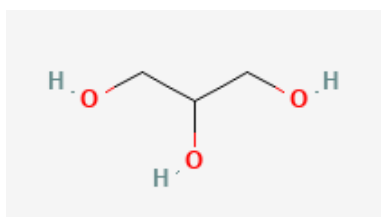
Tabulka 1: Porovnání jablečného a citrusového pektinu [10, 12, 13]

Vlastnost	Jablečný pektin	Citrusový pektin
Původ	Z jablečných výlisků (slupky, jádřince)	Ze slupek citrusových plodů (hlavně pomeranče a citrony)
Chuť	Neutrální až lehce ovocná	Trochu kyselejší, někdy mírně hořký podtón
Barva	Světlejší, může být mírně nažloutlý	Obvykle bělejší
Dostupnost	Méně častý v běžném prodeji	Častější, průmyslově dostupný
Použití	Skvělý pro neutrální nebo jablečné výrobky	Skvělý pro citrusové džemy nebo tam, kde mírná kyselost nevádí

3 Glycerol

3.1 Charakteristika

Glycerol, známý také jako glycerin, je jednoduchý trihydroxyalkohol s chemickým vzorcem $C_3H_8O_3$ (viz. Obrázek 3) Jedná se o bezbarvou, viskózní kapalinu sladké chuti, která je plně mísitelná s vodou a má hygroskopické vlastnosti. Díky své netoxicitě a schopnosti vázat vodu nachází glycerol široké uplatnění v potravinářství, farmacii, kosmetice a dalších průmyslových odvětvích [16].



Obrázek 3: Chemická struktura glycerolu, převzato z <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>

Chemická struktura glycerolu je tvořena třemi hydroxylovými skupinami (-OH) navázanými na tří uhlíkový řetězec. Tato struktura mu propůjčuje vysokou polaritu a schopnost tvořit vodíkové vazby, což je klíčové pro jeho fyzikálně-chemické vlastnosti [16]. Glycerol je plně mísitelný s vodou a má vysokou hygroskopičnost, což znamená, že snadno absorbuje vodu z okolního prostředí [17]. Tyto vlastnosti z něj činí vynikající zvlhčovač a stabilizátor v různých aplikacích. Nejvíce se vyskytuje v potravinářství s kódem E422 [18].

3.2 Původ a výroba

Glycerol se v přírodě vyskytuje jako součást triglyceridů v tucích a olejích. Průmyslově se získává jako vedlejší produkt při výrobě mýdla (saponifikace) a biodieselu (transesterifikace). Rostoucí produkce biodieselu vedla k nadbytku glycerolu na trhu, což podnítilo výzkum jeho dalšího využití a přeměny na hodnotnější produkty [19].

Přírodní glycerol je vysoce čištěn destilací a filtračními metodami, aby vyhovoval potravinářským a farmaceutickým normám. Jeho ekologická výroba z obnovitelných zdrojů nabývá na významu s rostoucím důrazem na udržitelnost [20]

3.3 Využití glycerolu

Glycerol se používá v mnoha oblastech jako je farmacie a kosmetika, průmyslová výroba plastů atd. Pro nás je ale nejdůležitější potravinářství [18].

V potravinářském průmyslu je glycerol označován jako přídatná látka E422. Používá se jako zvlhčovač, sladidlo a stabilizátor v různých výrobcích, jako jsou cukrovinky, pečivo a nápoje. Jeho hygroskopické vlastnosti pomáhají udržovat vlhkost a prodlužovat trvanlivost potravin [21].

3.3.1 Glycerol v jedlých obalech

V oblasti jedlých obalů slouží glycerol jako klíčový plastifikátor, který zlepšuje mechanické vlastnosti filmů na bázi přírodních polymerů, jako jsou škroby, bílkoviny nebo polysacharidy [19]. Přidání glycerolu zvyšuje pružnost a snižuje křehkost těchto filmů, čímž zlepšuje jejich zpracovatelnost a funkčnost [16].

Například studie publikovaná v časopise Scientific Reports zkoumala vliv různých koncentrací glycerolu na fyzikální a mechanické vlastnosti jedlých filmů vyrobených ze škrobu kořene maranty. Výsledky ukázaly, že zvýšení obsahu glycerolu vedlo ke zvýšení pružnosti filmů, ale zároveň ke snížení jejich pevnosti v tahu [22]. Další výzkum se naopak zaměřil na jedlé filmy vyrobené z želatiny kombinované s glycerolem a sorbitolem. Studie zjistila, že optimální kombinace těchto plastifikátorů vedla k filmům s vynikající pevností v tahu a rozpustností ve vodě, což je činí vhodnými pro balení potravin, jako jsou instantní nudle [23].

Tyto studie potvrzují, že glycerol hraje zásadní roli při vývoji jedlých obalů s požadovanými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi.

4 Jedlé obaly

4.1 Úvod

Existuje několik definicí jedlého obalu.

Specifické aspekty jedlých obalů:

- **Klasifikace:** Jedlé obaly mohou být klasifikovány buď jako potraviny, nebo jako materiály určené pro styk s potravinami, v závislosti na jejich povaze a použití. Pokud jsou určeny ke konzumaci, měly by být považovány za potraviny a podléhat příslušným předpisům.
- **Alergeny:** Pokud jedlé obaly obsahují alergen, jako je lepek, je nutné tuto skutečnost uvést na obalu v souladu s požadavky na označování potravin.
- **Bezpečnost:** Výrobci jedlých obalů nesou odpovědnost za zajištění bezpečnosti svých výrobků a musí dodržovat všechny relevantní právní předpisy týkající se potravin a obalů.

4.2 Charakteristika

Environmentální zátěž způsobená konvenčními plastovými obaly je celosvětově rostoucím problémem, který vyžaduje naléhavé alternativní přístupy [24] Biologicky rozložitelné a jedlé obaly, založené na přírodních polymerech, jako je pektin, se jeví jako inovativní řešení snížení odpadu a zároveň zachování kvality balených potravin [25]. Jedlé obaly nejen chrání produkt, ale mohou být bezpečně konzumovány, čímž se minimalizuje vznik dalšího odpadu [24]

4.2.1 Vlastnosti jedlých obalů z pektinu a glycerolu

Jedlé obaly vyrobené z citrusových a jablečných pektinů v kombinaci s glycerolem vykazují specifické fyzikální a mechanické vlastnosti, které je předurčují pro potravinářské aplikace [25]. Tyto fólie mají vysokou schopnost tvorby souvislých filmů s dobrou průhledností a hladkým povrchem [22]. Mechanické vlastnosti, jako je pevnost v tahu a elasticita, jsou klíčovými parametry určujícími kvalitu obalů. Přítomnost glycerolu snižuje křehkost pektinových fólií a zvyšuje jejich pružnost, čímž umožňuje jejich lepší manipulaci a aplikaci na různorodé produkty [19]. Optimální množství glycerolu je však nezbytné pro zachování rovnováhy mezi pevností a elasticitou – jeho nadměrné množství může vést k nadměrné měkkosti a snížené bariérové funkci vůči vodní páře [26]. Obaly na bázi pektinu a glycerolu vykazují také výborné bariérové vlastnosti proti kyslíku, což je důležité pro prodloužení

trvanlivosti potravin [25]. Naopak, jejich bariérová účinnost proti vodní páře je nižší, což je společný rys většiny polysacharidových filmů [24].

4.2.2 Použití jedlých obalů v praxi

Jedlé obaly na bázi pektinu a glycerolu nacházejí široké uplatnění v oblasti balení čerstvých a zpracovaných potravin. Jsou využívány především pro balení ovoce, zeleniny, cukrovinek a pekárenských výrobků, kde působí jako bariéra proti ztrátě vlhkosti a vnějším kontaminantům [14]. V praxi se jedlé obaly aplikují postřikem, máčením nebo nátěrem přímo na povrch potravin. Citrusový pektin se často využívá pro své antioxidační vlastnosti, které zpomalují degradaci čerstvých produktů [26]. Jablečný pektin pak bývá preferován tam, kde je požadována vyšší pevnost a odolnost proti mechanickému poškození [24].

4.3 Legislativa

Důležitou součástí v potravinářství je legislativa, podle které se řídí vše: základní materiál až konečný produkt. Jsou to tedy základní pravidla, podle nichž se musíme řídit – vyhlášky Ministerstva zdravotnictví. V České Republice se řídíme legislativou danou Evropskou Unií a dohled nad ní vykonává Státní zemědělská a potravinářská inspekce (SZPI).

Jedlé obaly jsou poměrně rychle rostoucí oblast potravinářství, kdy se neustále vyvíjí, a tak se legislativa musí odpovídat tomuto růstu. Odvíjí se podle typu použitých látek, účelu a regionální právní úpravy. Jedlé obaly jsou považovány za potravinu, nebo za součást potraviny, a proto musí splňovat veškeré požadavky na potraviny.

4.3.1 Zákon č. 110/1997 Sb., o potravinách a tabákových výrobcích

Tento zákon stanovuje základní požadavky na bezpečnost potravin a materiálů určených pro styk s potravinami, včetně obalů. Jedlé obaly, jakožto součást potravinového výrobku, musí splňovat požadavky na zdravotní nezávadnost a nesmí negativně ovlivňovat kvalitu potraviny [27].

4.3.2 Vyhláška č. 38/2001 Sb., o hygienických požadavcích na výrobky určené pro styk s potravinami

Tato vyhláška stanovuje hygienické požadavky na výrobky určené pro styk s potravinami, včetně materiálů používaných pro výrobu jedlých obalů. Je důležité zajistit, aby jedlé obaly splňovaly tyto hygienické požadavky a neohrožovaly zdraví spotřebitelů.

Tato vyhláška specifikuje hygienické požadavky na materiály a předměty určené pro styk s potravinami. I když se primárně zaměřuje na nejedlé obaly, některá ustanovení mohou být analogicky aplikována na jedlé obaly, zejména pokud jde o použití bezpečných surovin a zajištění hygieny během výroby [28].

4.3.3 477/2001 – o obalech a obalových odpadech

Tento zákon upravuje nakládání s obaly a obalovými odpady. Jedlé obaly, pokud jsou určeny k jednorázovému použití a následné konzumaci, mohou být považovány za obaly ve smyslu tohoto zákona a podléhají příslušným požadavkům na označování a nakládání s odpady [29].

4.3.4 Nařízení (ES) č. 178/2002, obecné zásady a požadavky potravinového práva

Zavádí obecné zásady pro potravinové právo v EU, včetně požadavků na bezpečnost potravin a sledovatelnost, které se vztahují i na jedlé obaly [30].

4.3.5 Nařízení (ES) č. 1935/2004 – Materiály přicházející do styku s potravinami

Pokud jedlý obal slouží zároveň jako obal, musí být v souladu s tímto nařízením.

Toto nařízení stanovuje obecné požadavky na materiály a předměty určené pro styk s potravinami, aby nedocházelo k ohrožení zdraví spotřebitelů. V případě jedlých obalů je důležité zajistit, že materiály použité pro jejich výrobu nebudou uvolňovat látky v množstvích, která by mohla ohrozit zdraví.

Toto evropské nařízení stanovuje obecné požadavky na všechny materiály a předměty určené pro styk s potravinami, včetně jedlých obalů. Materiály nesmí uvolňovat látky do potravin v

množstvích, která by mohla ohrozit lidské zdraví nebo způsobit nepříjemnou změnu složení potravin [31].

4.3.6 Nařízení (ES) č. 2023/2006, správná výrobní praxe pro materiály a předměty určené pro styk s potravinami

Stanovuje pravidla pro správnou výrobní praxi při výrobě materiálů a předmětů určených pro styk s potravinami, což je důležité i pro výrobu jedlých obalů. Zavádí povinnost výrobců zajistit, že materiály (včetně obalů) určené ke styku s potravinami jsou vyráběny hygienicky správným způsobem. Cílem je, aby do potravin neunikaly škodlivé látky z materiálů. Požaduje systém kontroly kvality a dokumentace ve výrobě (včetně kontroly surovin, výrobních procesů a skladování). Vyžaduje, aby každý krok výroby byl řízen tak, aby výsledný výrobek byl bezpečný pro spotřebitele.

Pro jedlé obaly to znamená: Musí být vyráběny v souladu s přísnými hygienickými pravidly. Výrobce musí dokumentovat výrobní proces a kontrolovat kvalitu jak vstupních surovin, tak hotového produktu. Každá šarže musí být sledovatelná – tedy dohledatelné, z čeho, kde a jak byla vyrobena [32].

4.3.7 Nařízení (ES) č. 1333/2008 – Přídavné látky v potravinách

Jeho hlavní obsah: stanoví pravidla pro používání potravinářských přídatných látek v EU (to jsou například barviva, sladidla, konzervanty apod.). Definiuje, co přídatné látky jsou a za jakých podmínek je lze používat. Zaveden seznam schválených přídatných látek (tzv. Union list – společný seznam pro celou EU).

Nařízení dále určuje podmínky používání těchto látek v různých potravinách (např. maximální množství, kde je použití povoleno a kde zakázáno), dbá na ochranu lidského zdraví, ochranu spotřebitele a férové obchodování, a také ukládá požadavky na označování přídatných látek na etiketách potravin (např. pomocí tzv. E-čísel, jako E100 pro kurkumin) [33].

4.3.8 Nařízení (EU) č. 10/2011 - o materiálech a předmětech z plastů určené pro styk s potravinami

Konkrétně stanovuje, jaké látky mohou být použity při výrobě plastových materiálů a předmětů určených pro kontakt s potravinami (tzv. seznam povolených látek). Specifikuje tyto látky,

například čistotu nebo limity migrace do potravin, pravidla pro testování migrace látek z plastu do potravin (aby se zabránilo kontaminaci potravin). Zaměřuje se na požadavky na deklaraci shody a sledovatelnost těchto materiálů a ochranu zdraví spotřebitele tím, že zajišťuje, aby materiály, které přicházejí do styku s potravinami, neuvolňovaly látky v množství, které by mohlo být škodlivé [34].

4.3.9 Nařízení (EU) č. 1169/2011 - O poskytování informací o potravinách spotřebitelům

Toto nařízení upravuje požadavky na označování potravin, včetně jedlých obalů. Je důležité, aby jedlé obaly byly správně označeny, zejména pokud obsahují alergeny nebo jiné látky, které by mohly ovlivnit zdraví spotřebitelů.

Jeho hlavní body jsou:

- **Povinné označování:** stanovuje, jaké informace musí být uvedeny na obalech potravin (například název, seznam složek, alergeny, množství určitých složek, čisté množství, datum minimální trvanlivosti nebo spotřeby, podmínky skladování, návod k použití, jméno a adresa výrobce nebo distributora, země původu a výživové údaje).
- **Zvýraznění alergenů:** všechny alergenní složky ve složení musí být zvýrazněné (například tučným písmem).
- **Výživové údaje:** pro většinu balených potravin je povinné uvádět nutriční hodnoty (energetická hodnota, tuky, nasycené mastné kyseliny, sacharidy, cukry, bílkoviny a sůl).
- **Čitelnost:** nařízení určuje také minimální velikost písma na obalech, aby byly informace dobře čitelné.
- **Informace o původu:** u některých druhů potravin (například u masa) je povinné uvádět zemi původu.
- **Nepovinné údaje:** povoluje i dobrovolné informace, pokud nejsou zavádějící (např. "bez lepku", "vhodné pro vegany"). [35]

4.3.10 Nařízení 94/62/ES – směrnice Evropského parlamentu a rady o obalech a obalových odpadech

Jejím cílem je snížit množství obalového odpadu a omezit jeho dopad na životní prostředí. Stanovuje požadavky na výrobu obalů, aby se minimalizovalo množství obalu, daly se obaly znovu použít, recyklovat nebo energeticky využít a omezily se nebezpečné látky v obalech (např. těžké kovy). Členské státy (včetně ČR) musí zavádět systémy sběru a recyklace obalového odpadu a sledovat a oznamovat množství obalového odpadu Evropské komisi [36].

V souvislosti s jedlými obaly platí, že pokud jedlý obal funguje zároveň jako obal výrobku, i na něj se tahle směrnice vztahuje. Výrobce musí řešit, jak jedlý obal po použití naloží se vzniklým "odpadem" (pokud se nesní). Materiál jedlého obalu by měl být co nejvíce šetrný k životnímu prostředí [36].

5 Inteligentní obaly

V současné době se zvyšuje zájem o vývoj inovativních obalových materiálů, které nejen chrání potraviny, ale také poskytují informace o jejich kvalitě a bezpečnosti. Mezi tyto inovace patří inteligentní a jedlé obaly, které představují významný posun v oblasti potravinářského balení.

Inteligentní obaly jsou navrženy tak, aby monitorovaly stav balených potravin a poskytovaly informace o jejich čerstvosti, kvalitě a bezpečnosti. Tyto obaly využívají různé senzory a indikátory, které reagují na změny v prostředí, jako jsou teplota, vlhkost, pH nebo přítomnost plynů [37].

Hlavní funkcí inteligentních obalů je poskytovat informace o stavu potravin během skladování a distribuce. To zahrnuje indikaci čerstvosti, detekci zkažení, sledování teplotních změn a identifikaci mechanického poškození [38].

Inteligentní obaly jsou vyráběny z různých materiálů, včetně polymerů, biopolymerů a nanokompozitů. Použití biopolymerů umožňuje vývoj ekologicky šetrných obalů s inteligentními funkcemi [39].

Inteligentní obaly nacházejí uplatnění v různých segmentech potravinářského průmyslu, včetně balení masa, ryb, mléčných výrobků a čerstvého ovoce a zeleniny [37].

6 Spektroskopické metody

6.1 UV/VIS spektrometrie

UV/VIS spektrometrie je analytická metoda, která slouží k měření absorpce ultrafialového (UV) a viditelného (VIS) světla látkami v rozmezí 200-800 nm. Principem této techniky je, že molekuly absorbují světlo určité vlnové délky, což způsobuje přechody mezi jejich elektronovými hladinami. Množství absorbovaného světla je úměrné koncentraci analytu podle Lambert-Beerova zákona [40]. UV/VIS spektrometry se používají v chemii, biologii i farmaceutickém průmyslu například ke stanovení koncentrace látek nebo sledování reakcí. Přístroje mohou být jednoduché s jedním paprskem nebo složitější dvoupaprskové varianty pro vyšší přesnost. Měření probíhá obvykle v křemenných nebo skleněných kyvetách. UV/VIS spektrometrie je rychlá, nenáročná na přípravu vzorku a široce rozšířená [41].

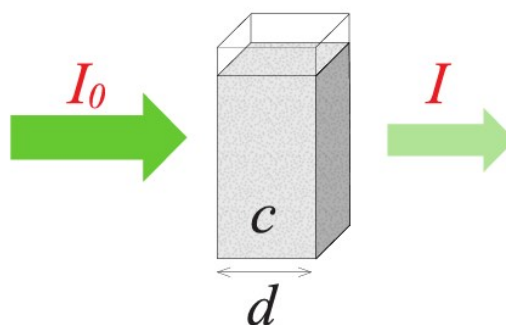
6.1.1 Lambert-Beerův zákon

Lambert-Beerův zákon popisuje vztah mezi absorpcí světla a koncentrací látky v roztoku. Říká, že absorbance je přímo úměrná koncentraci analytu a délce dráhy, kterou světlo prochází. Matematicky se vyjadřuje rovnicí:

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l \quad (\text{Rovnice 1})$$

kde A je absorbance, ε molární absorpční koeficient, c koncentrace a l délka kyvety. Tento zákon je základem kvantitativní analýzy v UV/VIS spektrometrii [41].

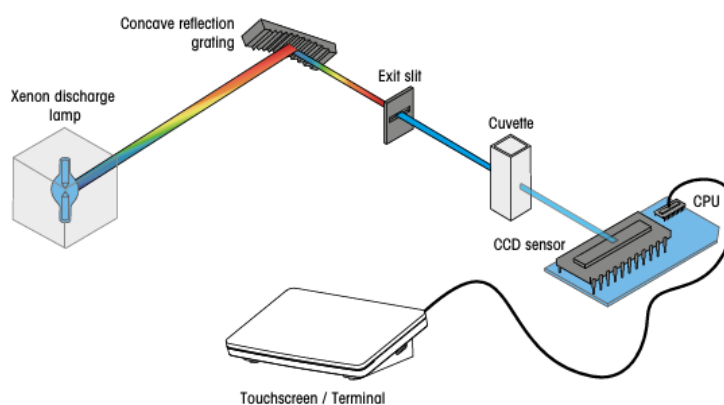
Čím více materiál absorbuje světlo při své specifické vlnové délce, tím vyšší je koncentrace zkoumané látky. Intenzita světla je nižší jak můžeme vidět na obrázku 4. A proto pomocí spektrometru můžeme na základě absorpce/transmitance jednoduše určit množství (koncentraci) známé chemikálie [42].



Obrázek 4: Útlum intenzity světla (Lambert-Beerův zákon); převzato z [41]

6.1.2 Instrumentace

UV/VIS spektrometr se skládá z několika klíčových částí, které umožňují měření absorbance. Prvním je zdroj záření, obvykle deuteriová výbojka pro UV oblast a wolframová žárovka pro VIS oblast. Světlo je dále vedeno na monochromátor, který vybírá požadovanou vlnovou délku pomocí mřížky nebo hranolu. Vybraný paprsek pak prochází kyvetou se vzorkem, kde dochází k absorpci světla. Za kyvetou je umístěn detektor, nejčastěji fotodioda nebo fotonásobič, který měří intenzitu prošlého světla. Data z detektoru zpracovává elektronický systém a výsledky zobrazuje na displeji. Moderní přístroje často obsahují referenční paprsek pro automatickou korekci chyb. Celý systém je řízen softwarem, který umožňuje sběr a analýzu spekter [40-42].



Obrázek 5: Základní instrumentace UV/VIS spektromerů; převzato z [41]

6.2 Optické vlastnosti

Spektroskopické metody kromě měření absorbance a transmittance patří i měření optických vlastností. To se provádí na základě určení hodnoty kvality materiálů. Patří mezi ně například

stanovení barevnosti a stanovení opacity, jakožto důležitá součástí hodnocení kvality [43]. Podrobněji bude probráno v kapitole 9.

6.3 Infračervená spektrometrie s Furierovou transformací

6.3.1 Princip metody FTIR

Fourierova transformovaná infračervená spektroskopie (FTIR) je analytická technika založená na měření absorpce infračerveného záření materiálem. Molekuly různých chemických skupin absorbují infračervené záření na specifických vlnových délkách odpovídajících vibracím chemických vazeb. Výsledné spektrum tak poskytuje „otisk prstu“ materiálu, podle kterého lze určit přítomné funkční skupiny a jejich interakce [44]. Využití FTIR spočívá zejména v identifikaci chemických změn během přípravy materiálů nebo v důsledku modifikací, jako je přidání bioaktivních složek [45].

FTIR spektrometrie je klíčová při výzkumu jedlých filmů, protože umožňuje studovat interakce mezi polysacharidy, bílkovinami a fenolickými sloučeninami [46]. Změny v charakteristických pásmech spektra indikují například tvorbu esterových vazeb nebo vodíkových můstků, což je důležité pro pochopení struktury a funkčních vlastností filmů [47].

6.3.2 Využití FTIR při vývoji jedlých obalů

V oblasti jedlých obalů byla metoda FTIR využita k charakterizaci filmů na bázi pektinu obohacených různými bioaktivními látkami, například extraktem ze zeleného čaje, fenolickými sloučeninami z pomerančové kůry či polyfenoly z hroznového výlisku [44–46]. Analýza FTIR prokázala, že přidání těchto látek ovlivňuje chemické vlastnosti filmů, zejména prostřednictvím změn v oblasti karbonylových vibrací (C=O) a vazeb OH, což svědčí o tvorbě nových chemických interakcí [47].

Například FTIR analýza filmů s extraktem ze zeleného čaje odhalila zvýšenou intenzitu pásma kolem 1730 cm^{-1} (C=O) a změny v oblasti $3200\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ odpovídající vodíkovému vázání [46]. Podobné výsledky byly zaznamenány i u filmů s fenolickými sloučeninami z pomerančové kůry, kde interakce pektin-fenoly vedla k posílení síťování v polymerní matici a tím ke zlepšení mechanických vlastností filmu [45].

6.3.3 Důležité pásy ve spektru

Ve spektrech FTIR filmů na bázi pektinu jsou klíčové především následující píky:

- **Široký pás u 3300 cm^{-1} :** absorpce způsobená valenčními vibracemi OH skupin, indikující přítomnost vodíkového vázání.
- **Pásmo 1730–1750 cm^{-1} :** vibrace karbonylové skupiny (C=O) esteryfikovaného galakturonového zbytku v pektinu.
- **Pásmo 1600–1650 cm^{-1} :** vibrace vazby C=C v aromatických kruzích fenolických sloučenin.
- **Pásmo 1030–1050 cm^{-1} :** vibrace C–O–C skupin polysacharidového skeletu.

Tyto oblasti spektra jsou důležité pro sledování změn v polymerní matici po přidavku funkčních složek nebo po úpravě procesu výroby filmu. Například v práci zaměřené na optimalizaci citronových filmů bylo potvrzeno, že pás kolem 1037 cm^{-1} odpovídají vibracím C–O–C pektinového skeletu, přičemž jejich intenzita se měnila v závislosti na koncentraci glycerolu a pektinu [47].

Podobně FTIR analýza nových aktivních filmů na bázi grepové kůry ukázala, že inkorporace extraktů z citrusových slupek nezpůsobila vznik nových funkčních skupin, což naznačuje, že fyzikální vlastnosti filmů byly ovlivněny hlavně slabými interakcemi a nikoli chemickou modifikací [48].

7 Chemické metody

7.1 Obsah fenolických látek

Metoda Folin-Ciocalteu je kolorimetrická metoda pro stanovení celkových fenolických látek a jejich produktů. Bylo zjištěno, že tato metoda je nejlepší pro stanovení celkového obsahu fenolů v suchých vínech [49]. Různé typy polyfenolů reagují s činidlem Folin-Ciocalteu podobně, což je snáze kvantifikovatelné. Metoda je neselektivní, relativně rychlá (záleží na době reakce), vhodná pro velký počet vzorků a umožňuje zjistit celkový obsah fenolických látek [50]. Metoda je založena na chemické redukci reakční směsi oxidů wolframu a molybdenu. Reakce probíhá v alkalickém prostředí a intenzita modrého zbarvení je přímo úměrná koncentraci fenolických sloučenin. Produkty redukce oxidu kovu mají modrou barvu, která má maximum absorpce při 765 nm [49].

7.2 Měření obsahu cukrů (HPLC-HILIC)

Cukry (sacharidy) představují jednu ze základních složek potravy a jsou hlavním zdrojem energie pro lidský organismus. Z chemického hlediska se jedná o organické sloučeniny složené z uhlíku, vodíku a kyslíku. Rozlišujeme je na monosacharidy, oligosacharidy a polysacharidy podle počtu sacharidových jednotek. Nacházejí se zejména v obilovinách, ovoci, zelenině a mléčných výrobcích, přičemž jejich vyvážený příjem je klíčový pro zdravý metabolismus.

Kapalinová chromatografie s využitím techniky HILIC (Hydrophilic Interaction Liquid Chromatography) v kombinaci s refraktometrickým detektorem představuje mocný analytický nástroj pro separaci a kvantifikaci hydrofilních sloučenin, zejména cukrů [51].

7.2.1 Refraktometrické stanovení obsahu cukrů

Měření Brix vyjadřuje koncentraci rozpustných pevných látek, zejména cukrů, v kapalinách, jako jsou ovocné šťávy nebo víno. Refraktometrické měření využívá principu lomu světla: čím vyšší je koncentrace cukru, tím vyšší je index lomu roztoku. Refraktometr směřuje světlo skrz vzorek a měří úhel lomu, který se poté převádí na hodnotu Brix. 1° Brix odpovídá 1 gramu cukru ve 100 gramech roztoku. Moderní digitální refraktometry automaticky kompenzují teplotu, což zvyšuje přesnost měření. Tato metoda je rychlá, nedestruktivní a široce využívaná v potravinářství a zemědělství [52].

7.2.2 Chromatografické stanovení obsahu cukrů

HILIC chromatografie je založena na separaci polárních molekul na polární stacionární fázi s využitím mobilní fáze s vysokým obsahem organického rozpouštědla, nejčastěji acetonitrilu. Mezi základní mechanismy separace patří vodíkové vazby, dipól-dipólové interakce a elektrostatické síly [53]. Technika HILIC v kombinaci s refraktometrickou detekcí nabízí robustní a efektivní platformu pro analýzu cukrů [54]. Cukry jsou ideálním cílem pro HILIC-RID analýzu díky své vysoké polaritě a absenci UV-aktivních skupin. Optimalizace gradientu, složení mobilní fáze a volba vhodné kolonové fáze jsou zásadní pro dosažení vysoké rozlišovací schopnosti [55]. Díky současnému vývoji v oblasti HPLC přístrojů a pokročilých HILIC kolon se tato metoda stala běžnou v oblasti farmacie, potravinářství i biotechnologií [51].

HPLC systém pro HILIC aplikace zahrnuje vysokotlaké čerpadlo, autosampler, kolonovou pec, kolonu s HILIC fází a refraktometrický detektor. Každá součást systému je klíčová pro dosažení vysoké přesnosti a opakovatelnosti měření [54]

Refraktometrický detektor (RID) měří změny indexu lomu mezi elučním roztokem a referenční kapalinou. RID je univerzální detektor vhodný zejména pro látky, které nemají chromofory pro UV detekci, jako jsou cukry [55]

8 Parapropustnost jedlých obalů

Parapropustnost, neboli propustnost pro vodní páru, je klíčovým parametrem při vývoji jedlých obalů, které slouží k prodloužení trvanlivosti potravin [56]. Efektivní bariéra proti vlhkosti může významně ovlivnit kvalitu a stabilitu potravinářských výrobků během skladování a distribuce [57]. Jedlé obaly, vyrobené z biologicky rozložitelných materiálů, představují ekologickou alternativu k tradičním plastovým obalům [58].

8.1 Charakteristika metody měření parapropustnosti

Měření parapropustnosti se provádí pomocí standardizovaných metod, které kvantifikují množství vodní páry procházející jednotkovou plochou materiálu za jednotku času [56]. Jednou z běžně používaných metod je gravimetrická metoda, kde se film umístí mezi dvě komory s rozdílnou relativní vlhkostí a sleduje se změna hmotnosti v čase [58]. Sleduje se tedy rychlosti přenosu vodních par, který se vypočítá matematickým vztahem:

$$RVPV = (\Delta m / \Delta t) / A \quad (\text{Rovnice 2})$$

Kde Δm je rozdíl v hmotnosti (g) v časovém intervalu Δt (h); A je plocha exponovaného filmu (m^2)

a také se sleduje propustnost vodní páry, která se vypočítá matematickým vztahem:

$$PVP = (\Delta m / \Delta t) \times (\text{tloušťka} / (\Delta P \times A)) \quad (\text{Rovnice 3})$$

$$\Delta P = S \times (R1 \times R2) \quad (\text{Rovnice 4})$$

Kde S je tlak nasycených vodních par při 25 °C (3,17 kPa); R1, R2 relativní vlhkosti v měřicí komoře (0.50) a pod filmem (0.0)

Další metodou je manometrická metoda podle normy ASTM-D1434-82, která využívá rozdíl tlaků mezi dvěma komorami k určení propustnosti plynu přes film [59].

8.2 Využití parapropustnosti v jedlých obalech

Jedlé obaly jsou navrženy tak, aby regulovaly výměnu vlhkosti mezi potravinou a okolním prostředím [57]. Materiály jako chitosan, škrob nebo bílkoviny mají různé bariérové vlastnosti. Například chitosanové filmy vykazují nízkou propustnost pro vodní páru, což je výhodné pro potraviny citlivé na vlhkost [58]. Naopak filmy na bázi škrobu mohou mít vyšší propustnost, ale jejich vlastnosti lze upravit přidáním plastifikátorů [59].

8.3 Role silikagelu v měření parapropustnosti

Silikagel, známý svými adsorpčními vlastnostmi, se často používá jako standardní desikant v experimentech měření parapropustnosti [58]. V gravimetrických metodách slouží k udržení nízké relativní vlhkosti v referenční komoře, čímž vytváří stabilní gradient vlhkosti přes testovaný film. Díky své vysoké schopnosti adsorbce vody a možnosti regenerace zahřátím je silikagel ideálním materiálem pro opakované použití v laboratorních podmínkách [56].

8.4 Princip přístroje DVS Intrinsic Plus

DVS Intrinsic Plus (obrázek 6) od společnosti Surface Measurement Systems (Velká Británie) je kompaktní a vysoce přesný přístroj určený k měření sorpce vodní páry v pevných materiálech [60]. Jeho princip spočívá v dynamické gravimetrické analýze, která umožňuje sledovat hmotnostní změny vzorku v reálném čase při různých úrovních relativní vlhkosti. Tato metoda poskytuje detailní informace o hygroskopických vlastnostech materiálů, což je klíčové při vývoji jedlých obalů a dalších aplikací, kde je důležitá kontrola vlhkosti [61].



Obrázek 6: DVS Intrinsic Plus, převzato z [60]

9 Optické vlastnosti – opacita

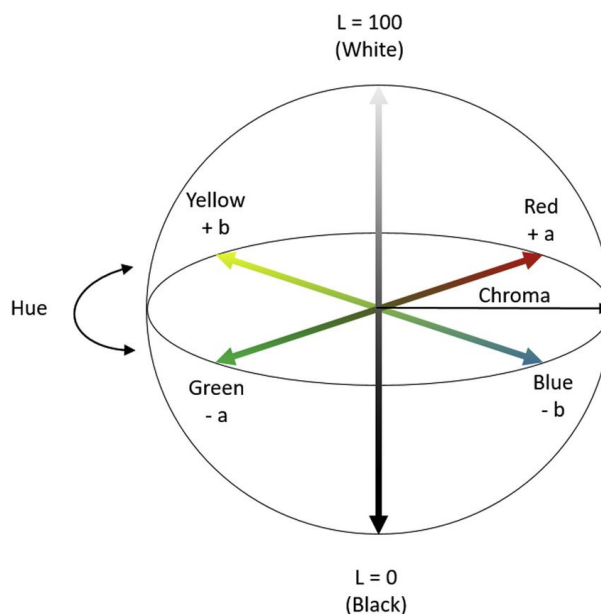
Jedlé filmy a obaly jsou moderní alternativou klasických plastových obalových materiálů. Slouží nejen k ochraně potravin, ale přispívají také ke zlepšení jejich estetiky a prodloužení trvanlivosti [62]. Důležitou součástí hodnocení kvality těchto obalů jsou jejich optické vlastnosti, zejména barevnost a opacita (neprůhlednost) [43].

Optické vlastnosti jsou ovlivněny materiálovým složením filmu, strukturou a interakcemi mezi komponenty. Studium těchto vlastností umožňuje přizpůsobení obalů požadavkům trhu a spotřebitelským preferencím [63].

9.1 Princip metod hodnocení barevnosti a opacity

9.1.1 Barevnost

Barevnost jedlých filmů se nejčastěji vyjadřuje v barevném prostoru CIE $L^*a^*b^*$. Komponenta L^* vyjadřuje světelnost od černé (0) po bílou (100), a^* udává směr od zelené k červené a b^* od modré k žluté (viz Obrázek 7). Existuje i druhý barevný prostor $L^*C^*h^\circ$. Komponenta L^* je stále stejná, h° znázorňuje odstín sledované barvy a C^* vyjadřuje, jak je barva sytá [63]. Měření barevnosti probíhá pomocí spektrometrů nebo kolorimetrů, které vystavují vzorek standardizovanému osvětlení a snímají odražené světlo [64].



Obrázek 7: Barevný prostor CIE $L^*a^*b^*$

Pro porovnání hodnot v systému L*a*b* se využívá výpočtu barvové odchylky ΔE^* podle rovnice:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{Rovnice 5})$$

Kde ΔE^* je barvová odchylka, ΔL^* , Δa^* a Δb^* jsou rozdíly mezi parametry vzorku a standardu

Pro porovnání hodnot v systému L*C*h° se naopak využívá stínové odchylky ΔH^* , která se vypočítá podle rovnice:

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} \quad (\text{Rovnice 6})$$

Kde ΔH^* je stínová odchylka, ΔE^* je barvová odchylka a ΔL^* a ΔC^* jsou rozdíly mezi parametry vzorku a standardu.

9.1.2 Opacita

Opacita (neprůhlednost) vyjadřuje míru, do jaké materiál brání průchodu světla. Čím vyšší je opacita, tím méně světla materiálem projde, tedy tím je neprůhlednější. V praxi se používá například k hodnocení krycí schopnosti papíru, plastů, nátěrů nebo kapalin. Nízká opacita znamená, že materiál je částečně nebo zcela průsvitný [43].

Opacita filmu se obvykle vypočítá jako poměr absorpance při 600 nm k tloušťce filmu podle rovnice:

$$\text{Opacita} = A_{600} / d \quad (\text{Rovnice 7})$$

kde A_{600} je absorpance při 600 nm a d je tloušťka filmu v milimetrech [43]. Výsledek se udává jako jednotka opacity index (OD/mm). Opacity index OD/mm hodnotí přenos světla skrz vzorek.

Opacita (v režimu odrazivosti) se určuje měřením kontrastního poměru. Hodnota Y vzorku podložená černým sklem, neklouzavou (černou) podložkou pro upínání vzorku nebo světelným lapačem se vydělí hodnotou Y vzorku podloženou bílou dlaždicí nebo bílou svorkou se vzorkem. Výsledný zlomek je $Y\%$, neboli opacita, který se vypočte takto:

$$\text{Opacita} = (Y_{\text{černé pozadí}} / Y_{\text{bílé pozadí}}) * 100 \quad (\text{Rovnice 8})$$

Opacita tedy vyjadřuje neprůhlednost a dá se změřit dvěma způsoby (Rovnice 7 a 8). Pokud se měří v režimu odrazivosti, získáme výsledek Opacity $Y_{D65/10}$. Jedná se o měření pomocí

standardizovaného osvětlení D65 (denní světlo) a pozorovacího úhlu 10° , hodnotí se tedy odraz. Pokud je tato hodnota je nižší, znamená to vyšší neprůhlednost materiálu (méně světla odraženo). Pokud se měří pomocí absorpance při 600 nm, získáme výsledek v podobě indexu opacity. Toto je optická hustota na milimetr tloušťky vzorku (Optical Density per mm). Vyšší hodnota OD/mm = vyšší neprůhlednost – materiál propustí méně světla na danou tloušťku [43].

9.2 Přístroje pro měření optických vlastností

K hodnocení optických vlastností se používají spektrometry a kolorimetry. Klíčové součásti spektrometru zahrnují zdroj světla, monochromátor, měřicí komoru, detektor (fotodioda, fotonásobič) a vyhodnocovací jednotku [65].

Mezi zdroje záření patří xenonové lampy simulující denní světlo nebo LED. LED je stabilní s úzkým spektrem vybraných vlnových délek. Standardní měřicí podmínky zahrnují iluminant D65 a pozorovací úhly 2° nebo 10° . Přístroje jsou kalibrovány pomocí bílých a černých standardů [66].

10 Experimentální část

10.1 Přístroje a zařízení

Analytické váhy, Kern ABT 220-4NM, Německo

UV-2600 UV-Vis Spektrometr, Shimadzu, Japonsko

Nicolet iS50 FT-IR, Nicolet CZ, Česká republika

HPLC chromatograf Agilent 1100 series, USA

Refraktometrický detektor RID-10A Shimadzu, Japonsko

Centrifuga, thermoscientific, ST Plus Series, Fisher Scientific Czech Republic

Skříňový termostat, Lovibond, Dortmund, Německo

Ultrazvuková lázeň (Bandelin-sonorex RK31): Bandelin Electronic, Berlín, Německo

DVS Intrinsic Plus, Surface Measurement Systems, Velká Británie

Mikroskop Olympus OLY-CX33 Olympus, Japonsko

Kamera CANON, Japonsko

Míchačka magnetická RCT Digital, IKA-Werke GmbH & Co. KG, Německo

Digitálním mikrometrem IP64, San Liang, Čína

Refraktometr Abbé, LABCENTER EXACTA + OPTECH

10.2 Další pomůcky

Odměrné a laboratorní sklo

Pasteurovy pipety, byreta (20 ml), automatické pipety

Kyvety – plastové, křemičité

Exsikátor – skleněný i plastový

Petriho misky

Skalpel

Pinzeta

Plastové zkumavky Eppendorf

10.3 Chemikálie

Kyselina gallová > 98 % (Tokyo Chemical Industry Co., Ltd., Japonsko)

Folin-Ciocalteuovo činidlo (Sigma-Aldrich, MO, USA)

Uhličitan sodný, p. a. (J. T. Baker, Nizozemsko)

Dusičnan hořčnatý, p. a. (PENTA, s.r.o., Česká republika)

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

Destilovaná voda (Univerzita Pardubice, Česká republika)

Ethanol 96% (Lach:ner; Česká republika)

Pektin (jablko, citrus) (Sigma-Aldrich, Německo)

Sacharóza pro analýzu (PENTA, s.r.o., Česká republika)

d-Fruktóza (Mercj KGaA, Německo)

d-Glukóza monohydrát pro analýzu (PENTA, s.r.o., Česká republika)

Acetonitril pro gradientovou eluci (Honeywell, Německo)

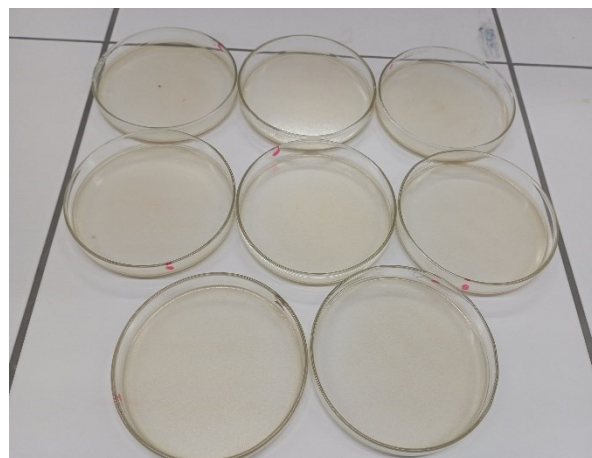
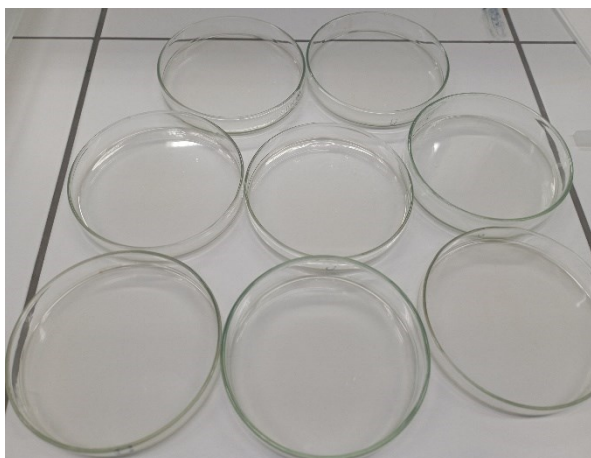
10.4 Příprava vzorků filmů

Příprava filmů byla prvním krokem experimentální části, kdy byl rozdíl v přípravě slepých filmů a filmů z extraktů.

10.4.1 Příprava slepých filmů

Slepé filmy se připravily ve 150 ml skleněné kádince, do které se navážilo 100 g destilované vody a přidalo se magnetické míchátko. Kádinka se následně dala na vařič při teplotě 140 °C a voda se nechala za neustálého míchání při 110 rpm zahřívát, dokud nedosáhla 55 °C. Poté se přidaly 3 g citrusového pektinu a 1,5 g glycerolu. Kádinka se směsí se opět dala za stálého míchání zahřívát, tentokrát však 10 minut při 500 rpm a následně 5 minut při 550 rpm. Po zahřátí se pomocí Pasteurovy pipety navážilo na 4 Petriho misky 12 g směsi. Následně se zbytek směsi vložil do ultrazvuku na 10 minut a opět se navážilo 12 g směsi. Tyto vzorky jsou dále označeny jako „U“. Petriho misky se nechaly stát v laboratoři po dobu 30 minut a nakonec se vložily do sušárny nastavené na 50 °C a větrákem na 100 %. Hotové filmy se vyndaly ze sušárny po 24 hodinách (viz Obrázek 8 a 9), a pomocí skalpelu a pinzety se vyloupily z Petriho misek.

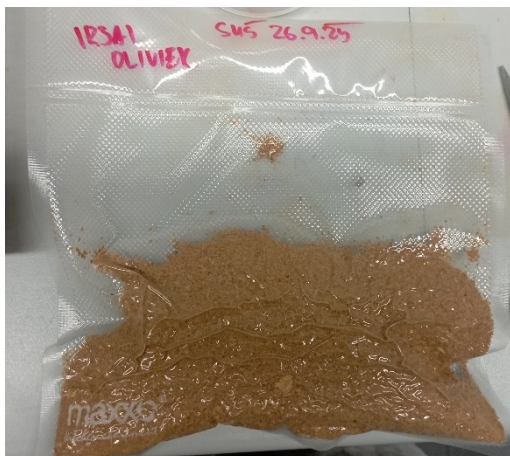
Nakonec se daly do exikátoru nad přesycený roztok dusičnanu hořečnatého, který vytvořil atmosféru s 50 % relativní vzdušnou vlhkostí. Odtud byly vzorky odebírány pro jednotlivé analýzy. Stejný postup se opakoval i u slepých filmů s jablečným pektinem



Obrázek 8: Slepý film s citrusovým pektinem **Obrázek 9:** Slepý film s jablečným pektinem

10.4.2 Příprava extraktů

Matolína z odrůdy Sauvignon a Irsai Oliver byla získána v listopadu 2023 z vinařství Jandásek (Žeravice, Česká republika). Pro extrakci byla použita pouze lyofilizovaná a rozemletá dužina (Obrázek 10). Prvním krokem bylo navážení 20 g manoliny a 200 g destilované vody do 400 ml kádinky a překrytí kádinky alobalem. Tato kádinka obsahovala míchátko, které pomáhalo lepšímu rozmělnění manoliny. Kádinka byla vložena do termostatu při 25 °C na 24 hodin za neustálého míchání při 100 rpm. Druhý den byla směs přelita do 50 ml centrifugačních zkumavek a byla provedla dvojitá centrifugace. První centrifugace proběhla při 6000 otáčkách po dobu 20 minut. Extrakt se přelil do nových 50 ml zkumavek a provedla se druhá centrifugace při 9000 otáčkách po dobu 15 minut, kdy se získal výsledný extrakt (viz Obrázek 11). Tento extrakt byl použit pro přípravu filmotvorného roztoku podle postupu v kapitole 10.4.1



Obrázek 10: *Matolina Irsai Oliver*



Obrázek 11: *Výsledný extrakt z matoliny*

10.5 Měření tloušťky filmů

Tloušťka byla změřena za účelem zjištění základních parametrů, a zda byl rozdíl mezi slepými filmy a filmy z extraktů. Měřilo se digitálním mikrometrem na třech místech filmu blízko středu, jelikož směrem ke kraji byl film tenčí a hodnoty by byly nepřesné.. Výsledné hodnoty byly v mm. Tyto hodnoty se také použily i při výpočtu opacity.

10.6 Optické vlastnosti filmů

10.6.1 Absorbance a transmittance vzorků

Připravené vzorky byly podrobeny spektrometrické analýze a k měření byl používán spektrometr UV-VIS Shimadzu UV-2600. Byla použita křemenná kyveta s optickou délkou 10 mm. Byl použit program UVProbe (v. 2.70, Shimadzu, Japonsko). Veškerá spektra jedlých obalů byla proměřena pomocí spektrometru, a to v rozmezí vlnových délek 200-800 nm (po 0,5 nm). Vzorek byl připraven tak, že na jedlý film se přiložila kyveta a skalpelem se vyřízl tvar vzorku tak, aby kryl prostupnou plochu kyvety. Tento vyříznutý kousek se poté vložil do kyvety a kyveta se dala do spektrometru a spustila se analýza. Měřila se jak absorbance, tak transmittance. Měření bylo provedeno 2x pro každý vzorek.

10.6.2 Barevnost a opacita vzorků

Byla měřena opacita jedlých obalů (jablečných a citrusových). Měření bylo provedeno pomocí spektrometru UltraScan VIS a barevnost byla hodnocena pomocí měření difúzního odrazu (reflektance) světla za podmínek osvětlení D65, geometrie d/8°. Měření bylo provedeno v barevném systému CIELAB. Ve všech případech byly měřeny parametry L*, a*, b*, C*, h° a opacita. Opacita se poté vypočítala i pomocí Rovnice 7 uvedené v teoretické části v kapitole 9.1.2. Interpretace výsledků se provedla pomocí Tabulky 2

Tabulka 2: Interpretace opacity (v režimu odrazivosti) D65 v procentech a dle Opacity indexu [67, 68]

Opacity Y D65/10 [%]	Interpretace	OD/mm	Interpretace
0–20 %	Velmi průhledný	0–0,1	Velmi nízká opacita
20–60 %	Mírně zakalený	0,1–0,5	Střední opacita
60–90 %	Střední neprůhlednost	0,5–1,5	Vysoká opacita
90–100 %	Vysoká opacita	1,5–3,0+	Téměř úplná neprůhlednost

10.7 Infračervená spektrometrie s Furierovou transformací

Nejdříve byly vzorky skalpelem nařezány na čtverečky o velikosti 1 cm² a vloženy do kádinek, které se daly do exsikátoru s čerstvě vyžíhaným silikagelem. Ten se následně vložil na tmavé místo při laboratorní teplotě po dobu min. 24 h. Důvodem byla šetrné odstranění vlhkosti ze vzorků.

Infračervená spektra byla pořízena pomocí přístroje Nicolet iS50 FT-IR od firmy Thermo Scientific (české zastoupení Nicolet CZ s.r.o.) metodou ATR-FTIR. Podmínky použity u infračervené spektroskopie byly následující. Nejdříve se naskenovalo manuálně pozadí. Následovalo skenování jednotlivých vzorků filmů. U každého vzorku bylo provedeno dohromady 64 skenů. Výsledná spektra byla ukládána jako závislost transmittance [%] na vlnočtu [cm⁻¹].

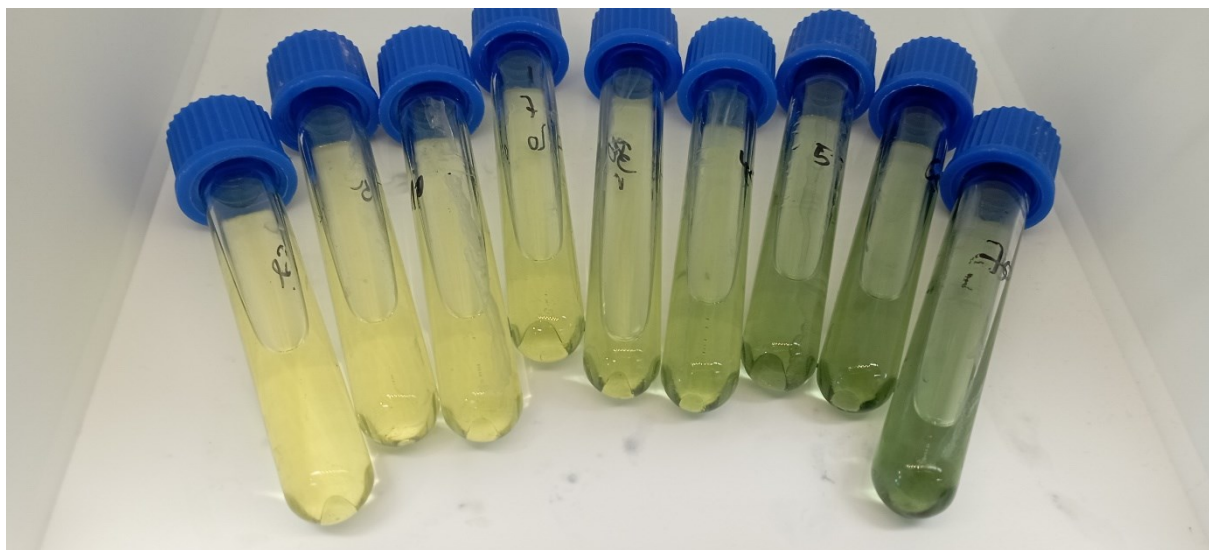
10.8 Celkový obsah fenolických látek

Fenolické látky vzorků byly měřeny po extrakci filmů ve vodě, 50% ethanolu a 96% ethanolu. Nejdříve byly vzorky skalpelem nařezány na čtverečky o velikosti 1 cm² a ty pak vloženy do

zkumavek Eppendorf. K nim se přidaly (podle typu měření) 2 ml vody, 2 ml 50% ethanolu nebo 2 ml 96% ethanolu. Zkumavky Eppendorf se zavřely, protřepaly a byly ponechány 60 minut v temnu při laboratorní teplotě. Poté byl odebrán 1 ml vzorku, ke kterému se přidalo 5 ml destilované vody, 1 ml ethanolu a 0,5 ml Folin Ciocalteuova činidla. Takto připravený roztok byl ponechán 5 minut při laboratorní teplotě. Poté byl do zkumavek napipetován 1 ml 5 % Na_2CO_3 . Zkumavky byla po promíchání ponechána 45 minut v temnu při laboratorní teplotě. Po reakci bylo vše změřeno ve spektrometru UV-VIS Shimadzu UV-2600 při vlnové délce 765 nm.

Stejným způsobem se připravil i slepý pokus, který obsahoval místo extraktu vzorku extrakční činidlo (voda, 50% a 96% ethanol).

Pro zjištění obsahu fenolických látek musela být připravena kalibrační řada s využitím kyseliny gallové. Kalibrační řada roztoků byla připravena ze zásobního roztoku kyseliny gallové o koncentraci 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Tento zásobní roztok byl připraven navážením 50 mg kyseliny do 100 ml odměrné baňky, která byla doplněna 96% ethanolem. Z tohoto zásobního roztoku byly následně připraveny kalibrační roztoky o koncentracích 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 a 70 g/ml . Tyto roztoky byly pak k měření připraveny stejně jako vzorky, reakční doba však nebyla 45 minut, ale jen 15. I přes kratší reakční dobu došlo k zabarvení, jak můžeme vidět na Obrázku 12.



Obrázek 12: Kalibrační řada kyseliny gallové

Veškeré měření proběhlo při 765 nm. Kalibrační řada se proměřila 2x a vzorky 3x. Výsledky byly vyjádřeny jako mg kyseliny gallové na 1 l vzorku.

10.9 Obsah cukrů

U všech vzorků byl pomocí refraktometru změřen index lomu. Pomocí tabulek byly odečteny stupně Brix. Cukerný obsah se zjišťoval u extraktů Sauvignon a Irsai Oliver. Nejdříve se zjistila hodnota Brix pro extrakty pomocí refraktometru (Refraktometr Abbé, LABCENTER EXACTA + OPTTECH). Cukerný obsah se následně měřil chromatograficky metodou HPLC-HILIC s refraktometrickou detekcí.

Měření přesného obsahu cukru se provedlo pomocí kapalinové chromatografie HPLC-HILIC s refraktometrickou detekcí, kdy se použila speciální kolona pro analýzu cukrů (Luna Omega 3 μm SUGAR 100A), mobilní fází byl 85 % acetonitril. Nejdříve byl připraven zásobní roztok cukrů o koncentraci 0,1 g/ml obsahující sacharózu, glukózu a fruktózu. Roztok byl připraven do 10 ml baňky. Následně si připravila kalibrační řada o koncentracích 1, 2,5, 5, 10 a 20 g/l do vialek. Do vialek byly napipetovány i naředěné vzorky extraktů a všechny vialky se rovnou daly do analyzátoru analyzovat. Analýza trvala 7 minut. Každý vzorek i kalibrační standard byl analyzován třikrát.

10.10 Mikroskopie filmů

Byla provedena mikroskopie povrchu filmů, aby byla zjištěna podrobnější struktura. Nejdříve byly vzorky skalpelem nařezány na čtverečky o velikosti 1 cm^2 a vloženy do kádínek, které se nacházely v exsikátoru se silikagelem. Ten byl následně vložen do termostatu a při pokojové teplotě zde zůstal přes noc. Vzorky se zkoumaly pod mikroskopem Olympus OLY-CX33 při celkovém zvětšení 200x. K mikroskopu byla připojena kamera, která zachytila snímky povrchu filmů, jak můžeme vidět na obrázcích (Obrázky 13-24). Bylo použito i pravítko o velikosti 0-300 μm , které odpovídalo velikosti snímku pořízeného kamerou. Pravítko můžeme vidět na ilustračním Obrázku 25.

10.11 Parapropustnost

Z filmu bylo vyříznuté kolečko (průměr 6 mm) pomocí korkovrtu. To bylo vloženo do Peyenova nástavce nad vyžíhaný silikagel. Tento nástavec byl vložen do komůrky s vlhkostí 50 % na ca 45 min. To je doba dostačující pro ustavení rovnovážného stavu, kdy vzorek filmu neabsorbuje vlhkosti. Po spuštění analýza byla monitorována změna hmotnosti silikagelu v intervalech 10 s. Jako kontroly byly použity a) absorpce vlhkosti silikagelem bez použití filmu

b) vzorek polyethylenové fólie jako negativní kontrola. Měření probíhalo při 25 °C s rychlostí proudění vzduchu 200 ccm. Po měření byly ke zjištění výsledků použity Rovnice 2 a 3, kde Δm odpovídala změně hmotnosti v čase Δt (rozdíl mezi 10. a 60. minutou) a A (plocha exponovaného filmu) odpovídala hodnotě $1,55 \times 10^{-05} \text{ m}^2$.

11 Výsledky a diskuze

Jak můžeme vidět v Přílohách 1 a 2, bylo měřeno 12 typů jedlých pektinových obalů. Každý typ měl 4 vzorky, výjimkou byl citrusový film z extraktu Irsai Oliver, kdy bylo vzorků 8 jak pro ultrazvuk, tak i bez ultrazvuku. Jednalo se o první pokus výroby jedlého filmu z extraktu, proto se rozhodlo, že se vyrobí filmů bez ultrazvuku 8, to samé i u ultrazvuku. Nakonec se došlo k závěru, že pro výrobu dalších filmů z extraktů bude stačit polovina. Měřily se vždy však veškeré vyrobené pektinové filmy. Filmy s ultrazvukem bylo značené ve všech tabulkách a grafech pod zkratkou U.

11.1 Měření tloušťky filmů

Pomocí digitálního mikrometru se změřila tloušťka všech vzorků filmů a výsledné hodnoty se uvedly v mm. Tloušťka zároveň znázorňovala pevnost filmu. Čím je film tlustší, tím je pevnější.

Tabulka 3: Tloušťka filmů vyrobených z citrusového a jablečného pektinu

	Citrusový pektin	Jablečný pektin
Slepý	0,040 ± 0,008	0,070 ± 0,009
Slepý U	0,035 ± 0,007	0,063 ± 0,009
Sauvignon	0,095 ± 0,010	0,112 ± 0,011
Sauvignon U	0,116 ± 0,006	0,102 ± 0,103
Irsai Oliver	0,108 ± 0,018	0,192 ± 0,214
Irsai Oliver U	0,105 ± 0,016	0,112 ± 0,009

U, použit ultrazvuk, aritmetický průměr ± sm. odchylka

Jak je patrné z Tabulky 3, je hned na pohled zřejmé, že filmy z jablečného pektinu, s výjimkou filmu z extraktu Sauvignon s aplikovaným ultrazvukem, jsou tlustší než citrusové pektiny. Slepé filmy mají nejmenší tloušťku o velikosti 0,035 ± 0,007 mm pro citrusový pektinový film s použitím ultrazvuku a 0,063 ± 0,009 mm pro jablečný pektinový film též s použitím ultrazvuku. Pro slepé filmy, u kterých nebyl použit ultrazvuk je tloušťka o velikosti 0,040 ± 0,008 mm pro film s citrusovým pektinem a 0,070 ± 0,009 mm pro film s jablečným pektinem.

Pektinové filmy z extraktu Sauvignon mají tloušťku o velikosti 0,095 ± 0,010 mm pro citrusový a 0,112 ± 0,011 mm pro jablečný bez aplikace ultrazvuku. Pro filmy s aplikovaným ultrazvukem je tloušťka o velikosti 0,116 ± 0,006 mm pro film s citrusovým a 0,102 ± 0,103 mm s jablečným pektinem. Je patrné, že u citrusového pektinového filmu s extraktem Sauvignon je tloušťka větší, když byl použit ultrazvuk, než když použit nebyl. U jablečného pektinového filmu je to naopak.

Pektinové filmy z extraktu Irsai Oliver mají tloušťku o velikosti $0,108 \pm 0,018$ mm pro citrusový a $0,192 \pm 0,214$ mm pro jablečný film bez použití ultrazvuku. Pro filmy s aplikovaným ultrazvukem je tloušťka o velikosti $0,105 \pm 0,016$ mm pro citrusový film a pro jablečný film je tloušťka $0,112 \pm 0,009$ mm. Vidíme tedy, že u jablečného i citrusového pektinového filmu z extraktu Irsai Oliver je tloušťka větší, když nebyl použit ultrazvuk.

Z výsledků je viditelné, že největší tloušťku slepých filmů má film z jablečného pektinu bez aplikace ultrazvuku ($0,070 \pm 0,009$ mm), U filmů z extraktu Sauvignon má největší tloušťku film z citrusového pektinu s aplikovaným ultrazvukem ($0,116 \pm 0,006$ mm) a pro extrakt Irsai Oliver film z jablečného pektinu bez aplikace ultrazvuku ($0,192 \pm 0,214$ mm).

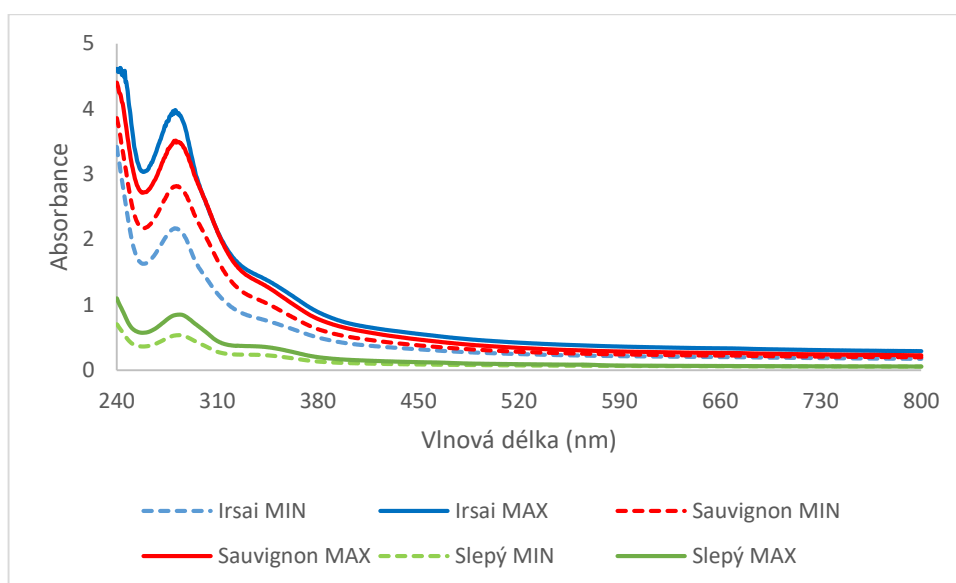
11.2 Optické vlastnosti filmů

11.2.1 Absorbance a transmittance vzorků

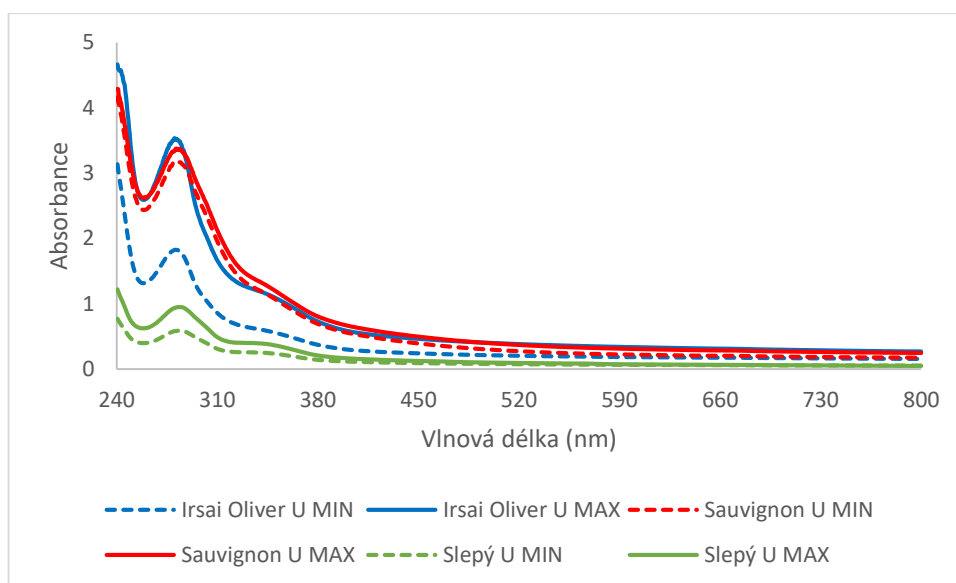
Byla zjištěna absorpční a transmittanční spektra jedlých pektinových filmů pomocí UltraScan VIS v oblasti vlnových délek 240–800 nm. Pro vytvoření grafů jsme použily vzorky filmů s minimální a maximální absorbancí a transmittancí jednotlivých druhů. UV/VIS spektra může vidět v Grafech 1–8. Z grafů je zřejmé, že pektinové filmy nejvíce absorbovaly záření v oblasti 280–290 nm.

U citrusových filmů začala absorbance prudce narůstat kolem vlnové délky 400 nm. Z Grafů 1 a 2 můžeme vyčíst, že rozmezí hodnot absorbance citrusových pektinových filmů je téměř stejné, jen u filmů s aplikovaným ultrazvukem s nižší intenzitou (kolem 0,2–0,5 jednotek). Rozdíl můžeme vidět mezi filmy extraktu Sauvignon, kdy hodnota absorbance v Grafu 1 je lehce rozdílná (o necelou jednotku), zatímco v Grafu 2 jsou hodnoty téměř totožné. Největší skok mezi minimální a maximální absorbancí (v rozmezí 270–290 nm) je u filmů extraktu Irsai Oliver, kdy rozdíl absorbancí jsou 2 jednotky (z absorbance okolo 2 na absorbanci okolo 4), jak můžeme vidět v Grafu 1. Podobný skok můžeme vidět i v Grafu 2 pro filmy Irsai Oliver. Absorbance všech slepých filmů je stejná (kolem 0,5–1), ultrazvuk absorbanci vůbec neovlivnil. Můžeme tedy říci, že absorbance citrusových filmů je jen lehce závislá použití ultrazvuku během přípravy filmotvorného roztoku, jelikož výsledné hodnoty absorbance se pohybují ve stejném rozmezí.

Graf 1: UV/VIS absorpční spektrum citrusových filmů bez použití ultrazvuku



Graf 2: UV/VIS absorpční spektrum citrusových filmů s použitím ultrazvuku



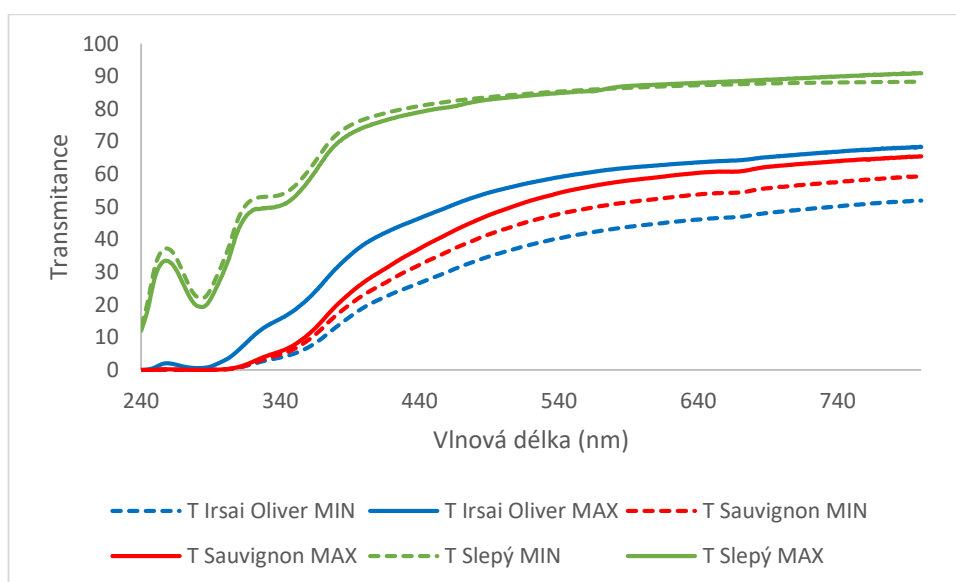
Měření transmittance (propustnosti) vzorků se provedlo při vlnové délce 240–800 nm stejně jako absorbance. Při vlnové délce 800 nm vykazují všechny citrusové filmy transmittanci, pohybující se v rozmezí přibližně 50–95 %. Filmy vyrobené z extraktů měly v oblasti 520–800 nm výrazně nižší propustnost světla 50–75 %. S klesající vlnovou délkou dochází u všech vzorků k postupnému poklesu propustnosti, výraznější zejména pod 400 nm. Nejstrmější poklesy nastávají v oblastech kolem 320 nm, kde jsou patrné výrazné zlomy v transmittančních křivkách jak můžeme vidět v Grafech 3 a 4.

Transmitance slepých vzorků je identická a ultrazvuk zde nehraje žádnou roli. Při 800 nm je transmitance kolem 91 %, poté pozvolna klesá přibližně na 74 % při 400 nm. Přibližně při 320 nm má kolem 50 % a začíná prudce klesat, než dosáhne cca 20% při vlnové délce 285 nm. V oblasti kolem 260 nm se transmitance lehce zvýší na přibližně 35 % a pak začne opět klesat na 14 % při 240 nm.

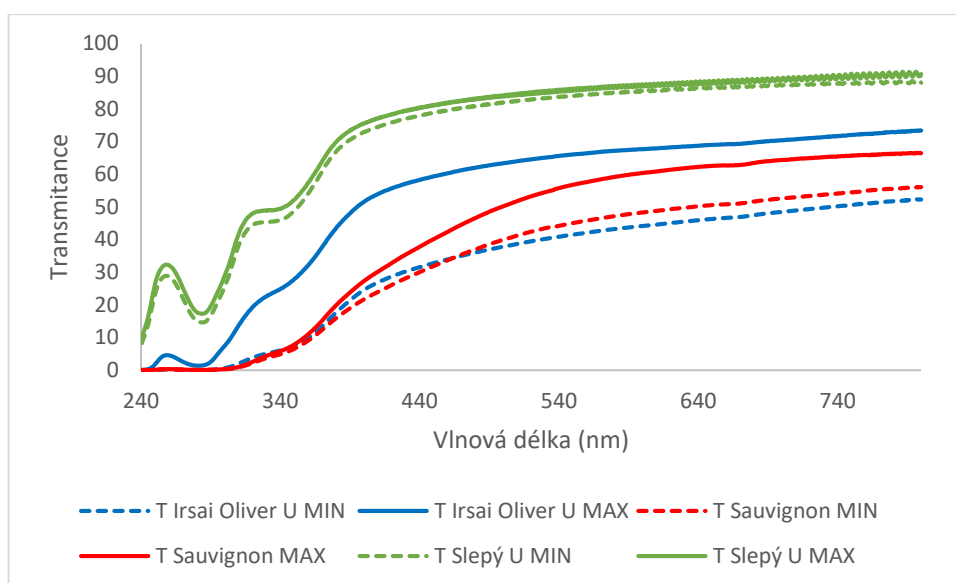
Transmitance vzorků extraktu Sauvignon je téměř identická a ultrazvuk zde hraje jen malou roli. Při 800 nm je transmitance kolem 60–65 % bez použití ultrazvuku a 66–74 % s jeho použitím. Transmitance pozvolna klesá přibližně na 24–30 % při 400 nm a pak začne prudce klesat na 1–2 % při 310 nm. V oblasti 240 nm má transmitance hodnotu 0 %. Tyto hodnoty jsou identické pro veškeré citrusové pektinové filmy extraktu Sauvignon.

Transmitance vzorků extraktu Irsai Oliver je má výrazný rozdíl v závislosti na aplikaci ultrazvuku. Při 800 nm je transmitance kolem 50–65 % bez aplikace ultrazvuku a 56–74 % s ním. Transmitance u vzorků extraktu Irsai Oliver bez použití ultrazvuku pozvolna klesá přibližně na 20–40 % při 400 nm a pak začne prudce klesat na 1–2 % při 310 nm (stejně jako vzorky filmů Sauvignon). U vzorků s ultrazvukem je při 400 nm transmitance 27–55 %. Tedy lehce vyšší než u vzorků kde nebyl použit. Hodnoty následně rychle klesají, až mají v oblasti 290–310 nm 1–2 %. V oblasti 240 nm má transmitance hodnotu 0 %. Tyto hodnoty jsou identické pro veškeré citrusové pektinové filmy extraktu Irsai Oliver.

Graf 3: UV/VIS spektrum transmitance citrusových filmů bez použití ultrazvuku

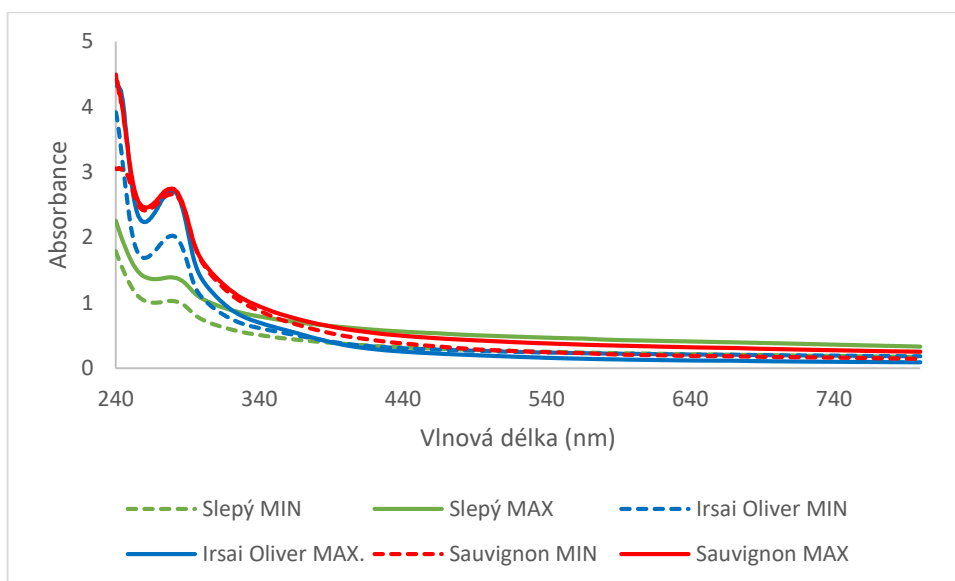


Graf 4: UV/VIS spektrum transmittance citrusových filmů s použitím ultrazvuku

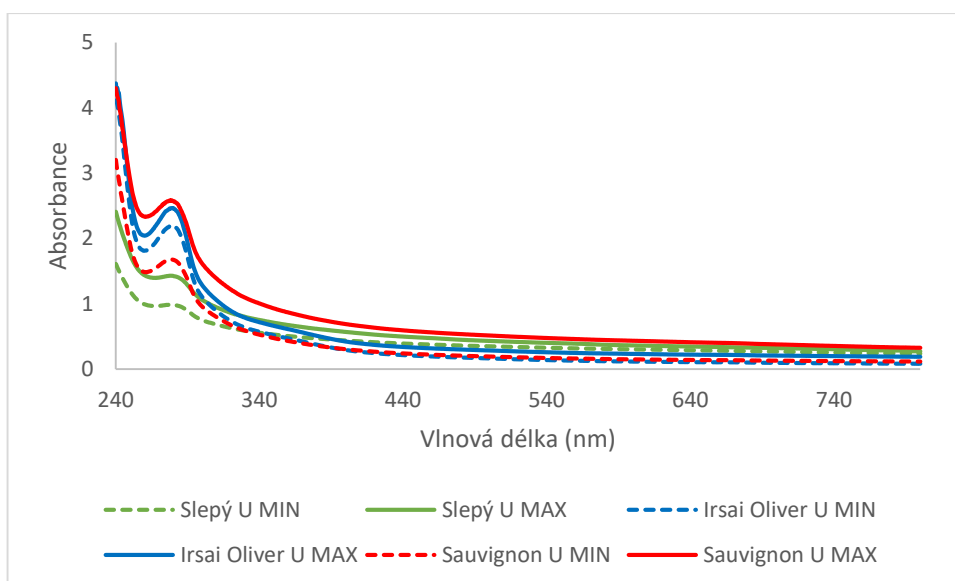


U jablečných pektinových filmů začala absorpce prudce narůstat kolem vlnové délky 380 nm. Oproti filmům s citrusovým pektinem jsou hodnoty absorpce blíže k sobě, není mezi nimi tak velký rozdíl. Z Grafů 5 a 6 můžeme vyčíst, že rozmezí hodnot absorpce filmů s jablečným pektinem je skoro totožné, ultrazvuk nemá téměř žádný vliv. Rozdíl můžeme vidět pouze mezi filmy vyrobenými s využitím extraktu z matoliny odrůdy Sauvignon, kdy hodnoty minimální a maximální absorpce (v rozmezí vlnových délek 270–290 nm) v Grafu 5 se překrývají, zatímco v Grafu 6 jsou tyto hodnoty lehce rozdílné (o necelou jednotku). Zde má aplikace ultrazvuku malý vliv. Rozdíl mezi minimální a maximální absorpencí filmů extraktu Irsai Oliver (v rozmezí vlnových délek 270–290 nm), je přesný opak filmů z extraktu Sauvignon, kdy rozdíl absorpencí je necelá jednotka (z absorpce cca 1,9 na absorpenci okolo 2,7), jak můžeme vidět v Grafu 5. V Grafu 6 má Irsai Oliver minimální a maximální absorpenci téměř u sebe. Absorbance všech jablečných slepých filmů je stejná (kolem 1–1,5), ultrazvuk absorpenci vůbec neovlivnil. Můžeme tedy říci, že absorpance jablečných pektinových filmů není závislá na použití ultrazvuku, hodnoty jsou skoro totožné.

Graf 5: UV/VIS spektrum absorpance jablečných filmů bez ultrazvuku



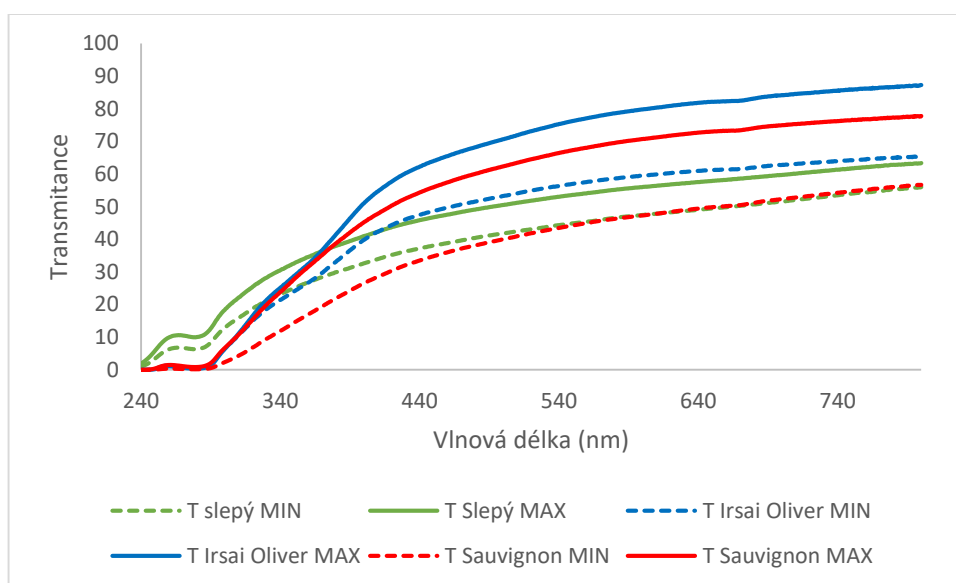
Graf 6: UV/VIS spektrum absorpance jablečných filmů s ultrazvukem



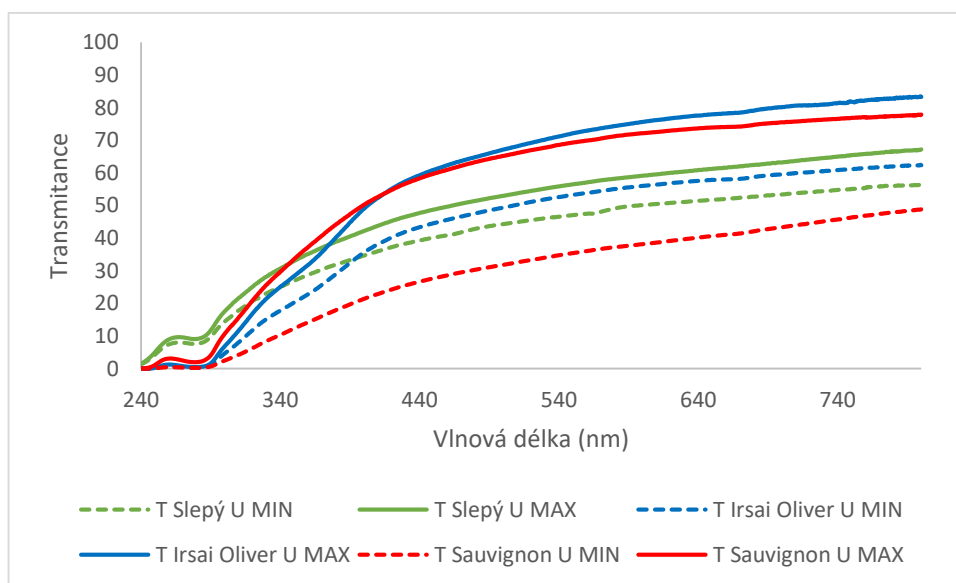
Při vlnové délce 800 nm vykazují všechny jablečné pektinové filmy vysokou transmitanci, pohybující se v rozmezí přibližně 48–78 %. U všech vzorků dochází k postupnému poklesu propustnosti v rozmezí 450–400 nm. Pak nastaly nejstrmější poklesy přibližně při 380 nm. Vše je zobrazeno v Grafech 7 a 8. U jablečných filmů je rozdíl mezi transmitancí vzorků, kde byl použit ultrazvuk a kde nebyl minimální. Grafy 7 a 8 jsou téměř identické. U vzorků, kde byl aplikován ultrazvuk, se hodnoty transmitance při 800 nm více roztáhly.

Slepé filmy mají při 800 nm je transmittance kolem 65 %, poté pozvolna klesá přibližně na 44 % při 400 nm. Při 280 nm mají kolem 11 % a 0 % při 240 nm. Vzorky extraktu Sauvignon mají při 800 nm transmittanci kolem 56–77 % bez použití ultrazvuku a 48–77 % s ním. Poté u všech filmů z extraktu Sauvignon transmittance pozvolna klesá přibližně na 26–45 % při 400 nm. Při 280 nm mají kolem 2–5 % a 0 % při 240 nm. Vzorky Irsai Oliver mají při 800 nm transmittanci kolem 62–87. Poté hodnota transmittance pozvolna klesá přibližně na 42–35 % při 400 nm. Při 280 nm mají kolem 2–5 % a 0 % při 240 nm. Stejně jako vzorky extraktu Sauvignon. Ultrazvuk nehraje v jablečných pektinových filmech z extraktu Irsai Oliver žádnou roli.

Graf 7 UV/VIS spektrum transmittance jablečných filmů bez použití ultrazvuku



Graf 8: UV/VIS spektrum transmittance jablečných filmů s použitím ultrazvuku



11.2.2 Barevnost a opacita vzorků

11.2.2.1 Barevnost

Barevnost byla měřena v barevném systému CIELAB a porovnávaly se parametry pro barevný prostor $L^*a^*b^*$ a pro barevný prostor $L^*C^*h^\circ$. Parametr L^* vyjadřuje světlost barvy, parametr a^* popisuje červenou ($+a^*$) a zelenou barvu ($-a^*$) a parametrem b^* popisuje žlutou ($+b^*$) a modrou ($-b^*$) barvu. Parametr C^* vyjadřuje sytost barvy a h° značí odstín sledované barvy, ΔE^* popisuje barvové odchylky a stínové odchylky vyjadřujeme pomocí ΔH^* . Tyto parametry obsahují Tabulky 4 a 5.

Tabulka 4: Naměřené hodnoty pro barevný prostor $L^*a^*b^*$ u pektinových filmů

ID	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
C Slepý	91,57 ± 0,27	-1,35 ± 0,03	4,25 ± 0,32	standard
C Slepý U	91,87 ± 0,36	-1,37 ± 0,01	3,75 ± 0,17	standard
J Slepý	87,60 ± 0,33	0,34 ± 0,14	12,63 ± 0,72	standard
J Slepý U	87,25 ± 0,28	12,07 ± 0,43	88,81 ± 0,36	standard
C Sauvignon	83,30 ± 0,82	-0,45 ± 0,29	26,95 ± 2,17	24,22 ± 2,33
C Sauvignon U	81,24 ± 0,58	0,61 ± 0,41	31,36 ± 1,34	29,79 ± 1,47
J Sauvignon	85,69 ± 0,49	0,22 ± 0,14	17,59 ± 0,57	4,81 ± 0,68
J Sauvignon U	85,78 ± 1,25	17,03 ± 2,73	89,34 ± 1,52	8,19 ± 1,52
C Irsai Oliver	84,43 ± 0,91	-0,71 ± 0,37	24,77 ± 2,47	21,78 ± 2,46
C Irsai Oliver U	88,24 ± 0,18	-1,52 ± 0,04	13,78 ± 0,66	10,82 ± 0,63
J Irsai Oliver	86,06 ± 0,56	0,39 ± 0,22	16,74 ± 1,20	3,88 ± 1,62
J Irsai Oliver U	86,45 ± 0,47	15,25 ± 1,37	89,22 ± 0,55	4,19 ± 1,82

C, citrusový pektin; J, jablečný pektin; U, vzorky s aplikací ultrazvuku; L^ světlost barvy, a^* červená ($+a^*$) a zelená barva ($-a^*$), b^* žlutá ($+b^*$) a modrá ($-b^*$) barva, ΔE^* barvové odchylky, aritmetický průměr ± sm. odchylka*

Hodnoty ΔE^* byly vypočteny podle Rovnice 5 a hodnoty ΔH^* podle Rovnice 6. Jako standard se použily hodnoty slepých filmů. Z výsledků je viditelné, že barevné odchylky mezi filmy extraktů Sauvignon a Irsai Oliver jsou velmi rozdílné, napomáhá tomu lehce i ultrazvuk. Veškeré hodnoty ΔE^* byly větší, než 3,5 což značí zřetelný rozdíl v barvě. Hodnoty jsou zároveň vyšší u citrusových pektinových filmů, protože slepý film s citrusovým pektinem je bezbarvý a filmy z extraktů jsou nažloutlé. U filmů s jablečným pektinem je hodnota ΔE^* nižší, protože vešker filmy (slepé i s extrakty) jsou žluté až naoranžovělé.

Pokud se jedná o světlost barvy L^* , tak veškeré vzorky pektinových filmů se vyskytují v rozmezí hodnot 91,87–81,24, to naznačuje vyšší světlost pektinových filmů. Platí, že čím více se hodnoty a^* a b^* blíží 0, tím blíže je barva přechodu mezi dvěma barvami. Parametr a^* je u citrusových i jablečných filmů, kde nebyl použit ultrazvuk v blízkosti hodnoty 0. Parametr b^* popisuje žlutou barvu a pektinové filmy, s výjimkou slepého citrusového, jsou žluté. Všechny hodnoty b^* byly kladné, tedy v oblasti žluté barvy.

Ultrazvuk hrál v této analýze velikou roli u jablečných pektinových filmů. Při měření parametrů a^* a b^* byl vidět rozdíl naměřených hodnot, a to i o několik desítek. Například pro filmy s extraktem Sauvignon byla hodnota parametru a^* $0,22 \pm 0,14$ u filmů bez aplikace ultrazvuku a $17,03 \pm 2,73$ u filmů kde byl ultrazvuk použit. Hodnota parametru b^* pro filmy z extraktu Sauvignon byla u filmů, kde nebyl ultrazvuk použit $17,59 \pm 0,57$ a u filmů kde byl $89,34 \pm 1,52$. Můžeme tedy říci, že použití ultrazvuku způsobilo, že barva jablečných filmů je nejen výrazně žlutější (b^*), ale i výrazně červenější (a^*) oproti filmům, kde ultrazvuk použit nebyl.

Veškeré hodnoty ΔH^* byly v rozmezí $0,39 \pm 0,06$ až $4,17 \pm 0,21$. ΔH^* vyjadřuje stínovou odchylku a z výsledných hodnot můžeme říci, že tato odchylka je velmi nízká. Hodnoty jsou zároveň lehce vyšší u filmů vyrobených s pomocí ultrazvuku.

Pokud se jedná o sytost barvy C^* , tak veškeré vzorky pektinových filmů se vyskytují v rozmezí hodnot $3,99 \pm 0,16$ a $31,37 \pm 1,35$. Nejmenší sytost mají slepé citrusové filmy s aplikovaným ultrazvukem s hodnotami $3,99 \pm 0,16$ a $4,46 \pm 0,31$ pro slepé citrusové filmy, kde ultrazvuk použit nebyl. Slepé jablečné filmy bez použití ultrazvuku mají hodnotu sytosti $12,63 \pm 0,72$ a $12,07 \pm 0,43$ pro film s jeho využitím. Sytost barvy u filmů z extraktů Sauvignon a Irsai Oliver se pohybují v rozmezí $13,78 \pm 0,66$ a $31,37 \pm 1,35$. Tyto hodnoty sytosti pro filmy z extraktů jsou vyšší než u slepých filmů. Potvrzuje se, že při použití extraktů z matoliny došlo ke zvýšení sytosti barvy u hotových filmů.

Odstín sledované barvy h° byl u všech jedlých pektinových filmů velmi vysoký. Jeho hodnoty se pohybovaly v rozmezí $88,51 \pm 0,55$ a $110,07 \pm 0,80$. Využití ultrazvuku při výrobě zvýšilo hodnotu odstínu pouze nepatrně.

Tabulka 5: Naměřené hodnoty pro barevný prostor $L^*C^*h^\circ$ u pektinových filmů

ID	L^*	C^*	h°	ΔH^*
C Slepý	$91,57 \pm 0,27$	$4,46 \pm 0,31$	$107,70 \pm 1,11$	standard
C Slepý U	$91,87 \pm 0,36$	$3,99 \pm 0,16$	$110,07 \pm 0,80$	standard
J Slepý	$87,60 \pm 0,33$	$12,63 \pm 0,72$	$88,51 \pm 0,55$	standard
J Slepý U	$87,25 \pm 0,28$	$12,07 \pm 0,43$	$88,81 \pm 0,39$	standard
C Sauvignon	$83,30 \pm 0,82$	$26,96 \pm 2,16$	$91,02 \pm 0,76$	$3,27 \pm 0,28$
C Sauvignon U	$81,24 \pm 0,58$	$31,37 \pm 1,35$	$88,93 \pm 0,70$	$4,17 \pm 0,21$
J Sauvignon	$85,69 \pm 0,49$	$17,59 \pm 0,57$	$89,29 \pm 0,43$	$0,39 \pm 0,06$
J Sauvignon U	$85,78 \pm 1,25$	$17,02 \pm 2,73$	$89,34 \pm 1,52$	$5,59 \pm 1,03$
C Irsai Oliver	$84,43 \pm 0,91$	$24,79 \pm 2,46$	$91,73 \pm 1,01$	$3,01 \pm 0,30$
C Irsai Oliver U	$88,24 \pm 0,18$	$13,78 \pm 0,66$	$96,33 \pm 0,42$	$1,84 \pm 0,08$
J Irsai Oliver	$86,06 \pm 0,56$	$16,74 \pm 1,20$	$88,72 \pm 0,61$	$0,31 \pm 0,02$
J Irsai Oliver U	$86,45 \pm 0,47$	$15,25 \pm 1,37$	$89,22 \pm 0,55$	$3,33 \pm 2,40$

C, citrusový pektin; J, jablečný pektin; U, vzorky s aplikací ultrazvuku; L^ světlost barvy, C^* sytost barvy, h° odstín sledované barvy, ΔH^* stínové odchylky; aritmetický průměr \pm sm. odchylka*

11.2.2.2 Opacita

Opacita byla změřena pomocí CIELAB, kdy jsme získaly výsledky v podobě Opacity Y D65/10 [%]. Pro výpočet opacity pomocí tloušťky a vlnové délky 600 nm jsme získaly hodnotu Opacity indexu. Tyto dva parametry se nedají navzájem porovnávat. Interpretaci výsledků nalezneme v Tabulce 2.

Opacity Y D65/10 a Opacity index OD/mm hodnotí přenos světla skrz vzorek. Jak můžeme vidět z Tabulek 6 a 7 Opacity Y D65/10 má všechny výsledné hodnoty v rozmezí 0-20% procent. Pro vzorky s citrusovým pektinem je toto rozmezí hodnot od $14,88 \pm 0,15$ % až do $17,60 \pm 0,32$ %. Pro vzorky filmů s jablečným pektinem je tato hodnota od $15,95 \pm 0,11$ % do $16,90 \pm 0,43$ %. Výsledky značí velmi nízkou opacitu, což znamená, že se odrazí méně světla a více ho propouští.

Opacity index se pohybuje v rozmezí $1,56 \pm 0,25$ OD/mm až $2,72 \pm 0,30$ OD/mm u citrusových pektinů a $0,99 \pm 0,37$ OD/mm až $4,92 \pm 0,49$ OD/mm u jablečných pektinů. Vzorek extraktu Irsai Oliver s jablečným pektinem bez použití ultrazvuku měl hodnotu $0,99 \pm 0,37$ OD/mm a s jeho použitím $1,63 \pm 0,35$ OD/mm. Tyto hodnoty byly oproti vzorkům z citrusového pektinu nízké (zde hodnoty $2,51 \pm 0,90$ OD/mm bez U a $2,30 \pm 0,55$ OD/mm s U). Vypočtené hodnoty Opacity indexu však potvrzují střední až vysokou opacitu. Vyšší hodnota OD/mm značí vyšší neprůhlednost, tedy materiál propustil méně světla na danou tloušťku a více světla bylo pohlceno.

Tabulka 6: *Výsledné hodnoty opacity filmů z citrusového pektinu*

Vzorek (citrus)	Opacity Y D65/10	Opacity index (OD/mm)
Slepý	$15,20 \pm 0,22$	$1,56 \pm 0,25$
Slepý U	$14,88 \pm 0,15$	$2,04 \pm 0,39$
Sauvignon	$17,05 \pm 0,27$	$2,72 \pm 0,30$
Sauvignon U	$17,60 \pm 0,32$	$2,17 \pm 0,21$
Irsai	$16,53 \pm 0,35$	$2,51 \pm 0,90$
Irsai U	$15,63 \pm 0,38$	$2,30 \pm 0,55$

U, vzorky s aplikací ultrazvuku

Tabulka 7: Výsledné hodnoty opacity filmů z jablečného pektinu

Vzorek (jablko)	Opacity Y D65/10	Opacity index (OD/mm)
Slepý	15,95 ± 0,11	3,52 ± 2,04
Slepý U	16,00 ± 0,10	4,92 ± 0,49
Sauvignon	16,63 ± 0,41	1,93 ± 0,45
Sauvignon U	16,90 ± 0,43	2,53 ± 0,91
Irsai	16,43 ± 0,18	0,99 ± 0,37
Irsai U	16,30 ± 0,22	1,63 ± 0,35

U, vzorky s aplikací ultrazvuku

11.3 Infračervená spektrometrie s Furierovou transformací vzorků filmů

U ATR-FTIR spekter byly popsány charakteristické pásy funkčními skupinami s vazbami. Výsledné ATR-FTIR spektra s popsánymi pásy jsou zobrazeny v Grafech 9 a 10. Rozdíly v intenzitě pásů nebyly patrné, proto jsou pro lepší přehlednost uvedeny záznamy jen pro filmy vyrobené bez aplikace ultrazvuku. Spektrální záznamy s využitím ultrazvuku jsou v Příloze 3 a 4.

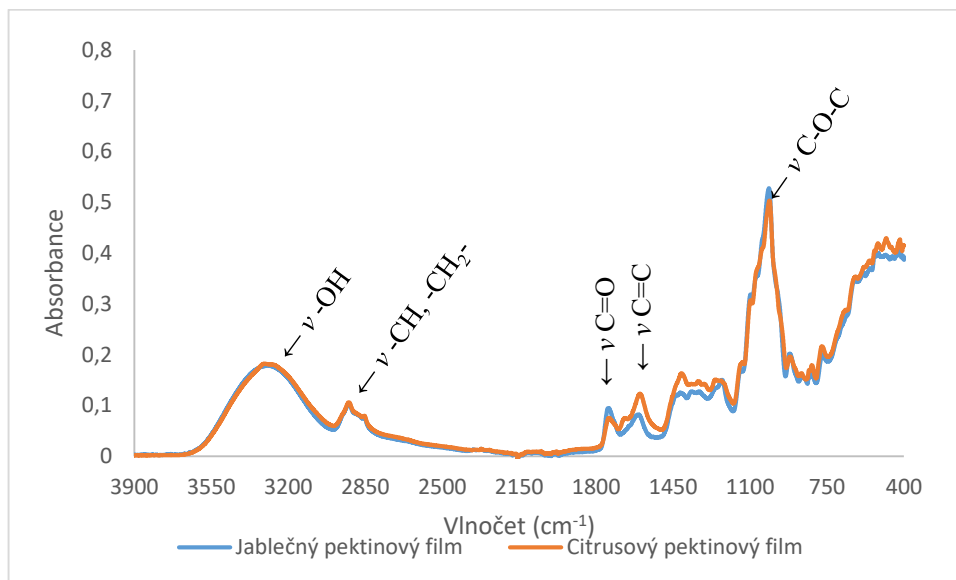
Jak je z Grafů 9 a 10 patrné, v oblasti přibližně 3300 cm⁻¹ se vyskytuje pás odpovídající valenčním vibracím -OH skupin, kterou doprovází pás v oblasti 2850 cm⁻¹, je tvořen valenčními vibracemi -CH a -CH₂-. Další viditelné pásmo je v oblasti 1700-1750 cm⁻¹, to odpovídá výskytu karbonylové skupiny C=O esteryfikovaného galakturonového zbytku v pektinu. Hned vedle se nachází pásmo 1600–1650 cm⁻¹, jenž patří vibracím vazby C=C v aromatických kruzích fenolických sloučenin. Velmi důležitý pás se nachází v oblasti 950-1100 cm⁻¹. Tento pás patří valenčním vibracím C-O-C skupin polysacharidového skeletu.

V Grafu 9 se nachází spektra patřící vzorkům filmů z extraktu Sauvignon bez použití ultrazvuku při výrobě. Při porovnání filmů z jablečného a citrusového pektinového filmu najdeme jen rozdíl v intenzitě absorbance v oblasti 1450-1800 cm⁻¹. Citrusový pektinový film z extraktu Sauvignon má lehce vyšší intenzitu pásu patřícímu fenolickým sloučeninám (1600–1650 cm⁻¹).

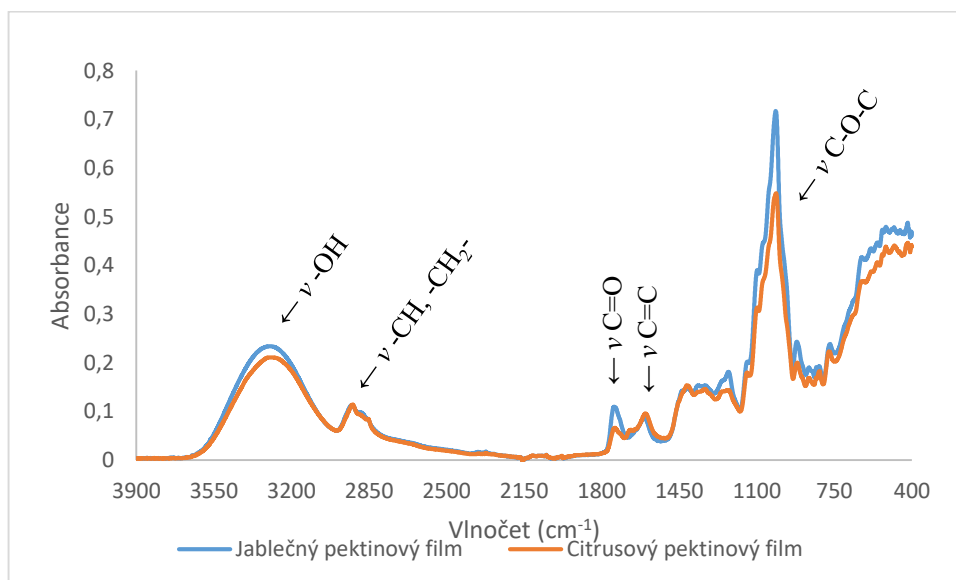
V Grafu 10 se nachází spektra patřící vzorkům filmů z extraktu Irsai Oliver, kde ultrazvuk při výrobě nebyl použit. Při porovnání filmů z jablečného a citrusového pektinu najdeme výrazný

rozdíl v absorbanci v oblasti 1000 cm^{-1} (pás patřící pektinu). Jablečný pektinový film z extraktu Irsai Oliver má lehce vyšší hladinu absorbance než citrusový pektinový film téhož extraktu.

Graf 9: ATR-FTIR spektrum filmů z extraktu Sauvignon bez použití ultrazvuku



Graf 10: ATR-FTIR spektrum filmů z extraktu Irsai Oliver bez použití ultrazvuku



Filmy, které byly připraveny s ultrazvukem, můžeme vidět v Přílohách 3 a 4. Největší rozdíly absorbance jsme zjistili ve filmech z extraktu Sauvignon s aplikovaným ultrazvukem. Celková absorbance citrusového pektinového filmu byla vyšší než u jablečného filmu, kde byl ultrazvuk při výrobě použit (viz Příloha 3). Můžeme tedy říci, že aplikace ultrazvuku má velký vliv na absorbanci pektinových filmů z extraktu Sauvignon.

Jablečné i citrusové vzorky pektinových filmů z extraktu Irsai Oliver měly absorbance téměř stejné. Byl rozdíl pouze mezi absorbancí vzorku citrusového filmu Irsai Oliver bez použití ultrazvuku a s ultrazvukem. U vzorku s aplikovaným ultrazvukem se absorbance v pásmu pektinu rovnala absorbanci jablečného filmu Irsai Oliver, zatímco bez aplikace ultrazvuku byla absorbance nižší (Příloha 4).

11.4 Celkový obsah fenolických látek

Ke stanovení fenolických látek byla použita metoda kalibrační křivky kyseliny gallové, kterou najdeme v Příloze 5. Pro stanovení celkového obsahu fenolických látek byla měřena absorbance modrého komplexu při 765 nm a dle kalibrační křivky kyseliny gallové byla stanovena přítomná koncentrace fenolických látek ve vzorku. Pro hodnocení výsledků byla zjištěna mez detekce 4,28 mg/l (Tabulka 8).

Tabulka 8: Hodnoty meze detekce (LOD) a meze stanovitelnosti (LOQ)

	mg/l
LOD	2,30
LOQ	4,28

Nejdříve se provedlo měření fenolických látek ve vzorcích filmů o velikosti 1 cm², které se extrahovaly za tmy ve vodě 60 minut. Následně vzorky extrahované v 50% ethanolu a poté v 96% ethanolu (stejně podmínky extrakce). Jen od pohledu bylo patrné, že hodnoty se od sebe výrazně liší, jak můžeme vidět v Tabulkách 9, 10 a 11. Výsledky byly vyjádřeny jako mg kyseliny gallové na 1 l vzorku. Od naměřených výsledků byly odečteny hodnoty zjištěné pro filmy vyrobené bez extraktů matoliny (slepý vzorek).

Při porovnání celkového množství fenolických látek ve filmech je patrné, že typ extrakce má velký vliv na jeho množství ve vzorku. Nejvíce fenolických látek se získalo po extrakci filmů ve vodě (Tabulka 9). Hodnoty obsahu fenolických látek odpovídaly rozmezí 19,52 ± 0,13 mg/l až 25,59 ± 0,80 mg/l pro citrusové pektinové filmy a 12,44 ± 1,91 mg/l až 26,00 ± 2,25 mg/l pro filmy s jablečným pektinem. Ultrazvuk ovlivňuje množství fenolických látek ve vzorcích extrahovaných ve vodě. Zvyšuje jeho množství u vzorku extraktu Sauvignon pro jablečný pektinový film, ale snižuje ho u filmu s pektinem citrusovým. Pro vzorky filmů z extraktu Irsai Oliver má opačný vliv. Snižuje množství fenolických látek u jablečných filmů, ale zvyšuje ho u filmů citrusových.

Tabulka 9: Hodnoty analýzy jedlých obalů po extrakci ve vodě

Vzorek	Voda C (mg/l)	Voda J (mg/l)
Sauvignon	25,59 ± 0,80	12,44 ± 1,91
Sauvignon U	20,50 ± 0,88	20,49 ± 2,84
Irsai	19,52 ± 0,13	26,00 ± 2,25
Irsai U	24,14 ± 1,56	23,87 ± 4,69

C, citrusový pektin; J, jablečný pektin; U, vzorky s aplikací ultrazvuku; aritmetický průměr ± sm. odchylka

Méně fenolických látek se získalo po extrakci pektinových filmů v 50% ethanolu (Tabulka 10). Výsledné hodnoty fenolických látek odpovídaly rozmezí 11,48 ± 1,13 mg/l až 17,56 ± 0,63 mg/l pro citrusové filmy a 9,75 ± 5,85 mg/l až 14,59 ± 0,39 mg/l pro jablečné filmy. I zde použití ultrazvuku při výrobě filmů ovlivňuje množství fenolických látek. Zvyšuje množství u vzorků z extraktu Sauvignon pro jablečné i citrusové filmy. Pro vzorky z extraktu Irsai Oliver naopak snižuje množství fenolických látek u obou typů filmů.

Tabulka 10: Hodnoty analýzy jedlých obalů po extrakci v 50% ethanolu

Vzorek	50% ethanol C (mg/l)	50% ethanol J (mg/l)
Sauvignon	11,48 ± 1,13	9,75 ± 5,85
Sauvignon U	12,28 ± 1,49	14,59 ± 0,39
Irsai	17,56 ± 0,63	13,88 ± 1,16
Irsai U	13,56 ± 0,33	12,28 ± 0,60

C, citrusový pektin; J, jablečný pektin; U, vzorky s aplikací ultrazvuku; aritmetický průměr ± sm. odchylka

Nejméně fenolických látek se získalo po extrakci filmů v 96% ethanolu (Tabulka 11). Při této extrakci měly vzorky výsledné hodnoty fenolických látek velmi nízké. Vzorek extraktu Sauvignon bez aplikace ultrazvuku s jablečným i citrusovým pektinem měly výsledné hodnoty pod mezí stanovitelnosti. To samé i vzorek filmu extraktu Irsai Oliver bez použití ultrazvuku s citrusovým pektinem a vzorek Irsai Oliver s použitým ultrazvukem při výrobě a jablečným pektinem. Fenolické látky byly stanoveny tedy u vzorků filmů z extraktu Sauvignon s aplikovaným ultrazvukem s množstvím 5,12 ± 0,57 mg/l pro film s citrusovým a 4,32 ± 0,61 mg/l s jablečným pektinem. Ze vzorků pektinových filmů s extraktem Irsai Oliver se stanovilo

množství fenolických látek $6,59 \pm 2,66$ mg/l pro jablečný film bez aplikace ultrazvuku a $6,99 \pm 0,53$ mg/l pro citrusový film s jeho použitím.

Tabulka 11: Hodnoty analýzy jedlých obalů po extrakci v 96% ethanolu

Vzorek	96% ethanol C (mg/l)	96% ethanol J (mg/l)
Sauvignon	< LOQ	< LOQ
Sauvignon U	$5,12 \pm 0,57$	$4,32 \pm 0,61$
Irsai	< LOQ	$6,59 \pm 2,66$
Irsai U	$6,99 \pm 0,53$	< LOQ

C, citrusový pektin; J, jablečný pektin; U, vzorky s aplikací ultrazvuku; aritmetický průměr \pm sm. odchylka

11.5 Obsah cukrů

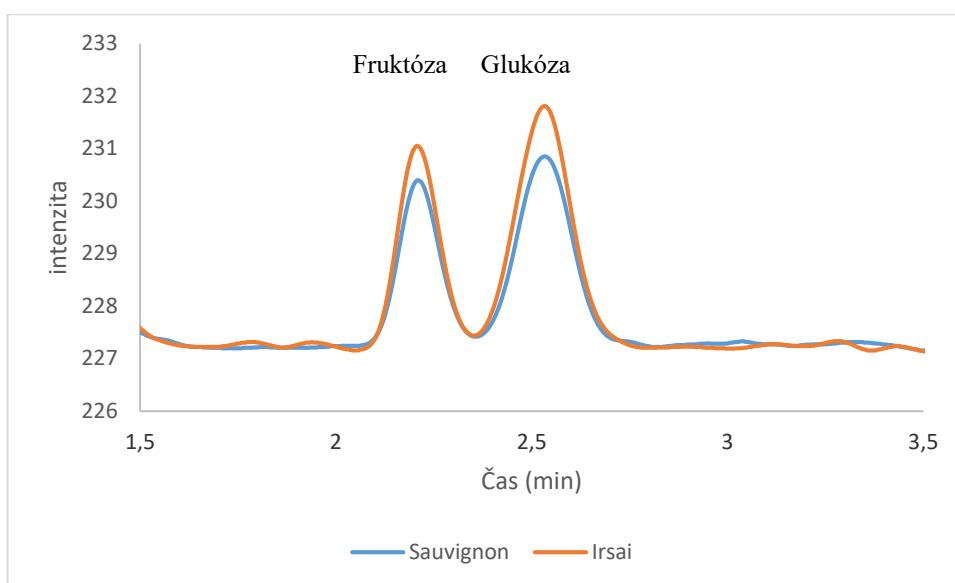
Obsah cukru se nejprve změřil pomocí hodnoty Brix, kdy extrakt Sauvignon obsahoval $2,38 \pm 0,13$ % cukrů, což je méně cukrů než extrakt Irsai Oliver s 3% cukerným obsahem. Tyto hodnoty odpovídají $2,38 \pm 0,13$ g cukru ve 100g extraktu Sauvignonu a 3 g ve 100g extraktu Irsai Olivera.

Měření přesného obsahu cukru se provedlo pomocí kapalinové chromatografie HPLC-HILIC s refraktometrickou detekcí, kdy se nejprve proměřila kalibrační řada cukrů a získala se kalibrační křivka, jak můžeme nalézt v Příloze 6. V zásobním roztoku byla i sacharóza, ale vzorky extraktů tento cukr neobsahovaly, proto se hodnoty sacharózy ve výpočtech neobjevují.

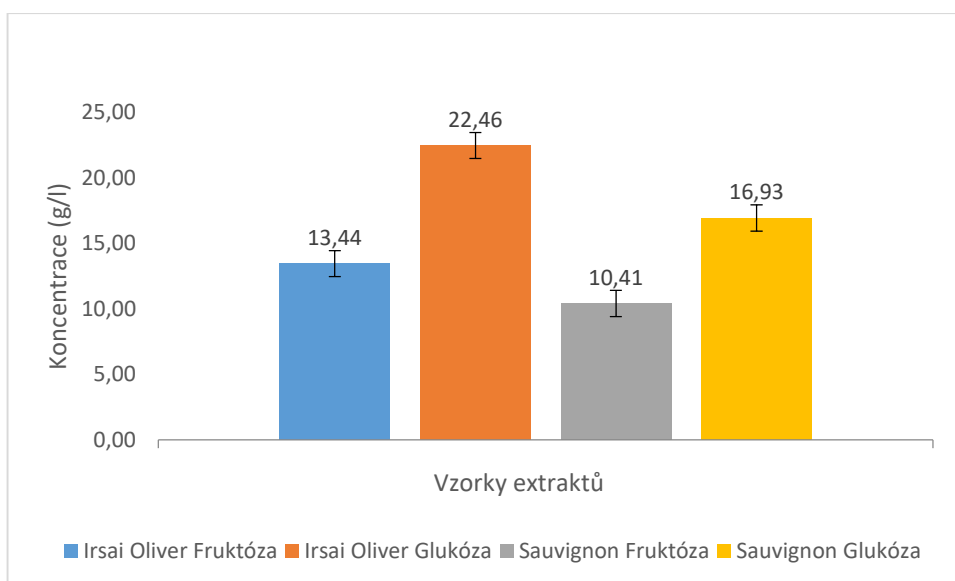
Každá analýza trvala 7 minut. Mezi 2. a 3. minutou analýzy se začaly objevovat píky cukrů, jako první fruktóza a následně glukóza, jak můžeme vidět v Grafu 11. Po 3. minutě již žádný pík neobjevil, žádné další látky neelují.

Bylo zjištěno, že vzorky extraktů Sauvignon i Irsai Oliver obsahují cukry fruktózu a glukózu. Jak můžeme vidět v Grafu 12, extrakt Sauvignon obsahoval $10,41 \pm 0,30$ g/l fruktózy a $16,93 \pm 0,60$ g/l glukózy. Vzorek extraktu Irsai Oliver naopak obsahoval $13,44 \pm 0,47$ g/l fruktózy a $22,46 \pm 0,60$ g/l glukózy. Vzorek extraktu Irsai Oliver obsahuje celkově více cukrů než extrakt Sauvignon.

Graf 11: Intenzita množství cukrů v extraktech Sauvignon a Irsai Oliver



Graf 12: Množství cukrů fruktóza a glukóza v extraktech Sauvignon a Irsai Oliver



11.6 Mikroskopie filmů

Díky mikroskopii byla potvrzena přítomnost bublinek, které jsme se snažily redukovat pomocí ultrazvuku. Byly zjištěny značné rozdíly povrchu filmů na základě použitého pektinu i extraktu. Na obrázcích můžeme vidět „krátery“. Tyto „krátery“ byly způsobené bublinkami, které nebyly pouhým okem při přípravě filmů vidět. V obrázcích 13A–14F je vždy vložena úsečka odpovídající velikosti 100 μm , pro představu velikosti bublinek.

Slepé filmy

Slepé filmy z citrusového pektinu byly hodně podobné s hladkým povrchem bez bublinek a použití ultrazvuku při přípravě neměl na vzhled žádný vliv, jak můžeme vidět na Obrázcích 13A a 13B. Na druhou stranu slepé filmy z jablečného pektinu měly již hrubější povrch s „krátery“. Jak je patrné z Obrázků 14A a 14B můžeme vidět menší rozdíl ve velikosti a množství „kráterů“. Ultrazvuk redukoval množství bublinek u slepého filmu z jablečného pektinu, ale na druhou stranu se bublinky lehce zvětšily.

Filmy z extraktů

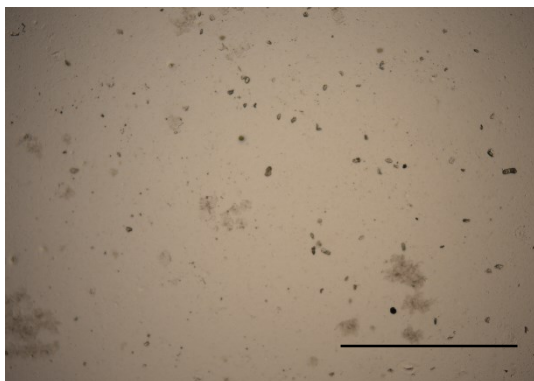
Filmy extraktů byly hodně rozdílné od slepých filmů a to jak velikostí „kráterů“ po bublinkách, tak i jejich počtem. Je vidět i značný rozdíl mezi jednotlivými filmy z extraktů Sauvignon a Irsai Oliver.

Filmy z extraktu **Sauvignon** z citrusového pektinu obsahovaly mnoho bublin, jak můžeme vidět na Obrázcích 13C a 13D. Na druhou stranu filmy z jablečného pektinu měly bublin méně s hrubějším povrchem ve tvaru šupinek, jak je znázorněno na Obrázcích 14C a 14D. Ultrazvuk použitý při výrobě lehce redukoval množství bublinek u filmů z jablečného pektinu, jejich velikost se však nezměnila. Na druhou stranu u filmů z citrusového pektinu se množství bublinek zvětšilo, velikost ale zůstala stejná.

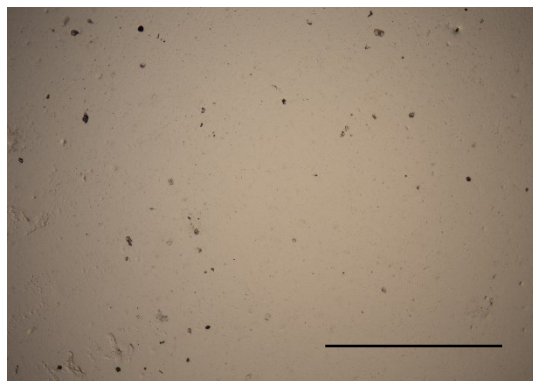
Filmy z extraktu **Irsai Oliver** z citrusového pektinu měly hrubší povrch a obsahovaly mnoho malých bublin, jak můžeme vidět na Obrázcích 13E a 13F. Na druhou stranu filmy z jablečného pektinu měly hladší povrch a méně bublin, ty byly však větší, jak je patrné na Obrázcích 14E a 14F. Použití ultrazvuku velmi redukovalo množství i velikost bublinek u filmů z jablečného pektinu. Velikost původních bublinek byla po aplikaci ultrazvuku přibližně poloviční. Na druhou stranu u filmů z citrusového pektinu se množství bublinek nezměnilo a velikost zůstala stejná. Povrch tohoto filmu se po použití ultrazvuku při výrobě lehce vyhladil.

Citrusové filmy

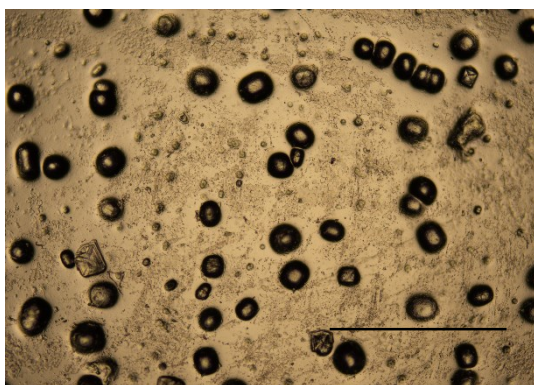
A)



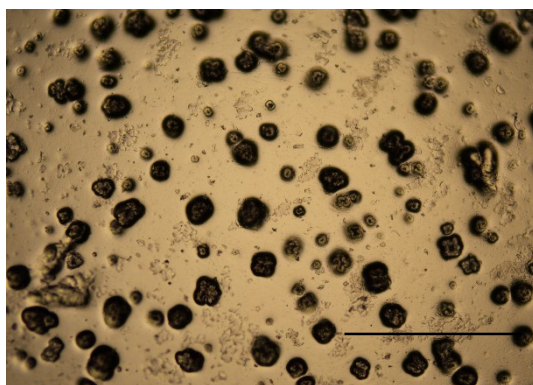
B)



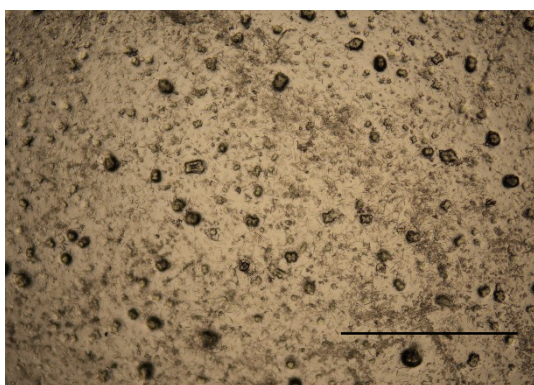
C)



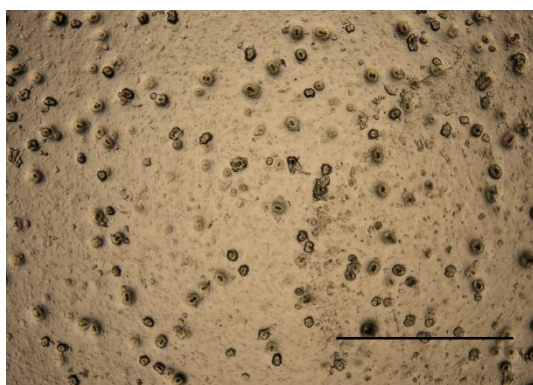
D)



E)



F)

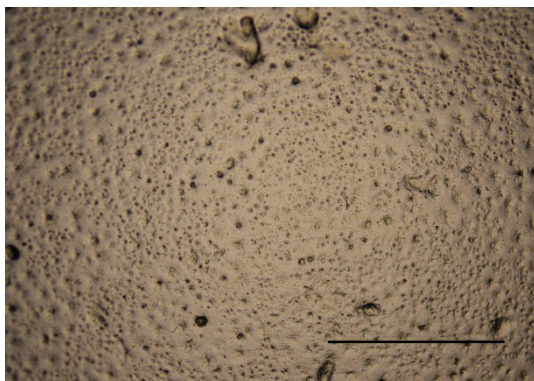


Obrázky 13 A-F: A) slepý film B) slepý film s použitím ultrazvuku C) film z extraktu Sauvignon D) film z extraktu Sauvignon s použitím ultrazvuku E) film z extraktu Irsai Oliver F) film z extraktu Irsai Oliver s použitím ultrazvuku

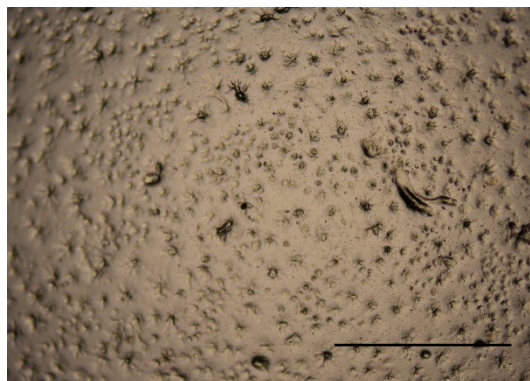
Délka úsečky odpovídá 100 μm

Jablečné filmy

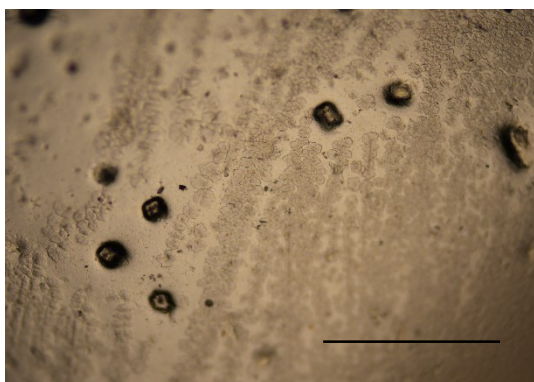
A)



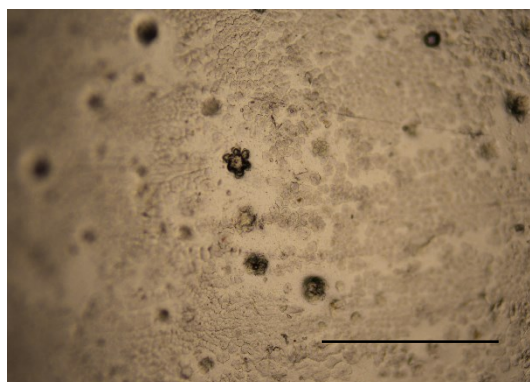
B)



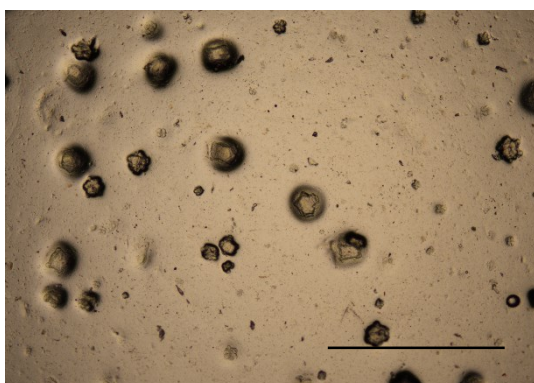
C)



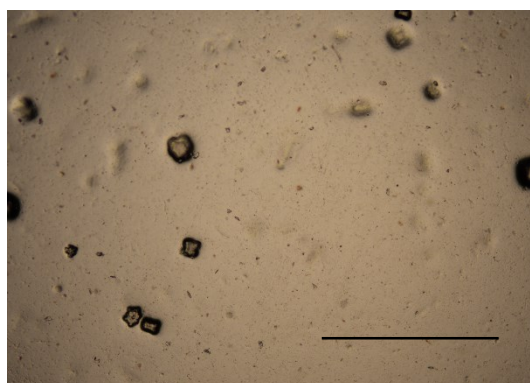
D)



E)



F)



Obrázky 14 A-F: A) slepý film B) slepý film s použitím ultrazvuku C) film z extraktu Sauvignon D) film z extraktu Sauvignon s použitím ultrazvuku E) film z extraktu Irsai Oliver F) film z extraktu Irsai Oliver s použitím ultrazvuku

Délka úsečky odpovídá 100 μm

11.7 Parapropustnost

Parapropustnost byla měřena s cílem zjištění hodnoty rychlosti přenosu vodních par RVPV a hodnoty propustnosti vodní páry PVP dle matematických rovnic 2 a 3. Pozorovala se také závislost změny hmotnosti pektinových filmů, které můžeme nalézt v Přílohách 7 a 8. Bylo zjištěno, že filmy s citrusovým pektinem mají menší hodnoty rychlosti i propustnosti vodních par než filmy s jablečným pektinem. Použití ultrazvuku při výrobě nemělo u této analýzy na měření vzorků význam. Veškeré výsledné hodnoty se nalézají v Tabulce 12.

Polyethylenové fólie byla použita jako negativní kontrola, kdy výsledné hodnoty analýzy byly pro RVPV a PVP rovny 0. Byla zcela nepropustná. Silikagel byl použit jako pozitivní kontrola, kdy výsledné hodnoty analýzy odpovídaly $99,39 \pm 0,92 \text{ g} \cdot (\text{h} \cdot \text{m}^2)^{-1}$ pro RVPV a $62,71 \pm 0,58 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ pro PVP.

Parapropustnost filmů byla změněna, když se při výrobě použil extrakt. U filmů z citrusového pektinu došlo ke zvýšení propustnosti ($0 \pm 3,7 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ pro extrakt Sauvignon a $\pm 4,8 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ pro extrakt Irsai Oliver), u filmů s jablečným pektinem naopak ke snížení ($0 \pm 6,3 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ pro extrakt Sauvignon a $\pm 4,1 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ pro extrakt Irsai Oliver).

U citrusových pektinových filmů měl nejnižší hodnotu RVPV slepý film, když byl při výrobě použit ultrazvukem, a to $1,65 \pm 0,05 \text{ g} \cdot (\text{h} \cdot \text{m}^2)^{-1}$ a nejvyšší hodnotu film vyrobený z extraktu Irsai Oliver s aplikací ultrazvuku $9,21 \pm 1,11 \text{ g} \cdot (\text{h} \cdot \text{m}^2)^{-1}$. To samé platilo u hodnot propustnosti PVP, kdy slepý film měl hodnotu $1,04 \pm 0,03 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ a film z extraktu Irsai Oliver $5,81 \pm 0,70 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$.

U filmů s jablečným pektinem měl nejnižší hodnotu RVPV $8,13 \pm 0,97 \text{ g} \cdot (\text{h} \cdot \text{m}^2)^{-1}$ film vyrobený s extraktem Sauvignon bez použití ultrazvuku. Nejvyšší hodnotu pak film slepý $18,04 \pm 0,08 \text{ g} \cdot (\text{h} \cdot \text{m}^2)^{-1}$ a ultrazvuk zde též při výrobě nebyl použit. To samé platilo u hodnot propustnosti PVP, kdy film z extraktu Sauvignon měl hodnotu $5,13 \pm 0,61 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ a slepý $11,38 \pm 0,05 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$.

Tabulka 12: Výsledné hodnoty měření rychlosti přenosu vodních par (RVPV) a propustnosti vodní páry (PVP)

Vzorek	RVPV (g·(h·m ²) ⁻¹)	PVP (g/(m ² ·h·kPa))
Silikagel (PK)	99,39 ± 0,92	62,71 ± 0,58
P. fólie (NK)	0	0
C Slepý	2,96 ± 1,31	1,87 ± 0,83
C Slepý U	1,65 ± 0,05	1,04 ± 0,03
J Slepý	18,04 ± 0,08	11,38 ± 0,05
J Slepý U	16,35 ± 0,19	10,32 ± 0,12
C Sauvignon	6,77 ± 0,51	4,27 ± 0,32
C Sauvignon U	7,48 ± 1,09	4,72 ± 0,69
J Sauvignon	8,13 ± 0,97	5,13 ± 0,61
J Sauvignon U	9,35 ± 0,27	5,90 ± 0,17
C Irsai Oliver	9,15 ± 0,02	5,78 ± 0,01
C Irsai Oliver U	9,21 ± 1,11	5,81 ± 0,70
J Irsai Oliver	12,29 ± 0,66	7,75 ± 0,42
J Irsai Oliver U	11,54 ± 0,43	7,28 ± 0,27

P. fólie... polyethylenový fólie NK a PK...negativní a pozitivní kontrola C, citrusový pektin; J, jablečný pektin; U, vzorky s aplikací ultrazvuku; aritmetický průměr ± sm. odchylka

12 Závěr

Experimentální měření základních funkčních vlastností byla provedena na jedlých pektinových filmech. Celkově se měřilo 12 druhů filmů. Základní dělení filmů byla na slepé, Sauvignon a Irsai Oliver. Dále se filmy dělily podle použitého pektinu, byly buď z jablečného či citrusového pektinu. A nakonec podle použití ultrazvuku při přípravě.

Nejvíce vhodné produkty k obalování jsou ovoce a zelenina, kdy obaly zajistí prodloužení životnosti potravin. Je však těžké vybrat, který typ jedlého filmu jako obalového materiálu je nejlepší, jelikož každý z nich má své výhody i nevýhody. Musely bychom se rozhodnout, co je pro nás ze všech vlastností nejdůležitější.

První důležitou vlastností, která se očekává od obalových materiálů, je pevnost filmů. Pokud přihlížíme jen na tuto podmínku, je nejlepší k výrobě použít jablečný pektin a extrakt Irsai Oliver bez aplikace ultrazvuku.

Druhou důležitou vlastností, která se též očekává od obalových materiálů, je paraproústnost filmů. Filmy vyrobené z extraktů matoliny a citrusového pektinu vykazovaly zvýšenou paraproústnost ve srovnání s filmem bez extraktu. Na druhou stranu přítomnost extraktů z matoliny ve filmech z jablečného pektinu měla za následek snížení paraproústnosti. Rozdíl v paraproústnosti pektinových filmů vyrobených s využitím extraktu z matoliny zelených odrůd révy vinné však nebyl výrazně odlišný.

Výroba extraktu je časově poměrně náročná s malou výtěžností (ze 100 g extraktu 8 kusů filmů o průměru 9,5 cm). Nevýhodou filmů je jejich totální rozpustnost ve vodě. Ve více hydrofobním prostředí si filmy držely svou strukturu, ale byla zjištěna poměrně nízká migrace polyfenolických látek. Pro další experimenty navrhuje využit celou hmotu matoliny jako součástí aktivního obalu, např. mletím na menší částice nebo využit hydrofobní přísady do filmotvorného roztoku.

13 Literatura

- [1] Doğan, O.: Determination of effects of some summer pruning applications on yield and quality characteristics of alphonse lavalée (*Vitis vinifera L.*) Grape Variety. *Horticulturae* 2025, 11, 445. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11040445>
- [2] Recinella, L., Chiavaroli, A., Veschi, S., et al.: A grape (*Vitis vinifera L.*) pomace water extract modulates inflammatory and immune response in SW-480 cells and isolated mouse colon. *Phytotherapy Research* 2022;36(12):4620-4630. doi: 10.1002/ptr.7581
- [3] Sabo, J., Farkasová, S., Droppa, M., et al.: Molecular fingerprinting and microbiological characterisation of selected *Vitis vinifera L.* varieties. *Plants* 2022, 11, 3375. <https://doi.org/10.3390/plants11233375>
- [4] Gorrasi, G., Viscusi, G., Gerardi, C. et al.: Physicochemical and antioxidant properties of white (*Fiano cv*) and red (*Negroamaro cv*) grape pomace skin based films. *Journal of Polymers and the Environment* 2022 30, 3609–362. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02463-9>
- [5] Wang, C., You, Y., Huang, W., Zhan, J.: The high-value and sustainable utilization of grape pomace: A review, *Food Chemistry: X*, 2024, 24, 101845, <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101845>
- [6] Kraus, V. a kol.: Sauvignon. Vína z Moravy, vína z Čech. Dostupné také z: <https://www.vinazmoravyvinazcech.cz/cs/o-vine/pruvodce-vinem/deleni-vina/deleni-podle-odrud/odrudy-bilych-vin/4581746-sauvignon>.
- [7] Kraus, V. a kol.: Irsai Oliver. Vína z Moravy, vína z Čech. Dostupné také z: <https://www.vinazmoravyvinazcech.cz/cs/o-vine/pruvodce-vinem/deleni-vina/deleni-podle-odrud/odrudy-bilych-vin/4581628-irsai-oliver>.
- [8] Humerez-Flores, J. N., Kyomugasho, C., Gutiérrez-Ortiz, A. A., et al.: Production and molecular characterization of tailored citrus pectin-derived compounds, *Food Chemistry* 2022, 367, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130635>
- [9] Li, L., Gao, X., Liu, J., Chitrakar, B., Wang, B. et al: Hawthorn pectin: Extraction, function and utilization, *Current Research in Food Science* 2021, 4, 429-435, <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.06.002>
- [10] Pasarin, D., Ghizdareanu, A. I., Teodorescu, F., et al.: Characterization of pectin oligosaccharides obtained from citrus peel pectin. *Fermentation* 2023, 9, 312. <https://doi.org/10.3390/fermentation9030312>
- [11] Lara-Espinoza, C., Carvajal-Millán, E., Balandrán-Quintana, R., et al.: Pectin and pectin-based composite materials: Beyond food texture. *Molecules* 2018, 23, 942. <https://doi.org/10.3390/molecules23040942>
- [12] Freitas, C. M. P., Coimbra, J. S. R., Souza, V. G. L., Sousa, R. C. S.: Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review. *Coatings* 2021, 11, 922. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>
- [13] Roy S., Priyadarshi R., Łopusiewicz Ł., et al.: Recent progress in pectin extraction, characterization, and pectin-based films for active food packaging applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 2023, 1;239:124248. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124248>
- [14] Kumar S., Reddy A. R. L., Basumatary I. B., et al.: Recent progress in pectin extraction and their applications in developing films and coatings for sustainable food packaging: A

- review. *International Journal of Biological Macromolecules* 2023, 1;239:124281. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124281>
- [15] Freitas, C. M. P., Coimbra, J.S.R., et al.: Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review. *Coatings* 2021, 11, 922. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>
- [16] Wu, J., Yang, X., Gong, M.; Recent advances in glycerol valorization via electrooxidation: Catalyst, mechanism and device, *Chinese Journal of Catalysis*, 43, 12, 2022, 2966-2986. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(22\)64121-4](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(22)64121-4).
- [17] Halloran, M. W.; Danielczak, L.; Nicell, J. A. et al.: Highly flexible polylactide food packaging plasticized with nontoxic, biosourced glycerol plasticizers *acs. Applied Polymer Materials* 2022 4 (5), 3608-3617. <https://doi.org/10.1021/acsapm.2c00172>
- [18] Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., et al: Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review, *International Journal of Biological Macromolecules* 109, 2018, 1095-1107, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>
- [19] Bagnato, G., Iulianelli, A., Sanna, A., Basile, A.: Glycerol production and transformation: a critical review with particular emphasis on glycerol reforming reaction for producing hydrogen in conventional and membrane reactors. *Membranes* 2017;7(2):17. <https://doi.org/10.3390/membranes7020017>
- [20] Pillai, A.R.S.; Eapen, A.S.; Zhang, W.; Roy, S.: Polysaccharide-based edible biopolymer-based coatings for fruit preservation: A review. *Foods* 2024, 13, 1529 <https://doi.org/10.3390/foods13101529>
- [21] Benitez, J. J., Florido-Moreno, P., et al: Transparent, plasticized cellulose-glycerol bioplastics for food packaging applications, *International Journal of Biological Macromolecules*, 273, 2, 2024, 132956, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132956>
- [22] Tarique, J., Sapuan, S. M., Khalina, A.: Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. *Scientific Reports* 2021;11(1):13900. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93094-y>
- [23] Nguyen, T.D.H.; Truong, D.H.: Edible film-forming potential of gelatin blends with glycerol and sorbitol for application in instant noodle seasoning powder packaging. *Tropical Journal of Natural Product Research* 2025, 9, 398–403, <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v9i1.50>.
- [24] Andrade, R. M., Ferreira, M. S., Gonçalves, É. C.: development and characterization of edible films based on fruit and vegetable residues. *Journal of Food Science* 2016;81(2):E412-8. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13192>
- [25] Teixeira-Costa, B.E., Andrade, C.T.: Natural polymers used in edible food packaging—history, function and application trends as a sustainable alternative to synthetic plastic. *Polysaccharides* 2022, 3, 32-58. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3010002>
- [26] Eslami, Z., Elkoun, S., Robert, M., et al.: A review of the effect of plasticizers on the physical and mechanical properties of alginate-based films. *Molecules* 2023, 28, 6637. <https://doi.org/10.3390/molecules28186637>
- [27] Zákon č. 110/1997 Sb. Online. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-110/zneni-20250401>.

- [28] Vyhláška č. 38/2001 Sb. Online. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-38>.
- [29] Zákon č. 477/2001 Sb. Online. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-477>.
- [30] Nařízení (ES) č. 178/2002. Online. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32002R0178>
- [31] Nařízení (ES) č. 1935/2004. Online. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32004R1935>.
- [32] Nařízení (ES) č. 2023/2006. Online. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006R2023>
- [33] Nařízení (ES) č. 1333/2008. Online. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008R1333>
- [34] Nařízení (EU) č. 10/2011. Online. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011R0010>
- [35] Nařízení (EU) č. 1169/2011. Online. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011R1169>
- [36] Nařízení 94/62/ES. Online. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:31994L0062>
- [37] Soltani Firouz, M., Mohi-Alden, K., Omid, M.: A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Research International* 2021; 141:110113. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110113>
- [38] Rodrigues, C., Souza, V.G.L., Coelho, I., et al.: Bio-based sensors for smart food packaging—current applications and future trends. *Sensors* 2021, 21, 2148. <https://doi.org/10.3390/s21062148>
- [39] Palanisamy, Y., Kadirvel, V., Ganesan, N.: Recent technological advances in food packaging: sensors, automation, and application. *Sustainable Food Technology* 2025, 3, 1, 161-180. <https://doi.org/10.1039/D4FB00296B>
- [40] Marczenko Z., Balcerzak M.; Principles of spectrophotometry; analytical spectroscopy library. *Analytical Spectroscopy Library* 2000; 26-38. [https://doi.org/10.1016/S0926-4345\(00\)80066-8](https://doi.org/10.1016/S0926-4345(00)80066-8)
- [41] De Caro, C. A., Haller, C.: UV/Vis spectrophotometry - fundamentals and applications. 2025, https://www.researchgate.net/publication/321017142_UVVis_Spectrophotometry_-_Fundamentals_and_Applications
- [42] Mäntele, W., Deniz, E.; UV–VIS absorption spectroscopy: LambertBeer reloaded. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2017, 173; 965-968; <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.09.037>
- [43] Bonilla, J. et al.: Measurement of optical properties of biodegradable films. *Food Packaging and Shelf Life* 2022, <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100625>
- [44] Amiri Samani, S., Pourvatandoust, S.; Savarolyia, M., et al.: Valorization of red grape pomace for sustainable food packaging. *Food Hydrocolloids* 2025 160, 110806. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110806>

- [45] Bocker, R., Silva, E. K.: Sustainable pectin-based film for carrying phenolic compounds and essential oil from Citrus sinensis peel waste. *Food Bioscience* 2024 61, 104526. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104526>
- [46] Wei, H., & Pascall, M. A.: Evaluation of structural and functional properties of citrus pectin film enriched with green tea extract. *Polymer Engineering & Science* 2023 63(8), 2522–2533. <https://doi.org/10.1002/pen.26488>
- [47] Asfaw, W. A., Tafa, K. D., Satheesh, N.: Optimization of citron peel pectin and glycerol concentration in the production of edible film. *Heliyon* 2023 9, e13724. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13724>
- [48] Khalil, R. K. S., Sharaby, M. R.; Abdelrahim, D. S., et al.: Novel active edible food packaging films based entirely on citrus peel wastes. *Food Hydrocolloids* 2023 134, 107961. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107961>
- [49] Martínez-Pérez-Cejuela, H., Mesquita, R. B. R., et al: Design of a microfluidic paper-based device for the quantification of phenolic compounds in wine samples, *Talanta* 2022, 250, 123747, <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2022.123747>
- [50] Lee, E., Nomura, N., Patil, B., et al.: Measurement of total phenolic content in wine using an automatic Folin–Ciocalteu assay method. *International Journal of Food Science & Technology* 2014, 49. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12557>.
- [51]. QING, G., YAN, J., HE, X., et al.: Recent advances in hydrophilic interaction liquid interaction chromatography materials for glycopeptide enrichment and glycan separation: Development of pectin/kidney bean protein based biocomposite films enriched with grape pomace polyphenols. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2020, 124, 965-968. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.06.020>
- [52] Jaywant, S. A., Singh, H., Arif, K. M.: Sensors and instruments for Brix measurement: A review. *Sensors* 2022, 22, 2290. <https://doi.org/10.3390/s22062290>
- [53]. Guo, Y., Baran, D., Ryan, L., et al: Insights into the selectivity of polar stationary phases based on quantitative retention mechanism assessment in hydrophilic interaction chromatography: Development of pectin/kidney bean protein based biocomposite films enriched with grape pomace polyphenols. *Journal of Chromatography A* 2024, 1726, 965-968. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.464973>
- [54] Soyseven, M., Sezgin, B., Arli, G., Et al.: A novel, rapid and robust HPLC-ELSD method for simultaneous determination of fructose, glucose and sucrose in various food samples: Method development and validation. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022, 107, 965-968. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104400>
- [55] Wade, J. H., Bailey, R. C., Arli, G et al.: Refractive index-based detection of gradient elution liquid chromatography using chip-integrated microring resonator arrays: Method development and validation. *Analytical Chemistry*. 2014, 86, 1, 913-919. <https://doi.org/10.1021/ac4035828>
- [56] Xie, B., Zhang, X., Luo, X., et al.: Edible coating based on beeswax-in-water Pickering emulsion stabilized by cellulose nanofibrils and carboxymethyl chitosan. *Food Chemistry* 2020, 331, 127108. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127108>
- [57] Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., et al.: Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2008 48(6), 496–511. <https://doi.org/10.1080/10408390701537344>

- [58] Chit, C. S., Olawuyi, I. F., Park, J. J., et al.: Effect of composite chitosan/sodium alginate gel coatings on the quality of fresh-cut purple-flesh sweet potato. *Gels* 2022, 8(11), 747. <https://doi.org/10.3390/gels8110747>
- [59] García, M. A., Martino, M. N., Zaritzky, N. E.: Composite starch-based coatings applied to strawberries (*Fragaria ananassa*). *Nahrung* 2001 45(4), 267–272. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20010801\)45:4<267::AID-FOOD267>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20010801)45:4<267::AID-FOOD267>3.0.CO;2-3)
- [60] Surface Measurement Systems. (n.d.). DVS Intrinsic PLUS - Compact Water Sorption Analyzer. <https://www.surfacemeasurementsystems.com/product/dvs-intrinsic-plus/>
- [61] Ramcon. (n.d.). DVS Intrinsic Plus. <https://www.ramcon.eu/products/material-characterization/dynamic-vapor-sorption-and-igc-sea/dvs-intrinsic-plus/>
- [62] Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., et al.: Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids* 2017, 68, 136–148 <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>.
- [63] Otoni, C.G., Avena-Bustillos, R. J., Azeredo, H. M. C., et al.: Recent advances on edible films based on fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2017, 16, 5, 1151-1169. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
- [64] Mehmood, A., Aziz, T., Al-Asmari, F., et al.: Insight into the recent advances in the development of antimicrobial edible films for food packaging: A review from the perspective of dielectric properties. *Packaging Technology and Science* 2020, 99, 5, 593-607. <https://doi.org/10.1002/pts.2895>.
- [65] Anjimon, S., Sobti, R., Kumar, A., Parashar, S. C., et al.: Revolutionizing packaging and consumer products: Exploring the potential of biodegradable materials. *E3S Web of Conferences* 2024, 472, 5, 593-607. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447202006>
- [66] Devi, L. S., Jaiswal, A. K., Jaiswal, S., et al.: Lipid incorporated biopolymer based edible films and coatings in food packaging: A review. *Current Research in Food Science* 2024, 8, 5, 593-607. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100720>
- [67] ČSN EN ISO 2471. Papír a lepenka – Stanovení opacity (na bílém podkladu) – Metoda difuzní reflexe. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008. 12 s.
- [68] BMG LABTECH. Optical density and absorbance measurements. Ortenberg: *BMG LABTECH GmbH* 2020, <https://www.bmglabtech.com/en/blog/optical-density-for-absorbance-assays/>

14 Přílohy

Seznam příloh

<i>Příloha 1: Popisné statistiky jedlých citrusových filmů</i>	80
<i>Příloha 2: Popisné statistiky jedlých jablečných filmů</i>	80
<i>Příloha 3: ATR-FTIR spektrum filmů z extraktu Sauvignon s použitím ultrazvuku</i>	81
<i>Příloha 4: ATR-FTIR spektrum filmů z extraktu Irsai Oliver s použitím ultrazvuku</i>	81
<i>Příloha 5: Kalibrační křivka kyseliny gallové</i>	82
<i>Příloha 6: Kalibrační řada cukrů pro analýzu extraktů Sauvignon a Irsai Oliver</i>	82
<i>Příloha 7: Závislost změny hmotnosti citrusových filmů</i>	83
<i>Příloha 8: Závislost změny hmotnosti jablečných filmů</i>	83

Příloha 1: Popisné statistiky jedlých citrusových filmů

Citrus	Počet proměnných	Průměr	Sm. odch.	Medián
Slepý	N = 4	0,040	0,008	0,041
Slepý U	N = 4	0,035	0,007	0,035
Sauvignon	N = 4	0,095	0,010	0,091
Sauvignon U	N = 4	0,116	0,006	0,117
Irsai Oliver	N = 8	0,108	0,018	0,111
Irsai Oliver U	N = 8	0,105	0,016	0,109

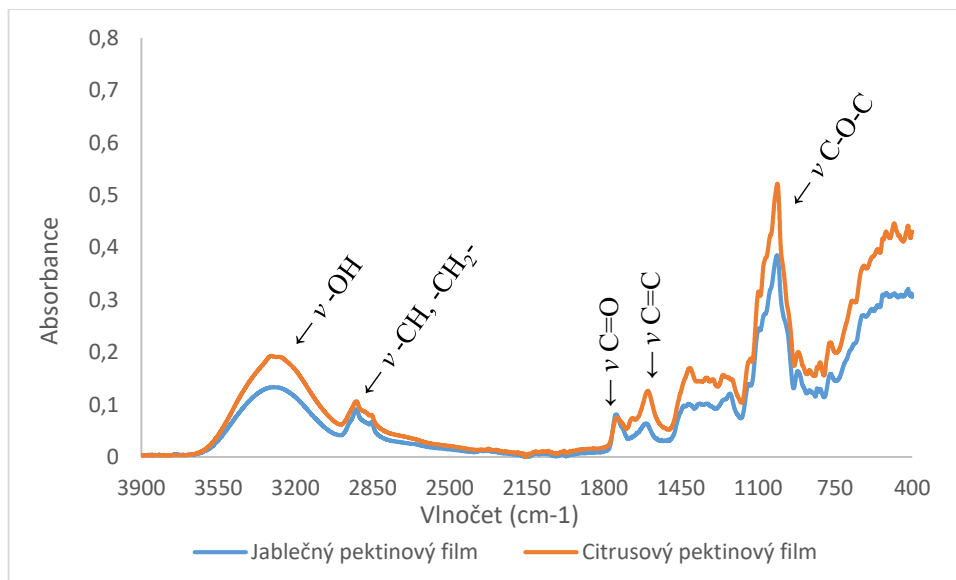
U, použit ultrazvuk

Příloha 2: Popisné statistiky jedlých jablečných filmů

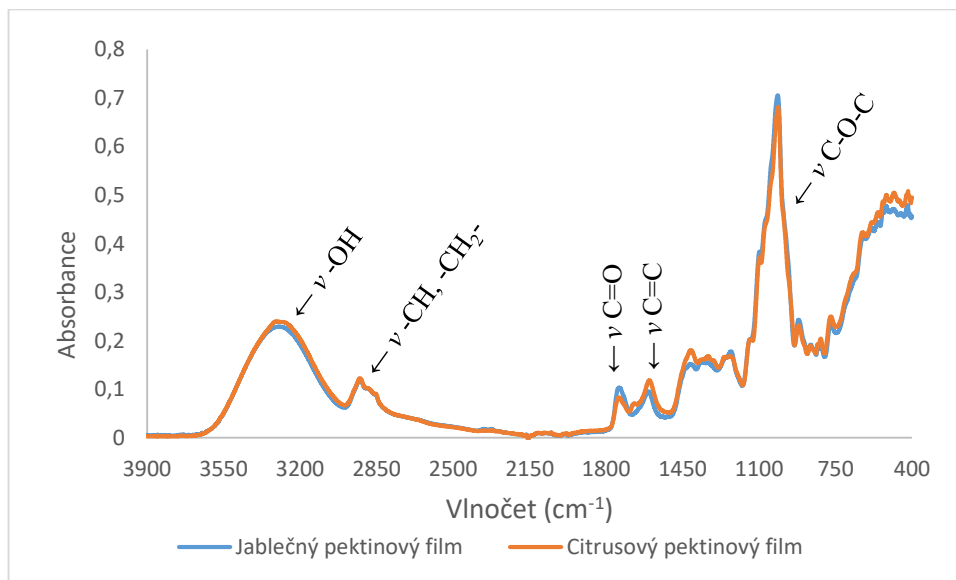
Jablko	Počet proměnných	Průměr	Sm. odch.	Medián
Slepý	N = 4	0,070	0,009	0,069
Slepý U	N = 4	0,063	0,009	0,063
Sauvignon	N = 4	0,112	0,011	0,109
Sauvignon U	N = 4	0,102	0,016	0,103
Irsai Oliver	N = 4	0,192	0,214	0,124
Irsai Oliver U	N = 4	0,112	0,009	0,110

U, použit ultrazvuk

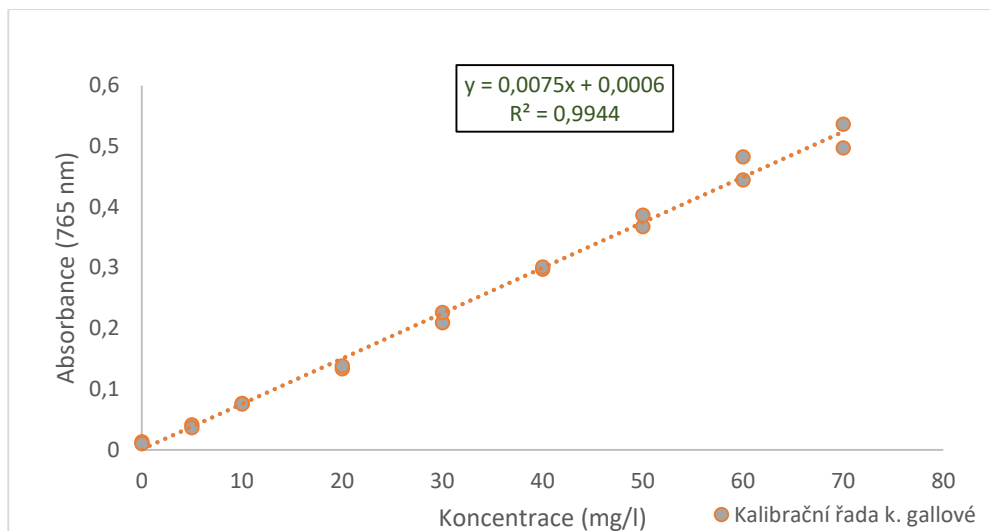
Příloha 3: ATR-FTIR spektrum filmů z extraktu Sauvignon s použitím ultrazvuku



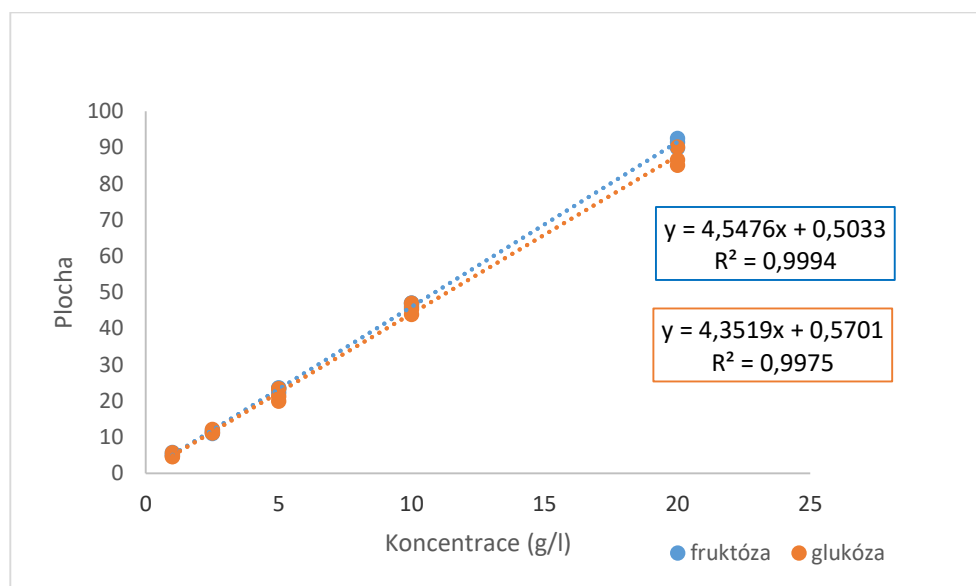
Příloha 4: ATR-FTIR spektrum filmů z extraktu Irsai Oliver s použitím ultrazvuku



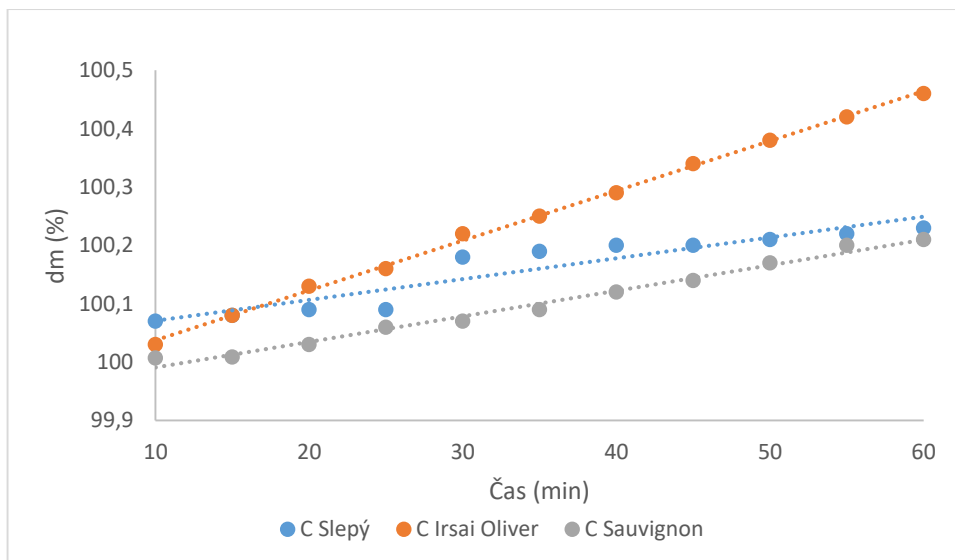
Příloha 5: Kalibrační křivka kyseliny gallové



Příloha 6: Kalibrační řada cukrů pro analýzu extraktů Sauvignon a Irsai Oliver



Příloha 7: Závislost změny hmotnosti citrusových filmů



Příloha 8: Závislost změny hmotnosti jablečných filmů

