

Využití biopolymerů jako obalových materiálů potravin

Bc. Jakub Brogowski

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav analýzy a chemie potravin

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub BROGOWSKI**
Osobní číslo: **T090253**
Studijní program: **N2901 Chemie a technologie potravin**
Studijní obor: **Technologie, hygiena a ekonomika výroby potravin**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Využití biopolymerů jako obalových materiálů potravin**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Charakterizace biopolymerů.
2. Technologie výroby biopolymerů.
3. Obalové materiály ve vztahu k potravinám.
4. Užité vlastnosti potravin.
5. Popis použitých experimentálních metod.

II. Praktická část

1. Příprava obalové fólie.
2. Skladování potravin za definovaných podmínek.
3. Stanovení vlivu skladovaných potravin na fyzikálně-mechanické a chemické vlastnosti použitých fólií.
4. Hodnocení vybraných užitečných vlastností skladovaných potravin.
5. Vyhodnocení výsledků z hlediska využití připravených a komerčně dostupných obalů.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. ELNASHAR, M. *Biopolymers*, Sciyo, Rijeka 2010
2. SEMENOVA, M. a DICKINSON, E. *Biopolymers in Food Colloids: Thermodynamics and Molecular Interaction*, VSP, 2010
3. RUDNIK, E. *Compostable Polymer Materiále*, Elsevier Science, 2008
4. K. MONTHANY, A., MISRA, M, T. DRZAL, L. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposite*, CRC Press, 2005
5. CHIellini, E., GIL, H., BRAUNEGG, G., BURCHERT, J., GATENHOLM, P., VANDER ZEE, M. *Biorelated Polymers – Sustainable Polymer Science and Technology*, Springer – Verlag , 2001

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Sedláček, Ph.D.

Centrum polymerních materiálů

Datum zadání diplomové práce:

11. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: JAKUB BRZDOWSKI.....

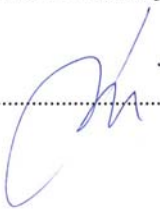
Obor: CHTP.....

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 24.4.2015.....

.....


¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá možností využití biopolymerů jako obalových materiálů potravin. Byl pozorován vliv vzorků folií na skladované potraviny a vliv skladovacích podmínek a skladovaného obsahu na obalový materiál. Srovnávány byly různé druhy folií, které byly udržovány v různých prostředích. Proměnou zde byla teplota a vlhkost. Konkrétně byl v časovém horizontu stanoven obsah kyseliny askorbové ve skladovaném ovoci resp. jeho úbytek. U folií byly pomocí tahové zkoušky, DSC, FTIR spektroskopie a paropropustnosti sledovány změny sledovány změny fyzikálně-mechanických vlastností. Výsledky naznačují zanedbatelný vliv bio polymerního obalového materiálu na obsahu vitamínu C během skladovacího procesu ve srovnání s běžně dostupnými produkty. U folií z biopolymerů byly zaznamenány nejrozsáhlejší strukturální změny v návaznosti na jejich dispoziční k degradaci.

Klíčová slova: biodegradabilní, skladování potravin, kyselina askorbová, obalový materiál, bio polymer, DSC, FTIR.

ABSTRACT

This thesis deals with the possibility of using bio polymer foils for food packaging. An effect of packaging material to the storage of fruit and influence of storage conditions on the packaging material. We compared the different types of films that were maintained in different environments. There was variable temperature and humidity. Specifically, the term determination of ascorbic acid in storage of fruits respectively his loss. The films were carried out the tests, DSC, FT IR spectroscopy and breathability. The results indicate a negligible effect organic polymeric packaging material to the content of vitamin C during the storage process in comparison with commercially available products. The films of organic polymeric materials have been reported most extensive structural changes in relation to their disposition to degradation.

Keywords: biodegradable, food storage, ascorbic acid, packaging materials, bio polymer, DSC, FTIR.

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Tomáši Sedláčkovi, Ph.D. za příkladné vedení, ochotu a pomoc při experimentech, trpělivost, věnovaný čas při zpracování této práce a také možnost práce v příjemném prostředí Centra polymerních systémů.

Dále bych rád poděkoval paní Ing. Aleně Kalendové, Ph.D. za pomoc při práci na FTIR, panu Ing. Robertu Moučkovi, Ph.D. za cenné rady ohledně stanovení paropropustnosti, panu Ing. Pavlu Valáškovu, CSc. za možnost pracovat v laboratořích Centra výzkumu potravin a paní Jaroslavě Řemenovské za její čas a trpělivost při práci na titračních stanoveních kyseliny askorbové.

V neposlední řadě bych rád poděkoval svým rodičům, dětem a především manželce za pochopení a psychickou oporu během studia.

„Vzdělání má hořké kořínky, ale sladké ovoce.“

Démokritos

Ve Zlíně.....

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 11 |
| 1 CHARAKTERIZACE POLYMERŮ | 12 |
| 1.1 PŘEHLED BĚŽNĚ POUŽÍVANÝCH POLYMERŮ V OBALOVÉM PRŮMYSLU | 12 |
| 2 BIOPOLYMERY | 14 |
| 2.1 PŘÍRODNÍ BIOPOLYMERY | 14 |
| 2.2 SYNTETICKÉ BIOPOLYMERY | 17 |
| 2.3 KOMBINOVANÉ (SMĚSNÉ) BIOPOLYMERY | 18 |
| 3 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ BIOPOLYMERŮ | 19 |
| 3.1 VYTLAČOVÁNÍ | 19 |
| 3.2 VÝTLAČNÉ VYFUKOVÁNÍ | 20 |
| 4 DEGRADACE POLYMERŮ | 21 |
| 5 OBALOVÉ MATERIÁLY VE VZTAHU K POTRAVINÁM | 23 |
| 5.1 OBALOVÉ PROSTŘEDKY PRO BALENÍ POTRAVIN A JEJICH ROZDĚLENÍ | 23 |
| 6 UŽITNÉ VLASTNOSTI OVOCE | 25 |
| 6.1 CHEMICKÉ SLOŽENÍ OVOCE | 25 |
| 6.2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ JAHOD..... | 27 |
| 6.3 JAHODNÍK (FRAGARIA L.) | 28 |
| 6.4 SKLADOVÁNÍ JAHOD..... | 28 |
| 6.5 VITAMIN C | 29 |
| 7 POPIS POUŽITÝCH EXPERIMENTÁLNÍCH METOD | 31 |
| 7.1 STANOVENÍ VITAMINU C | 31 |
| 7.2 FTIR SPEKTROSKOPIE | 33 |
| 7.3 STANOVENÍ RYCHLOSTI PROPUSTNOSTI PRO PLYNY U PLASTOVÝCH FÓLIÍ..... | 35 |
| 7.4 DIFERENČNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE..... | 36 |
| 7.5 TAHOVÁ ZKOUŠKA | 37 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 39 |
| 8 POUŽITÉ MATERIÁLY A PŘÍPRAVA VZORKŮ | 40 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 8.1 | TESTOVANÉ VZORKY | 41 |
| 8.2 | LABORATORNÍ VÝROBA FÓLIE | 42 |
| 8.3 | PŘÍPRAVA A SKLADOVÁNÍ VZORKŮ | 43 |
| 9 | VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH METOD..... | 45 |
| 9.1 | TITRAČNÍ STANOVENÍ VITAMINU C | 44 |
| 9.2 | STANOVENÍ PROPUSTNOSTI PRO PLYNY | 51 |
| 9.3 | FTIR SPEKTROSKOPIE | 56 |
| 9.4 | DIFERENČNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE (DSC)..... | 59 |
| 9.5 | TAHOVÉ ZKOUŠKY | 68 |
| 10 | ZÁVĚR..... | 72 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 74 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 78 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 81 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 82 |

ÚVOD

Polymery, jako obalový materiál, mají velký význam především v průmyslu, ale také v domácnostech jako sáčky nebo pytle a obchodech, kde hrají významnou roli při prodeji zboží. Jejich předností je poměrně nízká cena, nenáročné zpracování, částečná recyklovatelnost a také dobré mechanické vlastnosti. Problémem ovšem zůstává produkované množství takového materiálu, které postupně zaplavuje celý svět, což má negativní vliv na životní prostředí. Jednou z příčin je dlouhý degradační proces syntetických polymerů.

V posledních letech, je kladen stále větší důraz na ochranu životního prostředí, a proto dochází k progresivnímu vývoji polymerů s urychleným procesem degradace. Jedná se především různé o směsi polymerů, ale také polymery založené čistě na přírodní bázi. Vývoj těchto moderních materiálů je již na vysoké úrovni a v mnoha odvětvích se tyto tzv. biopolymery stávají běžným standardem. Mnohdy ovšem výběr použitého materiálu ovlivňuje finální cena či kvalita výrobku.

Biopolymery, jako alternativní surovina pro výrobu obalového materiálu, jsou zatím pro některé aplikace na rozdíl od syntetických polymerů méně vyhovující, což ale postupně mění rychlý vývoj a zdokonalování výrobních technologií. Společně s tím se vývojové skupiny snaží snížit i cenu těchto ekologicky šetrných materiálů.

Jedním z odvětví, které hojně využívá plastový materiál, zejména pro obalovou aplikaci, je potravinářský průmysl. Obaly zde hrají důležitou roli, jak v údržnosti potravin, tak v podobě marketingového nástroje podporující prodej baleného zboží.

Tato diplomová práce se zabývá charakterizací obalových materiálů na bázi různých typů polymerů pro balení potravin. Během skladovacího procesu v rozličných prostředích byly sledovány změny užitných vlastností potravin (obsah vitamínu C) a u obalového materiálu změny fyzikálně-mechanických vlastností.

Cílem této diplomové je zhodnocení vlivu použitého obalového materiálu na balené potraviny během skladovacího procesu a srovnání měnících se vlastností běžně používaných syntetických polymerů a ekologicky šetrnějších biopolymerů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CHRAKTERIZACE POLYMERŮ

Polymer je látka sestávající z molekul jednoho nebo více druhů atomů nebo skupin spojených navzájem do řetězcové struktury jejich. Dlouhá lineární řada vzájemně spojených atomů nebo skupin atomů představuje převažující strukturní motiv.

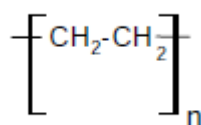
Makromolekuly jsou molekulové systémy složené z velkého počtu atomů vázaných chemickými vazbami do dlouhých řetězců. Tyto řetězce tvoří pravidelně se opakující části, které nazýváme stavební nebo monomerní jednotky (mery). Počet merů je udáván polymeračním stupněm n . Sloučeniny s nízkým polymeračním stupněm jsou nazývány oligomery, s vyšším polymeračním stupněm polymery. Polymery mohou také vznikat ze směsi dvou nebo více monomerů, pak hovoříme o kopolymeraci a vzniklou látku obvykle označujeme jako kopolymer. Polymery biologického původu nazýváme biopolymery nebo biomakromolekulární látky.

[1,3]

1.1 Přehled běžně používaných polymerů v obalovém průmyslu

- **Polyethylen (PE)**

PE je zástupce polyolefinické skupiny a konstrukčně se řadí k nejjednodušší termoplastickým polymerům, které mají všestranné využití v obalovém průmyslu. Vyrábí se polymerací ethenu a dělí podle struktury projevující se v hustotě na nízko hustotní polyethylen LDPE, vysoko hustotní polyethylen HDPE a lineárně nízko hustotní polyethylen LLDPE.



Obrázek 1: Strukturní vzorek PE

- **Kopolymer ethylen vinilacetát (EVA)**

Tento materiál se dobře kombinuje s jiným polymerem např. PVC/EVA. S přidavkem EVA stoupá krystalinita a s ní např. houževnatost, průzračnost nebo flexibilita výsledného výrobku.

- **Kopolymer ethylen vinylalkohol (EVOH)**

EVOH má dobré bariérové vlastnosti, především co se týče nepropustnosti kyslíku, díky čemuž se běžně používá v potravinářském průmyslu. Vzniká hydrolyzou EVA.

- **Polypropylen (PP)**

Krystalický polymer zařazený do skupiny polyolefinů s teplotou tání okolo 170 °C, podobný HDPE, s vyšší pevností a tvrdostí. Používá se často v automobilovém průmyslu. Vykazuje výborné elektroizolační vlastnosti.

- **Polyethylentereftalát (PET)**

Termoplastická hmota patřící do skupiny lineárních polyesterů. Má dobrou chemickou odolnost a výborné mechanické vlastnosti. Slouží jako obal pro většinu tekutých výrobků

- **Polvinylchlorid (PVC)**

Je velmi zajímavý pro vysokou odolností proti korozi a stárnutí. Použití převážně ve stavebnictví.

- **Polystyren (PS)**

Materiál z něj vyrobený je pevný, ale křehký. Všestranné použití jak v potravinářském průmyslu, tak v ostatních odvětvích.

- **Polyamid (PA)**

Zdravotně nezávadné polymery s výbornými bariérovými vlastnostmi. Z potravinářského hlediska jsou důležité výrobky vyfukováním, při kterém vznikají fólie, které se používají např. k balení masa, salámů apod.

[1, 2, 3]

2 BIOPOLYMERY

Biopolymery, které jsou výchozími látkami při výrobě biodegradabilních výrobků, rozdělujeme zpravidla podle původu:

- a) biopolymery přírodního původu
- b) biopolymery syntetické
- c) biopolymery kombinované

2.1 Přírodní biopolymery

Mezi přírodní polymery řadíme přírodní látky polymerního charakteru, vyskytující se v přírodě v živých organismech. Rozdělit je lze mezi čtyři základní typy jako jsou polysacharidy, bílkoviny, polypreny, nukleové kyseliny.

Biopolymery se vyznačují pravidelnou stavbou z několika přesně definovaných základních jednotek a mají také přesně definované prostorové uspořádání. Díky své chemické struktuře jsou biopolymery snadno biologicky rozložitelné a po splnění své funkce se rozpadají na fragmenty, které se vracejí zpět do látkového koloběhu. Výchozími látkami pro přípravu biodegradabilních materiálů jsou polysacharidy a bílkoviny.

[4, 5]

- **Polysacharidy**

Škrob

Škrob je polymerem glukosy a patří mezi větvené polysacharidy. Je syntetizován rostlinami jako rezervní látka (semena, hlízy) a je charakteristický dvěma primárními polymery, amylosou (lineární α -1,4-D-glukóza) a amylopektinem (α -1,4-D-glukóza s větvemi α -1,6-D-glukózy). Dále může obsahovat malé množství necukerných látek (např. esterově vázaná kyselina fosforečná). Škrob je v horké vodě rozpustný na koloidní roztok. Tento polysacharid je významný biodegradabilní materiál, který je zajímavý především z hlediska ceny a je dostupný jako přebytečný zemědělský materiál. Samotný škrob neposkytuje dostatečné vlastnosti zejména kvůli hydrofilnímu charakteru a malé mechanické pevnosti. Pro jejich zlepšení při zpracování škrobu je potřebné použít plastifikátory případně jiná aditiva.

[4, 5, 6]

Celulosa

Celulosa je primární stavební složkou stěn rostlinných buněk a je nerozšířenější biopolymerem, který na sebe váže víc než polovinu uhlíku přítomného v biosféře. Není rozpustná ve vodě a většině organických rozpouštědel. Ačkoliv je celulóza převážně rostlinného původu nachází se rovněž v některých bakteriích a v těle některých mořských strunatců

Z různých derivátů celulózy je nejvýznamnější především celofán. Celofán se vyrábí litím viskózy do vhodné srážecí lázně, kde přemění na celulózu. Z velkého množství derivátů celulózy je nutné uvést acetát celulózy, který se hojně využívá k výrobě drobných dílů v mnoha odvětvích. Velké využití má při výrobě cigaretových filtrů.

[6, 7, 8]

Chitin

Za základní stavební jednotku chitinu se považuje disacharid chitobiosa. V přírodě je chitin po celulóze druhou nejčastěji se vyskytující se organickou sloučeninou. Chitin je obsažen ve skořápkách krabů, raků, garnátů, škeblí a jiných vodních živočichů, kteří mají krunýř apod. Je nerozpustný ve vodě a v málo kyselém prostředí.

Chitosan

Chitosan se získává z bazicky katalyzované chemické deacetylace chitinůz odpadního materiálu korýšů a dále je také produkován suchozemskými houbami Zygomycete. Je ve vodě a organických rozpouštědlech rozpustný a nerozpustný v neutrálních a alkalických roztocích.

Oba polymery jsou při použití ve filmové a vláknité formě velmi ohebné, houževnaté a pro kyslík málo propustné materiály.

Pullulan

Extracelulární polysacharid produkován houbou *Aureobasidium pullulans*.

Je dobře rozpustný ve vodě a lisovaný má podobné vlastnosti jako polystyren

Dalšími méně významnými biopolymery ze skupiny polysacharidů jsou např. levan, konjac, esinan apod.

- **Bílkoviny**

Kolagen

Kolagen je extracelulární, ve vodě nerozpustná bílkovina, která je základní stavební jednotkou pojivových tkání. Molekula kolagenu je tvořena hlavně aminokyselinami, glycinem a prolinem. Kolagenová vlákna se vyskytují ve všech pojivových tkáních. Jsou měkká, ohebná, nepružná a vysoce pevná v tahu. Kolagen je produkován především buňkami vazů (fibroblasty), chrupavky (chondroblasty), kostí (osteoblasty), ale i epitelovými buňkami.

Hydrolyzovaný kolagen se nazývá želatina. Suroviny pro výrobu želatiny poskytuje nejčastěji jateční průmysl. Její využití je velmi široké. Hojně se využívá v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu, kde tvoří obal některých tablet. Jinak želatina nemá v obalovém průmyslu mnoho využití.

[6, 8]

Zein

Je ve vodě nerozpustný prolamin, vyskytující se v kukuřici. Je velmi odolný proti bakteriím a je jeden z nejznámějších proteinů a má široké využití. Nečastější se využívá při výrobě plastických hmot, lepidel, barviv, jedlých obalů pro potraviny.

[9]

Kasein

Je hlavní proteinem v kravském mléce, kde se vyskytuje v kaseinových komplexech a micel. Čistý kasein je nerozpustný ve vodě a slabých pufrách, je však rozpustný ve slabých alkáliích a v roztoku některých solí jako je šřavelan a octan sodný. S přísadky vhodných plastifikátorů se kasein stává polymerem, který může mít různé vlastnosti.

[7, 4]

Pšeničný gluten (lepek)

Hlavní elastický protein pšeničného zrna složený z monomerního gliadínu a polymerního glutenínu. Kromě přímého využití v potravinářském odvětví, je možné ho také uplatnit při výrobě plastů. Jsou z něj vyráběny nejrůznější transparentní a pevné filmy, s potenciálem využití v potravinářském průmyslu.

[10]

2.2 Syntetické biopolymery

Zdroje některých syntetických biopolymerů jsou ropa, případně fosilní média, které z ekologického hlediska nejsou tak zajímavé, jako přírodní zdroje biopolymerů, jelikož jsou vyráběny z neobnovitelných zdrojů.

- Polyamidy

Některé z již zmíněných polyamidů patří k biodegradabilním polymerům. Jako např. kopolymer skládající se z α -aminokyselin jako glycin, serin apod.

- Polyanhydridy

Obsahují hydrofobní řetězec s hydrolyticky nestabilními anhydridovými vazbami. Jejich zajímavou vlastností je kontrolované uvolňování.

- Polyvinylalkohol (PVA)

Ve vodě rozpustný polymer získaný zmýdelněním polyvinylacetátu. Odolný vůči organickým kyselinám ne však jejich vodným roztokům.

- Polyvinilacetát (PVAC)

Získává se emulzní polymerací z vinilacetátu. Vyznačuje se jako křehký polymer.

- Polyglykolová kyselina (PGA)

Nejjednodušší lineární polyester. Kvůli svému vysokému stupni krystalizace, není rozpustný ve většině organických rozpouštědel s výjimkou vysoce fluorovaných látek. Vlákna z PGA jsou pevná.

- Polymléčná kyselina (PLA)

Polymer kyseliny mléčné je lineární alifatický termoplastický polyester. Vyrábí se z rostlin, které obsahují škrob a to převážně z kukuřice. Přípravuje se polykondenzací kyseliny mléčné nebo katalytickou polymerací otvíráním kruhu laktidu. Jsou odolné vůči UV záření.

Další syntetické biodegradovatelné polymery jsou např. poly(ϵ -kaprolakton), polydioxany, poly(alkylen D-tartany), poly(orthoestery), polydioxany, polyuretany, polyfosfáty, polyakryláty aj.

[6, 11, 12]

2.3 Kombinované (směsné) polymery

Další ekologicky důležité materiály jsou kombinace obou výše popisovaných materiálů.

- Směsi s přírodními biopolymery

Nejčastější je tvoření směsí přírodních biopolymerů polysacharidů (deriváty škrobu a celulózy). Škrob se používá v kombinaci např. s polyvinylalkoholem nebo vinilacetátem. Tato směs se zpracovává litím na biodegradabilní film. Dále je pak možné mísit škrob s EVA a alifatickými polyestery (PCL). Je také možnost míšení škrobu a latexu, která je zpracována do granulí, kuliček či pasty a následně vytlačována a tvářena. Také se škrob používá ve směsi s polyesterem nebo polyamidem.

- Směsi se syntetickými biopolymery

Nejčastěji využívané jsou polyestery poly(ϵ ,kaprolakton) PLK, polymléčná kyselina (PLA) a polyhydroxybutyrát (PHB). [13]

3 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ BIOPOLYMERŮ

Zpracování polymerů je velmi rozmanité a můžeme je rozdělit:

- Zpracování polymerů tvářením - lisování, válcování, vytlačování, vstřikování, vyfukování, svařování, výroba vrstvených materiálů
- Zpracování polymerů tvarováním - orientace polymerů, tvarování za zvýšené teploty, tvarování za běžné teploty
- Zpracování polymerů na lehčené hmoty - mechanické napěňování, lehčení nadouváním, lehčení zplodinami chemické reakce složek polymerní směsi
- Zpracování polymerů na vlákna - zvlákňování roztoku (mokrý a suchý způsob), zvlákňování z taveniny, zvlákňování v plastickém stavu
- Zpracování polymerů v kapalném stavu – máčení, natírání, odlévání, lepidla

V této diplomové práci byly použity metody zpracování polymerů ze skupiny tváření a to vytlačování a výtlačné vyfukování, které jsou zde detailněji popsány.

3.1 Vytlačování

Tento způsob je nepoužívanější metodou pro výrobu obalových materiálů. Jedná se o nepřetržitý způsob tváření, při kterém je plastifikovaný polymer vytlačován tvarovacím nástrojem, tzv. výtlačnou hlavou do volného prostoru. Charakteristickými zařízeními pro zpracování termoplastů jsou šnekové vytlačovací stroje neboli extrudéry.

Při vytlačování termoplastů z granulátu nebo pelet jde zpracováváný materiál přes násypku, následně se pak taví a mísí většinou v jednošnekovém vytlačovacím stroji. Odsud směs při vytlačování folií postupuje do široko štěrbinové vytlačovací hlavy. Po výstupu z hlavy materiál již ve tvaru fólie přechází přes chladicí válec, leštící stolicí, na klandr do vodní lázně, jejíž teplota potažmo rychlost ochlazování má velký vliv na kvalitu připravované fólie.

3.2 Výtlačné vyfukování

Princip vyfukování folií spočívá v tom, že směs vytlačená ze šnekového vytlačovacího stroje je za tepla v plastickém stavu nafouknuta stlačeným vzduchem a zároveň protažena odtahovacím zařízením. Dále je pak chlazena a tvarována a ve formě širokého rukávce navinuta. Následovat mohou různé povrchové úpravy, řezání či potiskování. Běžně se používají 3 způsoby odtahu vyfukovaných fólií: dolní, vodorovný a nejčastěji používaný horní odtah. Tímto způsobem se vyrábí fólie o tloušťkách stěny od 0,015 mm až po 0,3 mm.

[1, 14, 15]



Obrázek 2: Vyfukovací linka

4 DEGRADACE POLYMERŮ

Při degradačních pochodech v plastických hmotách dochází ke změnám vlastností a to zpravidla na aktivních skupinách nebo může dojít až ke štěpení polymerní vazby hlavních řetězců makromolekuly.

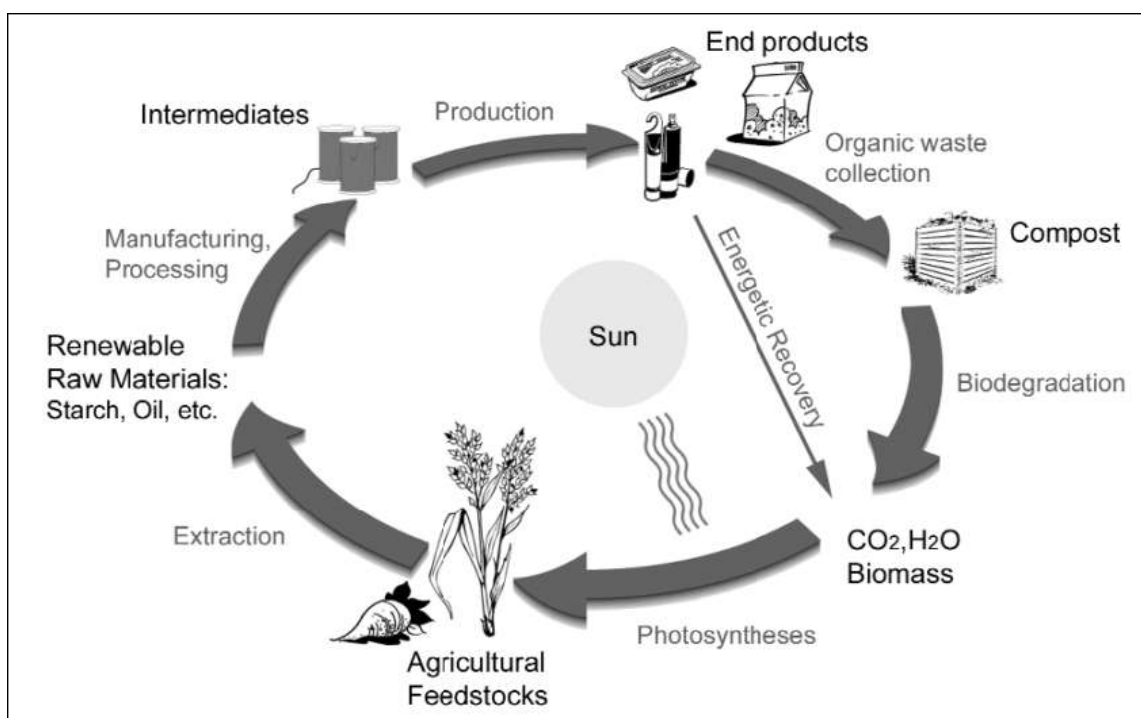
U biodegradabilních polymerů dochází k těmto změnám během jejich skladování, zpracovávání a používání. Často má na degradaci vliv vystavení povrchu polymeru světelnému záření, teplu, chladu nebo chemickým sloučeninám. Dále mohou mít na rozklad vliv mikroorganismy. Degradace může také působit uvnitř polymeru pomocí difúze vnějšího prostředí např. vlhkosti a naopak difúzí vnitřního prostředí polymer na povrch apod. Rozlišujeme základní degradační mechanismy:

- a) odštěpování nízkomolekulárních produktů jako ethylen, propylen, acetylen, methanol, methan, kyselina chlorovodíková, octová, mravenčí, vodík, oxid uhličitý aj., při kterém nedochází ke zkracování řetězce makromolekuly.
- b) náhodné štěpení řetězců, které je výsledkem homolytického štěpení vazeb v řetězci polymeru (tj. štěpení kovalentní vazby, při kterém se každému atomu spojeného vazbou přesune jeden elektron, který vazbu tvořil). Výsledkem této reakce je směs produktů o různém složení a různé velikosti relativní molekulové hmotnosti. Dochází ke štěpení polymerů na nízkomolekulární produkty.
- c) depolymerace se uplatňuje u polymerů, které nemají na kvartérním uhlíku vodík, např. polymethylmethakrylát nebo polytertafluorethylen. Monomer se uvolňuje od konce řetězce nebo v místě roztržení vazeb uhlík-uhlík. Řetězová reakce pak probíhá po celé délce řetězce zipovým mechanismem bez přenosu. K depolymeraci dochází u makromolekul, které neobsahují skupiny, které mohou chemicky reagovat při teplotách depolymerace, neobsahují vodík na kvartérním uhlíku nebo mají vysokou vazebnou energii. Polymery, které mají jeden substituent na alternujících (pravidelně se střídajících) uhlíkových atomech, podléhají tepelné destrukci jak mechanismem depolymerace, tak náhodného štěpení řetězce.

Podle toho jaký vliv na degradaci polymeru působí, je můžeme rozdělit:

- Fotodegradace - působením slunečním zářením
- Biodegradace - působením mikroorganismů např. bakterie, houby apod.
- Autooxidace - působením kyslíku
- Hydrolyza - působením činností vody
- Chemodegradace - působením chemickými látkami
- Tepelná degradace - působením zvýšení teploty
- Termooxidace - působením zvýšení teploty a přítomnost kyslíku

[16, 17]



Obrázek 3: Biodegradční cyklus

5 OBALOVÉ MATERIÁLY VE VZTAHU K POTRAVINÁM

Balení potravin představuje nezbytnou technickou operaci, která slouží především jako ochrana zboží resp. potravin před znehodnocením chemickým, fyzikálně-chemickým, biologickým, ale také mechanickým při skladování, přepravě a distribuci. U potravin pak obal zajišťuje zachování kvality, minimalizaci poškození a snížení aditivních látek.

Od obalů se očekává splnění tří základních úkolů:

- Chránit výrobek před znehodnocením
- Vytvořit manipulační jednotku přizpůsobenou hmotností, tvarem i konstrukcí požadavků přepravy, obchodu a spotřebitele
- Být prostředkem vizuální komunikace mezi výrobcem a zákazníkem

[18, 19]

Zásadním úkolem při balení potravin je ochrana potravin před znehodnocením. Z hlediska funkce obalu jako ochrany zboží jsou rozhodující zejména pevnost obalu, diferencovaná neprostupnost pro vodu a vodní páry, plyny, tuky, prach, odolnost proti chemikáliím a mikroorganismům. Neméně důležitá je odolnost balících materiálů před UV paprsky světelného záření nebo snadné čištění. Velmi důležitá je zdravotní nezávadnost potravinových obalů. [20]

Obalová technika v současné době disponuje širokou škálou obalových materiálů, které můžou zvýšit údržnost balené potraviny. Účinnost ochranné funkce obalu lze vyjádřit poměrem údržnosti balené potraviny k potravině nebalené. Srovnání jednotlivých obalových materiálů lze provést obdobně. U potravin, u nichž dochází k výměně plynů s okolím a vylučování vodní páry (ovoce, zelenina), se při použití nevhodného obalu jejich údržnost ve srovnání s nebalenou potravinou může zkrátit a naopak. [20, 21]

Pod pojmem obalové prostředky se skrývají obalové materiály jako takové a obaly s nich vyrobené. Dále sem tak můžeme řadit pomocné a doplňující obalové prostředky. [18, 19]

5.1 Obalové prostředky pro balení potravin a jejich rozdělení

Obecné rozdělení:

- přepravní
- skupinové

- spotřebitelské

Rozdělení z hlediska mechanických vlastností:

- měkké (papír, plastové fólie, tkaniny atd.)
- polotuhé (kartony, lepenky, tuhé plastové fólie atd.)
- tuhé (skleněné láhve, kovové plechovky atd.)

[18, 19]

Rozdělení podle látkového složení

- Obaly ze dřeva

Patří sem např. bedny sbíjené, skládací nebo sudy, kádě pro tekuté suroviny.

- Kovové obaly

Rozeznáváme tyto typy výrobků - ocelové konzervové plechovky, které se cínují z obou stran a hliníkové obaly a fólie.

- Skleněné obaly

Nejčastěji se využívá sklo nápojové a sklo konzervové.

- Obaly z tkanin

Pytle a žoky vyrobené z juty, koudelce nebo bavlny patří mezi osvědčené a používané přepravní obaly. Používají se výrobky známé jako pytle, žoky, a síťky.

- Obaly z papíru

Papír a lepenka mají v obalovém průmyslu nejdůležitější místo (cca. 50%). Výrobky jsou většinou v podobě sáčků nebo folií.

- Plastové polymerní obaly

Tento druh obalového materiálu má v potravinářství uplatnění jednak přímo jako obaly, ale i jako ochranné povlaky, lepidla a doplňkový materiál.

[18, 19, 22, 23]

6 UŽITNÉ VLASTNOSTI OVOCE

Ovoce jsou jedlé plody stromů, keřů a bylin.

Rozdělení ovoce:

- Jádrové ovoce (hrušky, jablka, kdoule, mišpule)
- Peckové ovoce (višně, švestky, třešně, meruňky, broskve)
- Bobulové ovoce (rybíz, angrešt, **jahody**, borůvky, hroznové víno, šípky, ostružiny)
- Suché skořápkové ovoce (vlašské a lískové ořechy, kokos, pistácie)
- Plody tropů a subtropů (citróny, pomeranče, mandarinky, ananas, banány, kiwi)

[24]

6.1 Chemické složení ovoce

- Voda

Základní složkou ovoce je voda (70-90%), zbytek ovoce je sušina. Zde plní funkci prostředí pro životní pochody, rozpouštědla pro látky, vyrovnávání teplotních rozdílů a také se účastní chemických reakcí.

V ovoci je přítomna především voda volná, ale také voda koloidně vázaná a voda hygroskopická (závislá na relativní vlhkosti vzduchu).

Volná voda je součástí tzv. šťávy ovoce a v ní jsou obsaženy ve vodě rozpustné látky jako jsou cukr, kyseliny apod. Snadno se z poživatiny vypařuje (přirozené ztráty potravin odpařováním), snadno též zmrzne.

Voda vázaná na koloidy je vázaná na bílkoviny, polysacharidy aj. Obtížně se odpařuje a vytváří tuhou strukturu potravin (při tepelném zpracování gely). [30, 32, 32]

- Sacharidy

Druhou neméně významnou složkou ovoce jsou sacharidy (5-15%), které tvoří téměř výhradně monosacharidy glukóza, fruktóza a proměnlivé množství sacharózy.

Z polysacharidů jsou přítomny škrob (látka rezervní), který se během zrání odbourává. Dále celulóza, hemicelulózy, jako strukturní polysacharidy buněčných stěn., pentózany a pektinové látky, které tvoří složku dužiny, jader, pecek a slupek a přeměnou propektinu na pektin ovoce během zrání měkne.

Některé druhy ovoce také obsahují cukerné alkoholy manit a sorbit vznikající redukcí karbonylové skupiny monosacharidů. [24, 30]

- Organické kyseliny

Organické kyseliny se v ovoci objevují volné nebo vázané a určují pH ovoce (3-4) a také jeho chuť. Nejčastěji zastoupenými kyselinami jsou, jablečná, citrónová, vinná, šťavelová, mravenčí a v nepatrném množství kyselina salicylová, jantarová a benzoová. Během zrání se obsah těchto kyselin snižuje a mění se také jejich vzájemný poměr. [30, 32]

- Dusíkaté látky

Dusíkaté látky (0,2-1%) obsažené v ovoci jsou bílkoviny, aminokyseliny, amidy, aminy, dusičnany atd. Technologicky nejdůležitější jsou bílkoviny, jakožto složky enzymů, všudypřítomné aminokyseliny jsou produkty štěpení bílkoviny a v neposlední řadě aminy, díky kterým může docházet k neenzymatickému hnědnutí. [30, 32]

- Lipidy

Lipidy jsou v dužnatém ovoci zastoupeny jen ve velmi malém množství (0,1-0,5%). U avokáda (16%), skořápkového ovoce (60%) je jejich obsah významnější. [24]

- Enzymy

Enzymy jsou bílkovinné katalyzátory všech biochemických reakcí. Každý enzym je účinný pouze v určitém rozmezí pH a je aktivován pouze za určité teploty. Při enzymovém hnědnutí se zúčastní fenoloxidas a peroxidasa dochází ke změně chuti, vůně a barvy. Vyskytují se u všech druhů ovoce s výjimkou jahod, citrusů a ananasu. [24, 32]

- Minerální látky

Obsah minerálních látek v ovoci kolísá podle druhu a odrůdy. Nejvíce se vyskytují ionty prvků K, Na, Mg, Ca, Cl, S, P a Si. Jsou zastoupeny i některé stopové prvky jako Cu, Mn, B. [24]

- Rostlinné fenoly

Rostlinné fenoly jsou obsáhlou skupinou látek, které se v ovoci vyskytují. Kromě jednoduchých fenolkarbonových kyselin se v ovoci vyskytují katechiny, leukoanthokyanidiny a leukoanthokyaniny, flavony a flavonoly, flavonony (jen u citrusového ovoce), antokyanidiny a antokyany, hydroksoičíková kyselina a hydroxykumariny (pouze u švestek a meruňek). Obsah fenolů v ovoci se pohybuje v rozmezí 0,1-1,0 %. Vyšší koncentrace katechinů

a leukoanthokyanidinů může ovlivnit chuť ovoce, může být až svíravá. Anthokyany se vyskytují ve všech druzích ovoce jako rostlinné barvivo. Převážně se nachází na vrchních vrstvách buněk, výjimečně je zbarvena celá buňka. [24, 33]

- Třísloviny

Třísloviny jsou složky rostlinného původu. Řadí se mezi polyhydroxyfenoly vykazující trpkou a svíravou chuť. Ovlivňují chuťové vlastnosti a barvu některých potravinářských surovin. [33]

- Těkavé aromatické látky

Přispívají k výrazné chuti a vůni ovoce. Pro specifické aroma jsou nejdůležitější estery a aldehydy. [24]

- Vitamíny

Často působí jako kofaktory enzymatických reakcí nebo regulátory životních pochodů. Jiné vitamíny mají uplatnění, jako antioxidanty. Na obsahu vitamínu se podílí celá řada faktorů - kyslík, teplota, světlo. Podle rozpustnosti rozlišujeme vitamíny rozpustné ve vodě (hydrofilní) - Vitamin A (Retinol), Vitamin D (Kalciferoly), Vitamin E (Tokoferoly), Vitamin K (Chinony) a rozpustné v tucích (lipofilní) - Vitamin A (Retinol), Vitamin D (Kalciferoly), Vitamin E (Tokoferoly), Vitamin K (Chinony)

. [32, 34]

6.2 Chemické složení jahod

Plody jahod v čerstvém stavu obsahují téměř 90% vody a 10% sušiny, dále 0,75-1,57 % organických kyselin, do 7,5-9% sacharidů, 0,068 – 0,128 % tříslovin a barviv, vitamin C, E, B1, B2, B6, PP. Z organických kyselin převládá kyselina jablečná, méně pak kyselina citrónová, chinonová, šťavelová, jantarová a salicylová. Pektinových látek obsahují 0,75 %. Z cukrů se vyskytuje nejvíce glukosa a fruktosa. Fenolové sloučeniny v plodech a listech jsou deriváty kvercetinu, kempferolu, anthokyanu. Z minerálních látek se vyskytují draslík, vápník, hořčík, fosfor, sodík, chlor. Dále obsahuje vitamíny skupiny B, velké množství vitamínu C, karoten (provitamin A), silice, aromatické estery aj. [29]

6.3 Jahodník (*Fragaria L.*)

Jahodník pochází z čeledi růžovitých (Rosaceae). Rostlina je tvořena listy, šlahouny, květními osami s květy a plody, kořenovým krčkem a kořenovou soustavou. Jahody se rozmnožují vegetativně. Nejvhodnější jsou pro ně otevřená slunečná místa. Je uvedeno, že existuje asi 3000 odrůd kulturního jahodníku.

Podle plodnosti rozlišujeme jahodník:

- Jednou plodící - odrůdy 'Adriana', 'Elvira', 'Kama', 'Dagmar', 'Korona', 'Tenira'
- Remontantní (dvou plodící) - odrůdy 'Evita', 'Lidka', 'Ostara'
- Měsíční - typickou odrůdou je 'Rujana'

[25, 26, 27]



Obrázek 4: Kvetoucí jahodník

6.4 Skladování jahod

Jahody se skladují pouze krátkodobě. Nejvhodnější teplota je +0,5 až +1,0 °C s relativní vlhkostí vzduchu 90%, tedy lednice. Při těchto skladovacích podmínkách vydrží některé odrůdy 7-14 dnů. [28]

6.5 Vitamin C

- Charakteristika vitaminu C

Kyselina L-askorbová, γ -lakton kyseliny 2-oxo-L-gulonové, známá jako vitamin C, je ve vodě rozpustný vitamin, který lze odvodit od několika různých hexos a patří tedy mezi sacharidy.

Kyselina askorbová vzniká z derivátů krevního cukru glukózy gulonolaktonu. Enzym, který zaručuje přeměnu výše zmíněného gulonolaktonu postrádá řada živočichů, mezi nimi i člověk. Proto je pro člověka velmi důležitý pravidelný přísun vitaminu C v potravě, který je pro jeho zdraví nepostradatelný.

Vitamin C je velmi účinný antioxidant působící v biologických tkáních. Podílí se na neutralizaci škodlivých volných kyslíkových a dusíkatých radikálů v organismu. Tyto radikály vznikají jako nežádoucí produkt látkové výměny a také jsou obsaženy v cigaretovém kouři a výfukových plynech. Volné radikály mohou v těle způsobovat nádorové a cévní nemoci, urychlují stárnutí buněk a poškozují genetický materiál. Také v potravinách působí jako antioxidant a zpomaluje stárnutí ovoce.

[35]

- Obsah vitaminu C v potravinách

Nejvyšší obsah vitamínu C má především čerstvé ovoce, zelenina, ale také čerstvé maso.

Obsah vitaminu C je přímo závislý na geografických podmínkách, způsobu skladování a tepelné úpravě atd.

- Výskyt vitaminu C

Přirozený vitamin C a látky s jeho obsahem se nachází ve formě polyaskorbátu kyseliny askorbové. Jeho účinek je ve srovnání se synteticky získanou kyselinou askorbovou trvalejší a mnohdy i odlišný.

[34, 35]

- Stabilita vitaminu C

Kyselina askorbová je jedním z nejméně stálých vitamínů. Nejvýznamnější jsou ztráty působením tepla, oxidací, světla a vlhkostí (výluhem).

Tepelná úprava ovoce zničí asi polovinu vitamínu C, což je způsobeno urychlením oxidace na kyselinu L-dehydroaskorbovou, která snadno otvírá laktonový kruh a následkem je ztráta biologické aktivity. Oxidaci vitamínu C urychlují také ionty kovu a enzymy.

Na uchování kyseliny L-askorbové má vliv celá řada vlivů, jako je pH, způsob opracování, skladování, teplota, množství kyslíku, přítomnost kovových iontů apod. Všeobecně platí, že čím je teplota zpracování nižší a čas kratší, tím více se kyseliny L-askorbové v potravíně zůstane.

[33, 35]

| Potravina | Obsah vitamínu C mg/100g | Potravina | Obsah vitamínu C mg/100g |
|-------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------------------|
| zelí bílé | 39 | pomeranč | 51 |
| zelí červené | 51 | mandarinky | 32 |
| květák | 69 | meruňky | 11 |
| kapusta | 70 | maliny | 24 |
| kapusta růžičková | 96 | kiwi | 71 |
| paprika | 150 | jahody | 87 |
| pažitka | 56 | jablka | 9 |
| nať petržele | 179 | hrušky | 4 |
| pórek | 24 | hroznové víno | 4 |
| rajčata | 25 | grep | 43 |
| čínské zelí | 36 | angrešt | 30 |
| kadeřávek | 57 | borůvky | 16 |
| křen | 120 | třešně | 10 |
| cibule | 43 | citron | 49 |
| brokolice | 114 | banány | 11 |
| okurka | 10 | švestky | 5 |
| jarní cibulka | 43 | rybíz černý | 166 |
| celer - nať | 89 | rybíz červený | 35 |
| celer | 8 | rybíz bílý | 44 |
| mrkev | 6 | šípky | 747 |

Tabulka 1: Množství vitamínu C ve vybrané zelenině a ovoci (mg/100g) [35, 37]

7 POPIS POUŽITÝCH EXPERIMENTÁLNÍCH METOD

7.1 Stanovení vitamínu C

Metod na stanovení obsahu vitamínu C a jeho forem je velmi mnoho. Hledají se i nové možnosti, modifikují se známé a ověřují původní metody titrační, chromatografické, fotometrické atd.

Na stanovení kyseliny askorbové se nejvíce používají titrační metody, z kterých převládá hlavně titrační metoda s 2,6 – dichlorfenolindofenolem jako titračním činidlem. V modifikacích metody je možné kyselinu askorbovou stanovit v barevných a zakalených vzorcích. Podobné výsledky dávají titrační metody s N – bromsukcinmidem (N – bromjantarimidem), i když použití v praxi je méně běžné. Dále je možné Tillmansovu metodu použít na stanovení kyseliny dehydroaskorbové a ostatních redukujících látek. Titrační stanovení kyseliny askorbové s metylenovou modří je méně specifické. Podobně je to s jodometrickým stanovením kyseliny askorbové. Dostatečně přesné výsledky se dosahují jen v čistých systémech.

Druhá skupina metod, která zaznamenává širší uplatnění, využívá barevných reakcí. Z kolorometrického stanovení nejznámější metoda, která využívá kondenzaci kyseliny dehydroaskorbové s 2,4 – dinitrofenylhydrazinem za vzniku oranžovočervených osazonů. Kyselina askorbová se stanoví až po šetrné oxidaci na kyselinu dehydroaskorbovou. Reakci narušují látky s karbonylovými skupinami, hlavně cukry. Jinak dává reakce velmi přesné výsledky. Tyto nedostatky se odstraní chromatografickým dělením osazonů. Fotometrické stanovení kyseliny askorbové metoxyderivátem nitranilinu je vhodné k analýze bezbarvých vzorků. U barevných vzorků citlivost klesá až na 10 – 15 % kyseliny askorbové. Fotometrická metoda modifikovaná Spanyolem je technicky jednodušší, ale není vhodná k analýzám intenzivně zbarvených a kalných vzorků. Fotometrická metoda se také používá při titrační metodě s 2,6 – dichlorfenolindofenolem v barevných vzorcích, kde se měří intenzita zbarvení vyextrahovaného titračního činidla organickým rozpouštědlem. Spektrofotometrické stanovení kyseliny askorbové má omezenou použitelnost a to pouze na čisté systémy. Polarografické stanovení kyseliny askorbové i přes její propracovanost se v potravinářské praxi příliš nepoužívá.

Nejpoužívanější metoda stanovení kyseliny askorbové je oxidoredukční titrace 2,6 – dichlorfenolindofenolem v různých úpravách. V podstatě se využívá oxidace kyseliny askorbové na kyselinu dehydroaskorbovou, přičemž modře zbarvený 2,6 – dichlorfenolindofenol přechází na bezbarvou leukobázi. První přebytečná kapka nezreagovaného dichlorfenolindofenolu indikuje bod ekvivalence.

Bod ekvivalence se zjišťuje buď vizuálně, elektrometricky, nebo fotometricky. Způsob se volí podle typu vzorku.

Důležitou operací při stanovení vitamínu C je příprava vzorku, která musí splňovat maximální ochranu proti ztrátám vitamínu v průběhu analytického zpracování. Hmotnost návnásky tuhých a kašovitých materiálů se pohybuje v rozmezí 200 – 300 g, a to podle předpokládaného obsahu vitamínu C v materiálu. Homogenizace se provádí mixováním vzorku, přičemž vzduch se z nádobky vytlačuje proudem CO₂ nebo dusíku. K vzorku se přidá kyselina metafosforečná (případně oxalová) tak, aby výsledná koncentrace neklesla pod 1 %. Tyto kyseliny mají funkci stabilizační hlavně pro kyselinu askorbovou. Pokud se použije kyselina oxalová, je třeba nejprve zjistit obsah železa ve vzorku, které snižuje její stabilizační účinek, zatímco kyselina metafosforečná je účinná i chemicky čistá. Homogenizovaný vzorek se přefiltruje, případně odstředí, aby se odstranili hrubé nečistoty ze vzorku, které by mohly ovlivňovat vyhodnocení. Kapalné vzorky (šťávy, extrakty) stačí probublat plynem a podle potřeby ředit kyselinou metafosforečnou nebo oxalovou. Příprava vzorku má být co nejkratší, maximálně 1 hodinu. Získaný filtrát se titruje některým z níže uvedených způsobů.

Přímá titrace s použitím vizuální indikace bodu ekvivalence. Metoda je vhodná pro stanovení vitamínu v bezbarvých nebo žlutě zbarvených vzorcích. Zpravidla se titruje roztokem 0,001 mol/l 2,6 – dichlorfenolindofenolu do růžového zbarvení, které se udrží nejméně 15 sekund. Zpočátku se doporučuje titrovat rychle a při dotitrování po kapkách za intenzivního míchání. Tím se do určité míry eliminuje vliv reduktonů, které reagují pomaleji. Pro výpočet se bere průměrná hodnota ze 3 titrací. Vlastní stanovení bodu ekvivalence vyžaduje určité zkušenosti. Vhodné je srovnávat stitrovaný vzorek se vzorkem před titrací, aby se lépe postřehl už nepatrný přebytek nezreagovaného titračního činidla. Mnohé přírodní materiály obsahují intenzivně barevné složky, které znemožňují vizuální indikaci bodu ekvivalence, hlavně proto, že zbarvení nespoteřovaného titračního činidla je v kyselém prostředí světle žluté. V přítomnosti červených anthokyanů je zbarvení dichlorfenolindofenolu překryté. Stejně tak některé karotenoidy a flavony mohou podstatně zhoršit přesné stano-

vení bodu ekvivalence. V takových případech se ke stanovení použije benzenová modifikace, nebo potenciometrické stanovení bodu ekvivalence.

Při benzenové modifikaci stanovení kyseliny askorbové, která byla použito v této práci, se orientačně přidává odstupňované množství titračního činidla ke stejnému množství vzorku. Pro promíchání obsahu zkumavek se přidá benzen, vzorek se intenzivně protřepe, případné pění se zamezí přidávkem oktylalkoholu. Do benzenové vrstvy se vyextrahuje nespotřebovaný 2,6 – dichlorfenolindofenol, zatím co přirozená barviva se neextrahují. Benzenové vrstvy se slijí do čistých zkumavek a porovnává se zbarvení s čistým benzenem. Vrstvy, které se barevně liší od srovnávacího benzenu, jsou přetitrovány. Podle toho se upravuje přídatek titračního činidla tak, aby se benzenová vrstva viditelně lišila od čistého rozpouštědla. Tato spotřeba se považuje za správnou a vypočítá se z ní obsah kyseliny askorbové. Kromě toho je možné postupovat i tak, že se vzorek přetitruje a intenzita přebytečného činidla se změní fotometricky např. pomocí spektrofotometru a z kalibrační křivky se zjistí množství nezreagovaného činidla a tato hodnota se odečte od celkové spotřeby. Fotometrické stanovení bodu ekvivalence benzenových extraktů je méně pracné než vizuální stanovení.

[38, 39, 40, 41]

7.2 FTIR spektroskopie

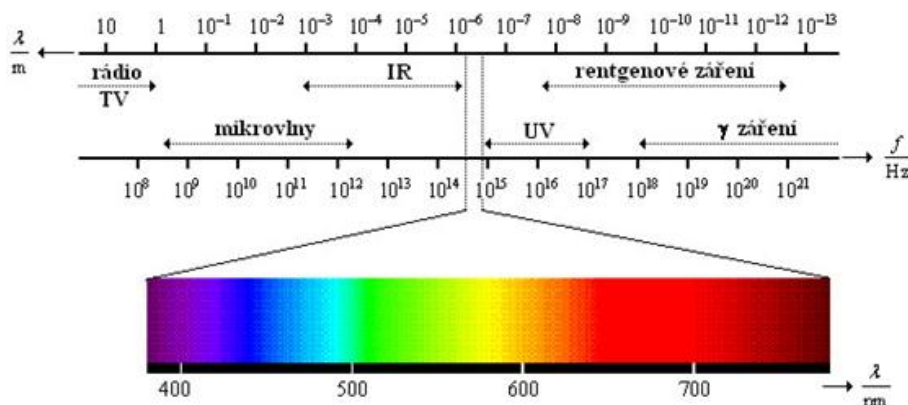
Infračervená spektroskopie je nedestruktivní analytická metoda určená především pro strukturní charakterizaci, k identifikaci hlavních komponentů či chemického složení vybraných materiálů organických i anorganických sloučenin. Je vhodná k analýze, jak kapalných, plynných, tak pevných vzorků jako jsou například polymerní fólie.

Metoda je založena na interakci infračervených paprsků s molekulou nebo její částí, která při průchodu vzorkem absorbuje část záření a následně dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly.

Infračervené záření je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek od 0,78 až 1000 μm a vlnočtů 12 820 až 3333 cm^{-1} .

Analytickým výstupem této metody je infračervené spektrum, které lze znázornit grafem kde je v závislosti energie, vyjádřená často jako transmitance T (%) nebo jednotkách absorbance A na vlnové délce dopadajícího infračerveného paprsku. Propustnost neboli

transmitance T je definována jako poměr intenzity záření, které prošlo vzorkem, k intenzitě vycházejícího ze zdroje. Absorbanci můžeme definovat na základě transmitance jako $-\log T$.



Obrázek 5: Spektrum elektromagnetického záření

Tuto metodu je možné rozdělit na dvě základní techniky použití, průchodové (transmisní) techniky a odrazové techniky.:

- Přímá transmisní technika

Jednou z možností měření pevných látek transmisní technikou v pevné fázi je prosté uchycení fólií do držáku a přímé měření. Měří se průchod záření vzorkem zachycené na detektor. Výhodou této techniky je její jednoduchost, nevýhodou je fakt, že tloušťka vzorku omezuje výběr vzorku. V případě silného vzorku, který absorbuje všechno záření, je nutné zvolit techniku ATR.

- Technika zeslabeného úplného odrazu (ATR)

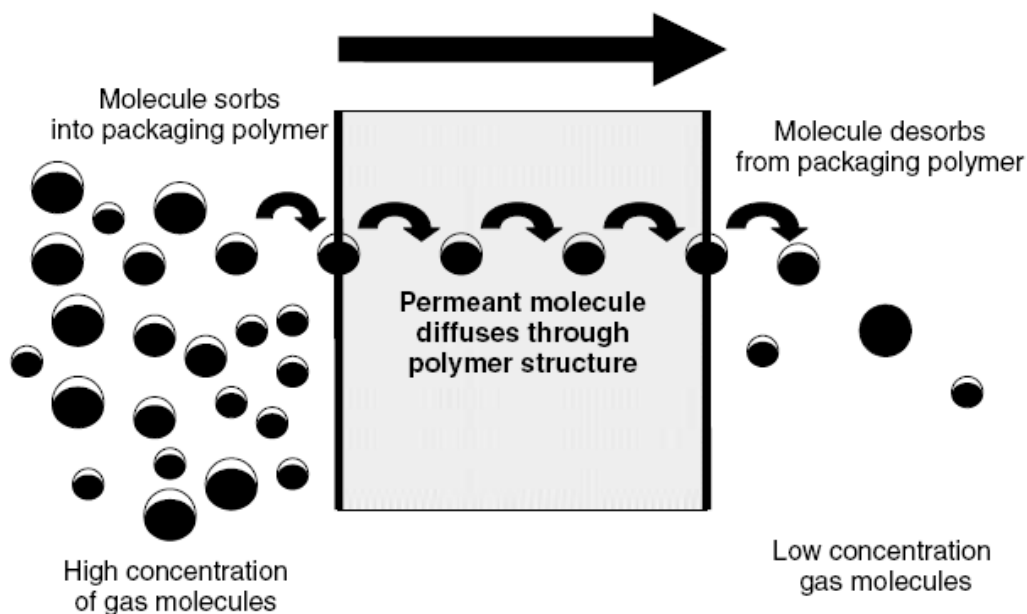
Tato technika je založena na principu jednoduchého či vícenásobného úplného odrazu záření na fázovém rozhraní měřeného vzorku a měřicího krystalu s dostatečně vysokým indexem lomu. Měřený vzorek musí být v dokonalém kontaktu s ATR krystalem kvůli dostatečnému průniku záření ve formě evanescentní vlny do vzorku. Pokud měřený vzorek absorbuje záření o určité frekvenci, pak tato složka bude v totálně odraženém záření zeslabena. Takto získané spektrum se do značné míry podobá spektru změřenému v transmisním režimu. Penetrační hloubka záření do povrchu vzorku je řádově v jednotkách μm , tzn. že charakterizujeme pouze velmi tenké povrchové vrstvy vzorkovaného materiálu, avšak vzhledem k možnosti vícenásobného odrazu na fázovém rozhraní získáme velmi kvalitní

spektrum, ekvivalentní transmisnímu spektru měřenému při tloušťce vzorku řádově desítek μm .

[41, 42, 43]

7.3 Stanovení rychlosti propustnosti pro plyny u plastových fólií

Většina plastových materiálů vykazuje určitou propustnost pro některé plyny, což představuje pro obalové aplikace polymerů nezanedbatelnou vlastnost, kterou je nutno zohlednit při výběru typu plastu pro některé obalové aplikace. Proces prostupu molekul plynů či jiných látek skrze daný materiál je nazýván permeace. Jedná se difúzní proces, jehož hnací silou jsou rozdílné koncentrace plynů (nebo kapalin) na obou stranách tělesa (v tomto případě plastové fólie).



Obrázek 6: Model permeace plynu

Rychlost prostupu permeantu je mírou bariérových vlastností daného obalového materiálu. Tato rychlost, R , je definována jako:

$$R = \frac{Q}{At}$$

Q je definováno jako množství prošlého permeantu, které prošlo plochou vzorku A za čas t .

Tloušťka materiálu společně s koncentrací permeantu ovlivňuje rychlost prostupu. Proto byl zaveden permeační koeficient, P , který kompenzuje vliv tloušťky l , tlakového rozdílu

Δp a umožňuje srovnání různých materiálů mezi sebou. Permeační koeficient nabývá tvaru:

$$P = R \times \frac{l}{\Delta p}$$

Jeho jednotka je [cm².s⁻¹.Pa⁻¹]

[3, 44, 45]

7.4 Diferenční snímací kalorimetrie

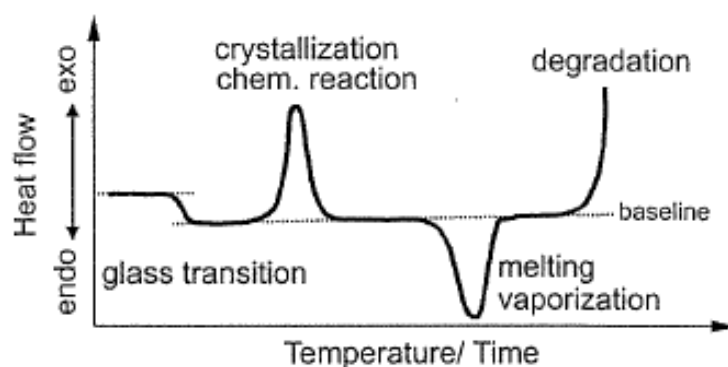
Jednou z metod termické analýzy je diferenční snímací kalorimetrie. Je to analytická metoda, jejíž podstatou je, že se zkoumaný vzorek i referenční vzorek zahřívají konstantní rychlostí pod kontrolovaným teplotním programem. Rozdíl teplot mezi zkoumaným a referenčním vzorkem je úměrný rozdílu tepelného toku, jenž je nutné dodat, aby teplota vzorku a standardu byla stejná.

Aplikuje se použití malých vzorků (miligramových), které jsou uloženy do kovových schránek snižující tepelný spád na minimum. Malá tepelná kapacita celého systému dovozuje použití velké rychlosti ohřevu (desítky K/min.) a zajišťuje velkou rozlišovací schopnost.

Fyzikální a chemické změny v materiálu, jsou spojeny změnami vnitřní energie.

Procesy, které zvyšují entalpii, jako je tání, vypařování a skelný přechod jsou endotermické, zatím co procesy, které entalpii snižují jako krystalizace, postupné vytvrzování, rozkládání jsou exotermické. Metodu je možné využít ke studii fázových přechodů, popisům reakční kinetiky, ke stanovení čistoty látek či identifikaci materiálů a zkoumání některých polymerů.

[46, 47]



Obrázek 7: Standardní tvar křivky DSC pro polymery

7.5 Tahová zkouška

Zkouška tahem při teplotě od 10-35°C je jednou ze základních a nejběžněji prováděnou zkouškou mechanických vlastností u většiny konstrukčních materiálu, tedy i u polymerních materiálů. Princip zkoušky spočívá ve statickém jednoosém zatěžování zkušebního tělesa, které je pevně upnuto ve zkoušecím zařízení. Konec měření značí porušení (přetržení) měřeného tělesa nebo okamžik, kdy napětí v tahu nebo protažení dosáhnou předem zvolené hodnoty.

Za předpokladu, že zkoušený materiál je izotropní, tak by napětí v tahu bylo rozloženo po celém průřezu tělesa rovnoměrně. Tento ideální stav však v praxi neexistuje, a to v důsledku anizotropie. Vlastnosti plastů se v různých místech liší a při takovém namáhání je napětí v tahu rozloženo po průřezu nerovnoměrně.

Výsledkem tahové zkoušky je pracovní digram. Pracovní diagram jako grafické znázornění značí závislost napětí na poměrném prodloužení měřené části zkušebního tělesa. U každého polymerního materiálu je výsledkem odlišný digram.

Tahovou zkouškou lze stanovit veličiny charakterizující tahové vlastnosti polymerů, jsou to např.:

- **Mez pevnosti v tahu (MPa)** - je definována jako napětí nutné k přetržení zkušebního vzorku vztahované na původní průřez zkušebního tělesa
- **Poměrné prodloužení** - je dáno poměrem změny délky k původní délce zkušebního tělesa
- **Tažnost (%)** - je poměrné prodloužení v procentech počáteční délky

- **Youngův modul (MPa)** - materiálová konstanta, která čím je vyšší, tím je materiál pevnější

[48, 49, 50]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 POUŽITÉ MATERIÁLY A PŘÍPRAVA VZORKŮ

8.1 Testované vzorky

- Fólie

Pro experiment byly vybrány běžně vyráběné komerční PE folie rozdílného materiálového složení.

Jednalo se o vzorek fólie vyrobený na základě nízko hustotního polyetylenu získaný ve firmě Granitol a.s. sídlící v Moravském Berouně. Folie o tloušťce 50 μm , použitý materiál 100% Bralen FB 2 17 od firmy Slovnaft. Tento vzorek byl v experimentu označený jako **LDPE**.

Další byla použita fólie z vysoko hustotního polyetylenu známá jako mikroten, získaná taktéž ve firmě Granitol. Tloušťka fólie 20 μm , použitý materiál 98% Liten FB 85, výrobce Unipetrol a 2% pigment POLI-CH White 161 od Global Colors Polska. Tento vzorek byl v experimentu označený jak **HDPE**.



Obrázek 8: Některé výrobky firmy Granitol a.s.

Třetím vzorkem byla fólie označená jako oxodegradabilní, původem opět z firmy Granitol. Základem folie je vysoko hustotní polyetylén s přidavkem prooxidantu na bázi manganu. Tloušťka folie 20 μm , použitý materiál 96,5% Hostalen ACP 9255 PLUS od Lyondell-Basell Polymers, 1,5% degradabilní složka Addiflex HES, výrobce Omya Czech Republic a 2% pigment POLI-CH White 161 do Global Colors Polska. Tento vzorek byl v experimentu označený jak **OXO**.

Předposledním zkoumaným vzorkem byla tzv. kompostovatelná fólie o tloušťce 20 μm . Složení 100% biologicky rozložitelný termoplastický materiál vyrobený na bázi kukuřičného škrobu a biologicky rozložitelných kopolyesterů na bázi polyglykolové kyseliny Mater-bi CF05S od společnosti NOVAMONT. Tento vzorek byl v experimentu označený jak **BIO**.



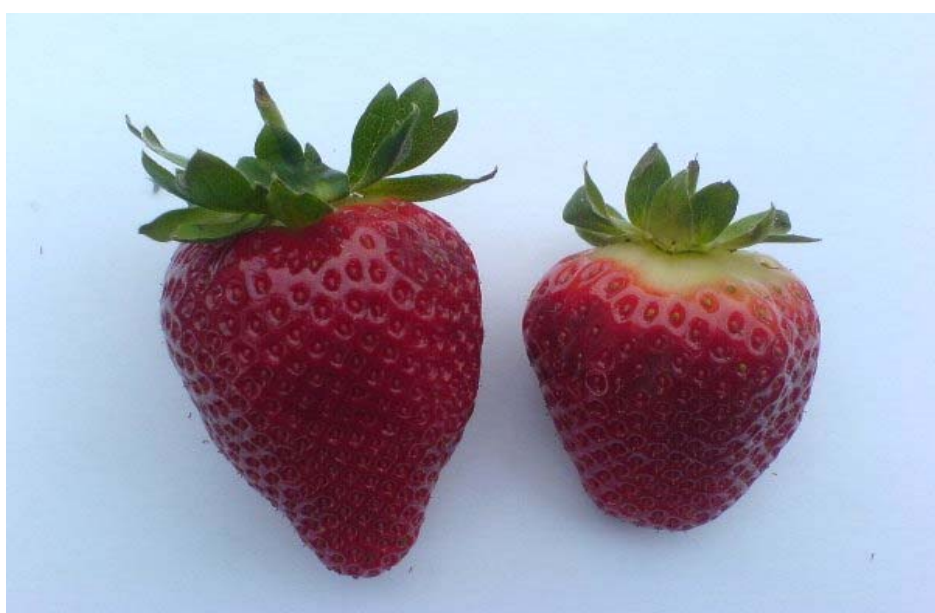
Obrázek 9: Granule materiálu Mater-Bi® CF05S

Jako poslední byl použit vzorek folie vyrobený speciálně pro tento experiment v laboratorních podmínkách Technology park Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Byla připravena kompostovatelná fólie z granulátu na bázi kyseliny polymléčné o tloušťce 50 μm ze 100 % PLA Polymer 2002D, výrobce Nature Works. Tento vzorek byl v experimentu označený jako **2002**.

- **Ovoce**

Na místním tržišti byly zakoupeny jahody odrůdy Sabrosa dovoz ze Španělska. Poloraná odrůda španělského původu ve světě známa pod synonymem Candonga a Placartfre.

Pevné a velké plody, které je potřeba sklízet zcela zralé. Především ve Španělsku se pěstuje ve velkém množství. Plody jsou kuželovitého tvaru s výraznou špičkou, tmavě červené barvy. Kalich se dobře odděluje, chuť je středně sladká, málo aromatická.



Obrázek 10: Jahody odrůdy Sabrosa

8.2 Laboratorní výroba fólie 2002

V laboratoři byl připraven vzorek fólie na laboratorní vytlačovací lince, skládající se z Extruderu BOCOMATIC EB 30 o průměr šneku 30 mm, hlavy, se štěrbinou o šířce 27 cm navazující pod úhlem 45° a 3 válcového odtahu s navíjecím zařízením.

Pro výrobu této fólie byl použit granulát, který byl vysušen po dobu 3 hodin za teploty 60 °C. Fólie byla vyrobena v tloušťce 50 um. Teplota taveniny se pohybovala v jednotlivých zónách extruderu od 215°C do 195°C při otáčkách šneku 22 ot./min. Teplota hlavy byla 190°C. Teploty na válcích odtahu byly nastaveny na 40°C a rychlost odtahu byla 4 m/min.



Obrázek 11: Laboratorní vytlačovací linka

8.3 Příprava a skladování vzorků

První sada vzorků, která sloužila ke stanovení vlivu ovoce (jahod) na obalový materiál (fólie) v čase a za určitých podmínek, byla skladována ve třech prostředích. V lednici, při teplotě 6 °C, relativní vzdušné vlhkosti 90% (vzorky označené jako N), dále pak při pokojové teplotě 21-23 °C, relativní vzdušné vlhkosti 35% (vzorky označené jako N) a nakonec v extrémních podmínkách, imitující tropické klima, v inkubátoru při teplotě 45 °C, relativní vzdušné vlhkosti 75% (vzorky označené jako T). Z fólií byly připraveny pomocí svářecího zařízení sáčky, které byly naplněny dřeví z jahod. Takto připravené vzorky byly skladová-

ny pod dobu 2 měsíců. Každých 14 dní z nich byla odebírána část fólie, která byla následně podrobena analýzám ve vztahu k fólii.

Druhá sada vzorku byla připravena pro stanovení vlivu fólie a skladování na obsah vitamínu C v ovoci. V tomto případě bylo ovoce v celku po kusech jednotlivě zabaleno do použitých fólií, které byly opět svařeny do malých sáčků a označeny podle plánované doby uskladnění. Před uzavřením každého sáčku byl pomocí odsávacího zařízení odstraněn vzduch. Tyto vzorky byly uskladněny pouze v prostředí lednice při teplotě při teplotě 4 °C po dobu 3. týdnů, poté už docházelo ke značné degradaci plodu. V týdenních intervalech byly odebíraný a měřeny hodnoty vitamínu C v jednotlivých vzorcích.

9 VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH METOD A POSTUPŮ

9.1 Titrační stanovení vitamínu C

- **Použité chemikálie a zařízení**

UV-Vis spektrometr Perkin-Elmer Lambda 25, digitální váha KERN, elektrická míchačka, pipety, odměrné baňky, titrační sestava, kádinky, filtrační sestava, kys. šťavelová, 2,6-dichlorfenolindofenol, benzen, kys. L-askorbová, třecí misky, mořská sůl.

- **Pracovní postup**

Ve třecí misce bylo důkladně rozetřeno asi 10 g vzorku jahod s mořským pískem. K rozetřenému vzorku bylo přidáno 30 ml 2 % hmot. kyseliny šťavelové a nechalo se 15 minut stát tak, aby byl vzorek co nejméně vystaven světelným paprskům. Získaný extrakt byl zfiltrován a k titraci byl odpipetován jeho alikvotní podíl 10 ml.

Před vlastním stanovením se určil titr odměrného roztoku 2,6-dichlorfenolindofenolu o koncentraci 0,0001 mol.l⁻¹ na standardní roztok kyseliny L-askorbové o složení 1 mg.ml⁻¹. Titr (t) představuje hmotnost kyseliny L-askorbové v mg, která odpovídá 1 ml odměrného roztoku. Do titrační baňky se odpipetují 2 ml standardního roztoku kyseliny L-askorbové a 5 ml 2% hmot. kyseliny šťavelové a rychle se titrovalo odměrným roztokem 2,6-dichlorfenolindofenolu do růžového zbarvení, které se neměnilo alespoň 5 s. Poté bylo přidáno 5 ml benzenu a intenzivně míchána 60 s směs byla 120 s ponechána k rozdělení vrstev benzenu a kys. Dále byla odpipetována benzenová vrstva, která byla použita k měření absorbance roztoku dichlorfenolu při vlnové délce 495 nm, jako přebytek při titraci.

Stejným postupem se provedl i slepý pokus, přičemž se 2 ml standardního roztoku kyseliny L-askorbové nahradily 2 ml roztoku kyseliny šťavelové. Výsledek slepého pokusu se odečetl od objemu barviva spotřebovaného při stanovení titru. Z filtrátu získaného po extrakci kyseliny L-askorbové ze vzorku, se odpipetovalo 10 ml do titrační baňky a rychle se titrovalo odměrným roztokem do růžového zbarvení, které se neměnilo alespoň 5 s. Poté bylo postupováno stejně jako v případě měření titru.

K vytvoření kalibrační křivky k výpočtu přebytku 2,6-dichlorfenolindofenolu v benzenu bylo zapotřebí titrovat 5 ml benzenu daným množstvím odměrného roztoku.

- **Výpočet**

Nejprve bylo potřeba sestavit kalibrační křivku benzenu a vypočítat regresní rovnici pomocí software Excel. Do této rovnice byla za hodnotu y dosazena absorbance z jednotlivých měření. Vypočtená hodnota x , představovala přebytek v ml dichlorfenolu v benzenu u každého měření. Spočítané přebytky v ml byly odečteny od celkové neměřené spotřeby v ml dichlorfenolu u jednotlivých měření a tyto spočítané spotřeby v ml byly dosazeny do výpočtů níže, jako spotřeba odměrného roztoku při stanovení titru udávající hmotnost kyseliny L-askorbové v ml.

Titř odměrného roztoku 2,6-dichlorfenolindofenolu udávající hmotnost kyseliny L-askorbové v mg odpovídající 1 ml odměrného roztoku se vypočte ze vztahu:

$$t = \frac{VA \cdot cA}{a - s}$$

VA....objem standardního roztoku kyseliny L-askorbové vzatý k titraci (ml)

cA....koncentrace standardního roztoku ($1 \text{ mg} \cdot \text{ml}^{-1}$)

a.....spotřeba odměrného roztoku při stanovení titru (ml)

s.....spotřeba odměrného roztoku při slepém pokusu (ml)

Obsah kyseliny L-askorbové X vyjádřeny v mg na 100g vzorku se vypočte:

$$X = \frac{(b - s) \cdot t \cdot 100}{m}$$

b.....spotřeba odměrného roztoku při stanovení vzorku (ml)

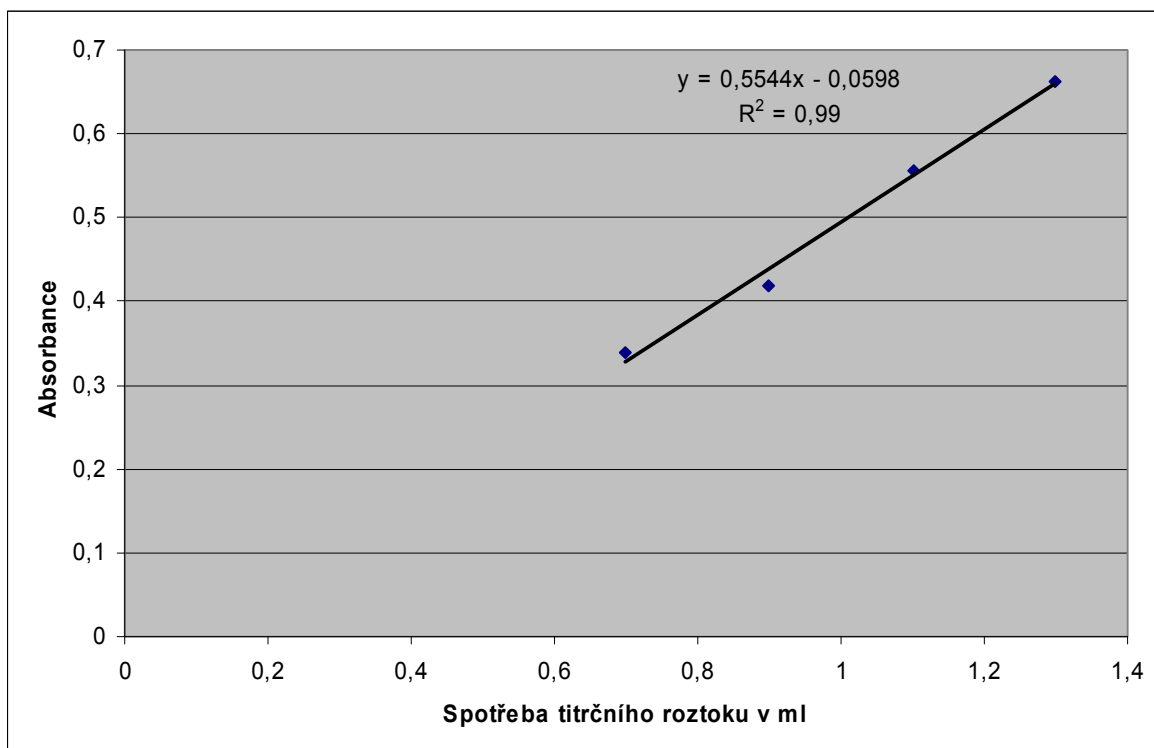
t.....titř

m.....hmotnost vzorku v alikvotní části, která byla titrována (g)

- Vyhodnocení dat

| Spotřeba titračního roztoku (ml) | Absorbance |
|----------------------------------|------------|
| 0,7 | 0,33994 |
| 0,9 | 0,418315 |
| 1,1 | 0,55661 |
| 1,3 | 0,66344 |

Tabulka 2: Hodnoty pro sestavení kalibrační křivky



Graf 1: Kalibrační křivka

Regresní rovnice:

$$y = 0,5544x - 0,0598$$

$$x = y + 0,0598/0,5544$$

x.....přebytek dichlorfenolu v benzenu

y.....absorbance jednotlivých měření

| | Absorbance | Celková spotř. odměr. roztoku (ml) | Přebytek odměr. rozt. v benzenu (ml) | Reálná spotřeba odměr. roztoku (ml) |
|--------------------|-------------------|---|---|--|
| Titř | 0,1441 | 3,39 | 0,25 | 3,14 |
| Slepý pokus | 0,1391 | 0,34 | 0,25 | 0,09 |

Tabulka 3: Výpočet spotřeba odměrného roztoku při stanovení titru a slepého pokusu

| | Absorbance | Celková spo- třeba odměr. roztoku (ml) | Přebytek odměr. roztoku v benzenu (ml) | Reálná spo- třeba odměr. roztoku (ml) |
|----------------|-------------------|---|---|--|
| čerstvá jahoda | 0,62512 | 7,5 | 0,73 | 6,77 |
| LDPE 1. týden | 0,6159 | 5,66 | 0,72 | 4,94 |
| LDPE 2. týden | 0,5240 | 2,48 | 0,63 | 1,85 |
| LDPE 3. týden | 0,3802 | 1,08 | 0,49 | 0,59 |
| HDPE 1. týden | 0,3886 | 5,56 | 0,50 | 4,7 |
| HDPE 2. týden | 0,3784 | 4,65 | 0,49 | 3,9 |
| HDPE 3. týden | 0,2014 | 0,77 | 0,60 | 0,3 |
| OXO 1. týden | 0,3456 | 5,93 | 0,45 | 5,48 |
| OXO 2. týden | 0,3788 | 4,46 | 0,49 | 3,97 |

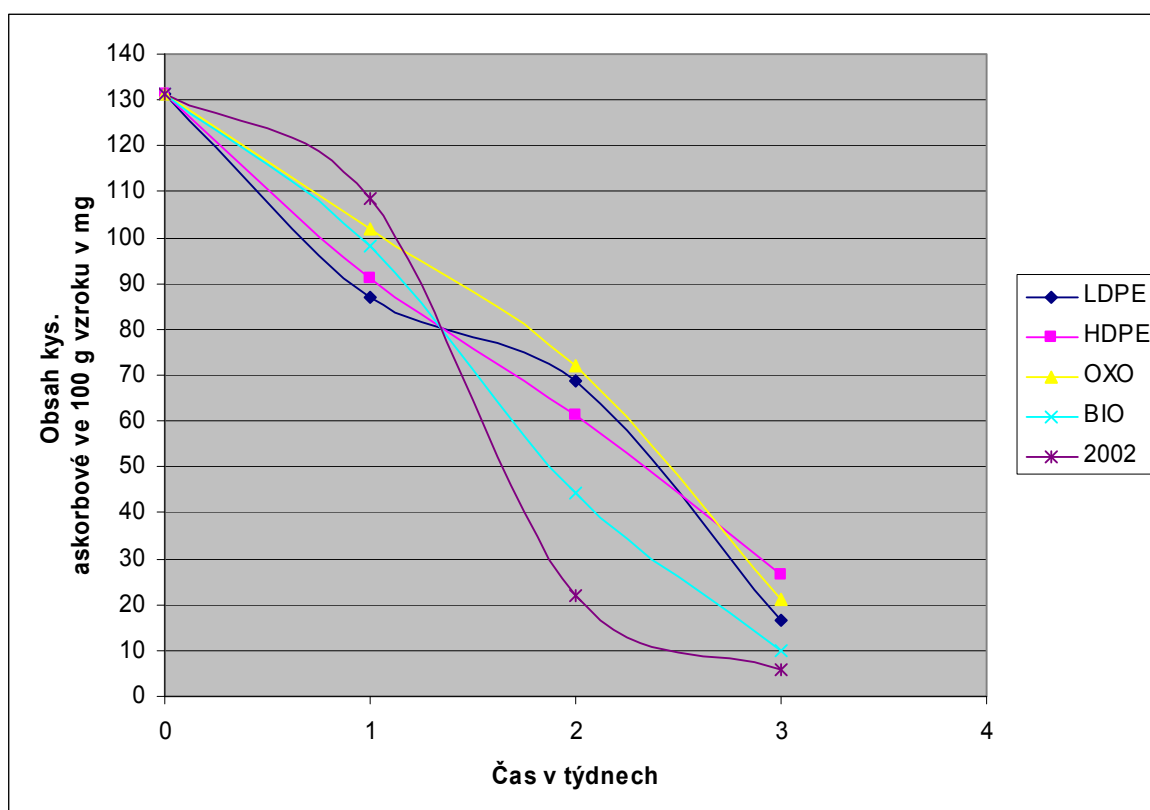
| | | | | |
|---------------|--------|------|------|-------------|
| OXO 3. týden | 0,4963 | 2,08 | 0,60 | 1,48 |
| BIO 1. týden | 0,3193 | 5,7 | 0,43 | 5,27 |
| BIO 2. týden | 0,5346 | 3,33 | 0,64 | 2,69 |
| BIO 3. týden | 0,5643 | 2,48 | 0,67 | 1,81 |
| 2002 1. týden | 0,4083 | 6,39 | 0,52 | 5,87 |
| 2002 2. týden | 0,3980 | 1,94 | 0,51 | 1,43 |
| 2002 3. týden | 0,1410 | 0,63 | 0,25 | 0,38 |

Tabulka 4: Výpočet spotřeby odměrného roztoku jednotlivých měření

| | Obsah kys. askorbové ve 100 g vzorku (g) |
|----------------|---|
| čerstvá jahoda | 131,148 |
| LDPE 1. týden | 95,219 |
| LDPE 2. týden | 34,554 |
| LDPE 3. týden | 9,816 |
| HDPE 1. týden | 97,575 |
| HDPE 2. týden | 75,470 |
| HDPE 3. týden | 10,013 |
| OXO 1. týden | 105,821 |
| OXO 2. týden | 76,176 |
| OXO 3. týden | 27,290 |
| BIO 1. týden | 101,698 |
| BIO 2. týden | 51,045 |
| BIO 3. týden | 33,769 |

| | |
|---------------|----------------|
| 2002 1. týden | 113,478 |
| 2002 2. týden | 26,308 |
| 2002 3. týden | 5,694 |

Tabulka 5: Obsah kyseliny askorbové ve 100 g vzorku pro jednotlivá měření



Graf 2: Grafické znázornění klesajícího obsahu kyseliny askorbové v závislosti na čase pro jednotlivé typy použitých fólií

Z grafu je jednoznačný úbytek kyseliny askorbové v čase, kdy nepříliš důležitou roli sehrál použitý obalový materiál. Trend úbytku vitamínu C je u většiny testovaných fólií velmi podobný. Z výsledků je možné konstatovat, že mírné vychýlení z trendu je možné zaznamenat u fólie BIO a výraznější pak u fólie 2002, která byla vyrobena z PLA polymeru.

9.2 Stanovení propustnosti pro plyny u folií

- **Použité chemikálie a zařízení**

Filtrační papír, nůžky, stopky, laboratorní teploměr a vlhkoměr, tloušťkoměr, rotační vývěva Edwards, Vakuometr DR2, měřicí cela.

- **Pracovní postup**

Před začátkem měření byla zaznamenána aktuální teplota (296,15 K), vlhkost (41%) a atmosférický tlak v laboratoři (99 100 Pa). Z plastové fólie byl vystříhnut vzorek o průměru cca 7,5 cm a z filtračního papíru byl vystříhnut kruh o průměru 3 cm. Takto připravený vzorek byl spolu s filtračním papírem umístěn do měřicí cely, která se skládá ze dvou komor. Komora č. 1 obsahuje plyn (vzduch), který bude použit pro měření. Komora č. 2, o objemu 5,16 cm³, byla hermeticky uzavřena. Pomocí vývěvy byla komora č. 2 evakuována a na připojeném vakuometru v komoře č.2 byly ve stanovených intervalech 30 s, 60 s, 90 s, 120 s, 180 s, 300 s, 600 s, 900 s, 1200 s, 1500 s, 1800 s, 2100 s, 2400 s odečteny hodnoty stoupajícího tlaku.

Pro tento experiment byly odebrány vzorky folií před skladovacím procesem, u kterých byla změřena propustnost. Dále byly změřeny vzorky folií, které byly 2. měsíce vystaveny vlivům skladovacího procesu a skladovaného obsahu. Vzhledem k časové náročnosti celého procesu měření byla ke srovnání použita pouze řada vzorků, které byly skladovány v extrémních podmínkách inkubátoru označené jak T atd.

- **Výpočet**

Byl sestaven graf odečtených tlaků, dosazujte hodnoty v Pa na čase v sekundách. Z vynešené závislosti byl zvolen úsek, který je lineární a byla spočítána směrnici ve zvoleném čase t (dp/dt), která byla poté dosazena do rovnice pro rychlost propustnosti daného vzorku pro plyny R_T .

$$R_T = \frac{T_0}{T} \cdot \frac{1}{P_0} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{V + V_K}{P - p} \cdot \frac{dp}{dt}$$

R_TRychlost propustnosti skrze vzorek pro daný plyn ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$)

T_0273,15 K

Tteplota, při které je měření prováděno (K)

P_0normální atmosférický tlak $101,325 \times 10^3$ (Pa)

A plocha pracovní oblasti vymezena vnitřním průměrem ($d=50$ mm) těsnění (cm^2)

Vobjem komory č. 2 (cm^3)

V_Kobjem kapilár (cm^3)

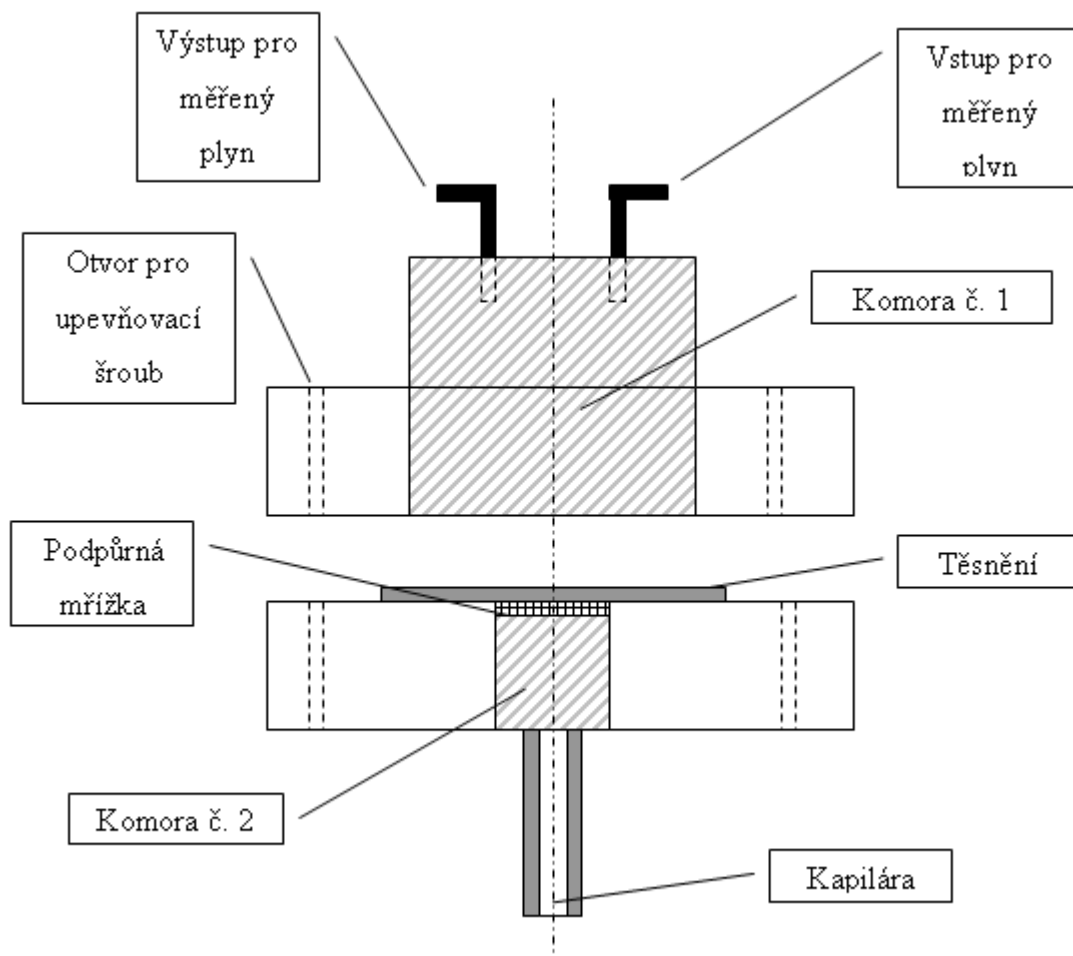
P atmosférický tlak v čase měření (Pa)

ptlak v komoře č. 2 v čase t (Pa)

dp/dtsměrnice přímký závislosti p na čase v bodě t ($\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)

Údaje pro výpočet objemu komory č. 2 (V) a kapilár (V_K):

- průměr komory č. 2: 1,18 mm
- výška komory č. 2: 1,18 cm
- délka kapiláry: 21,5 cm
- světlost kapiláry: 0,2 cm
- zbývající objem zahrnující část od konce kapiláry k vakuometru a uzavíracímu ventilu: $20,4277 \text{ cm}^3$ (součástí hodnoty V_K)



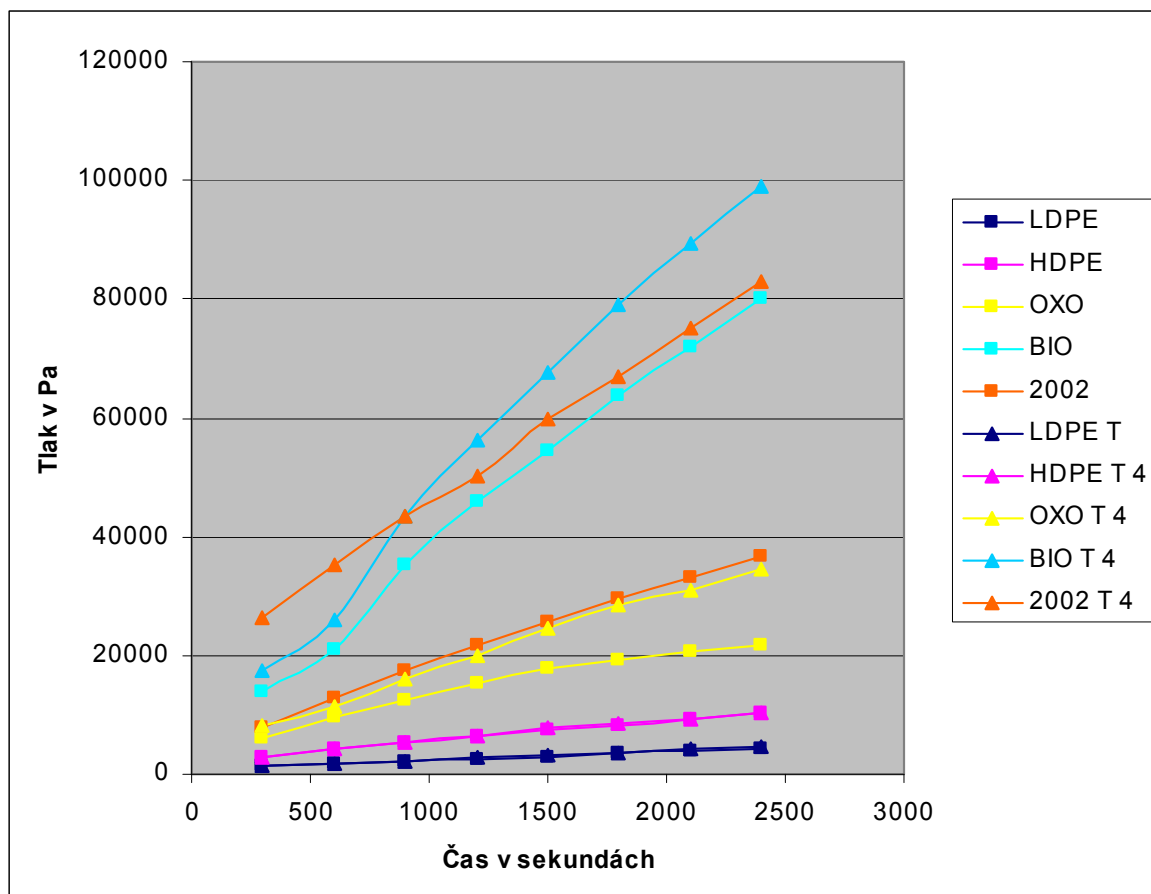
Obrázek 12: Zjednodušený náčrtek řezu měřicí celou

Poté byl spočítán permeační koeficient P pomocí výpočtu zohledňujícího tloušťku vzorků.

$$P = R_T \cdot l$$

Ppermeační koeficient ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$)

- Vyhodnocení dat

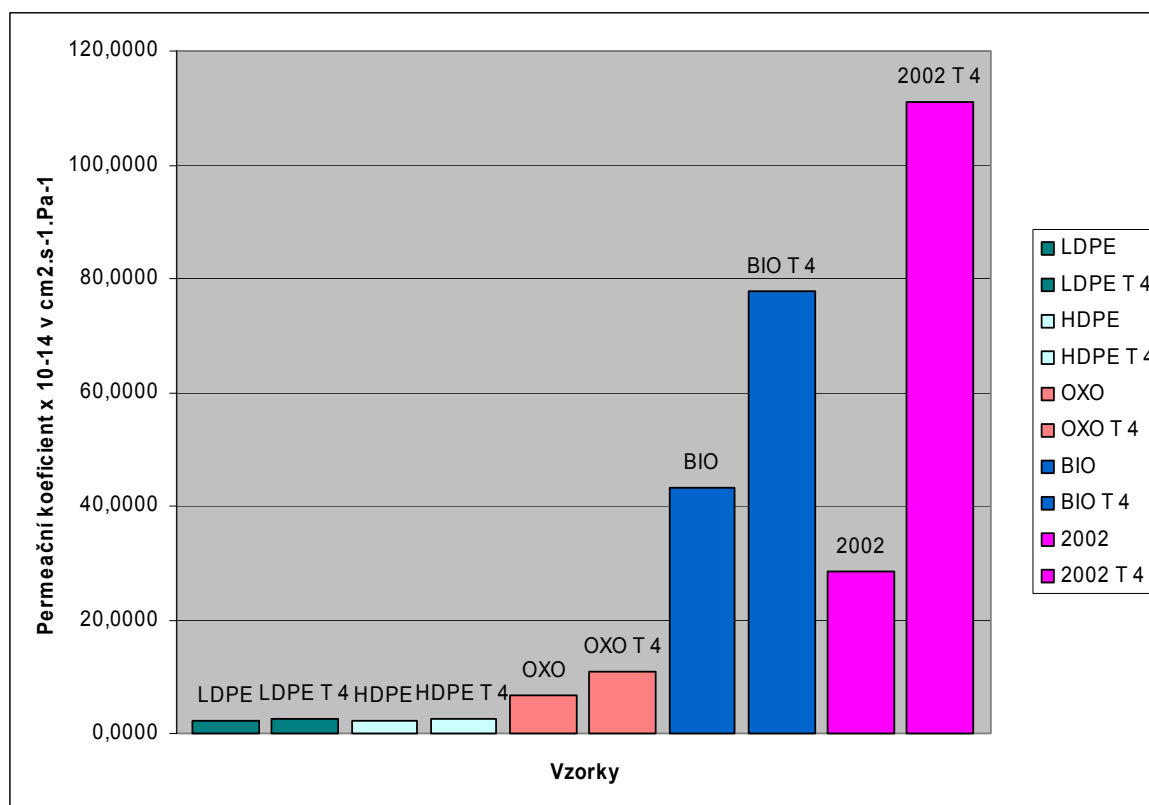


Graf 2: Hodnoty stoupajícího tlaku v závislosti na čase

| Materiál | Permeační koeficient x 10 ⁻¹⁴ (cm ² .s ⁻¹ .Pa ⁻¹) |
|----------|---|
| LDPE | 2,2750 |
| HDPE | 2,3820 |
| OXO | 6,8512 |
| BIO | 43,3478 |
| 2002 | 28,3915 |
| LDPE T 4 | 2,7015 |

| | |
|----------|----------|
| HDPE T 4 | 2,4334 |
| OXO T 4 | 10,9310 |
| BIO T 4 | 77,6372 |
| 2002 T 4 | 111,1740 |

Tabulka 6: Vypočtené permeační koeficienty zkoumaných vzorků



Graf 2: Grafické srovnání permeačních koeficientů zkoumaných vzorků. Porovnávány byly vždy dvojice vzorku před skladovacím procesem a po ukončení dvouměsíčního skladovacího procesu v termostatu s řízenou teplotou a vlhkostí

Z grafu je patrné, že propustnost pro plyny se v čase a v extrémních podmínkách mění především folií, které jsou vyrobeny z biopolymerů, které mají urychlený proces degradace. K výrazným změnám došlo především u folie BIO a největší rozdíl je patrný u fólie z PLA polymeru označené jako 2002. U těchto vzorků je možné pozorovat daleko vyšší hodnoty paropropustnosti již před skladovacím procesem ve srovnání s ostatními obaly.

9.3 FTIR spektroskopie

- **Použité chemikálie a zařízení**

Skalpel, kádinka, ethanol, FTIR spektrometr Thermo Nicolet - AVATAR 320, software Omnic.



Obrázek 13: přístroj Thermo Nicolet Avatar 320 ft IR Spectrometer

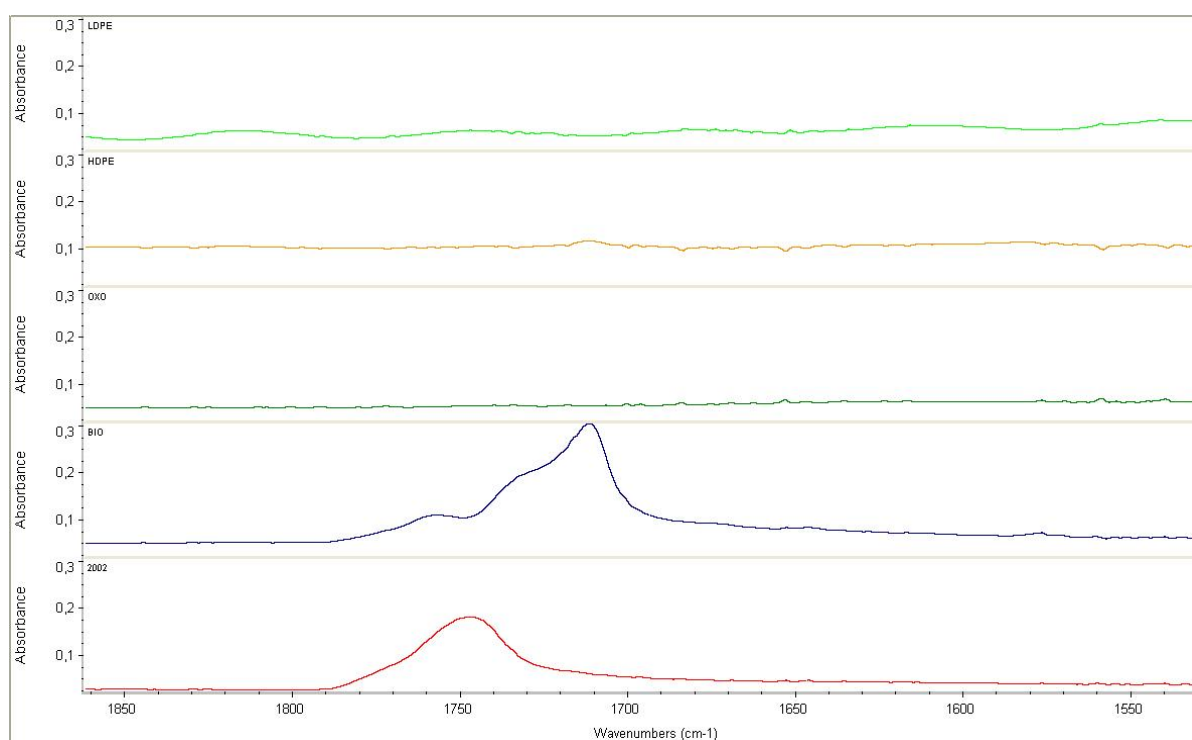
- **Pracovní postup:**

Měřené vzorky byly nařezány na vhodný rozměr, očištěny v ethanolu a vysušeny. Byla použita ATR i transmisní FTIR metoda. Rozsah měření $4000 - 550 \text{ cm}^{-1}$, počet skenů 32. Spektra byla zaznamenána pomocí softwaru Omnic. Vyhodnoceny byly vzorky folií před skladovacím procesem. Dále byly vyhodnoceny vzorky, které byly pravidelně odebírány každých 14. dní během dvou měsíční skladovací doby. Srovnávána byla degradace ve všech zkoumaných prostředích. Vzorky byly označeny LDPE L (lednice), LDPE N (pokojová teplota), LDPE T (termostat) apod.

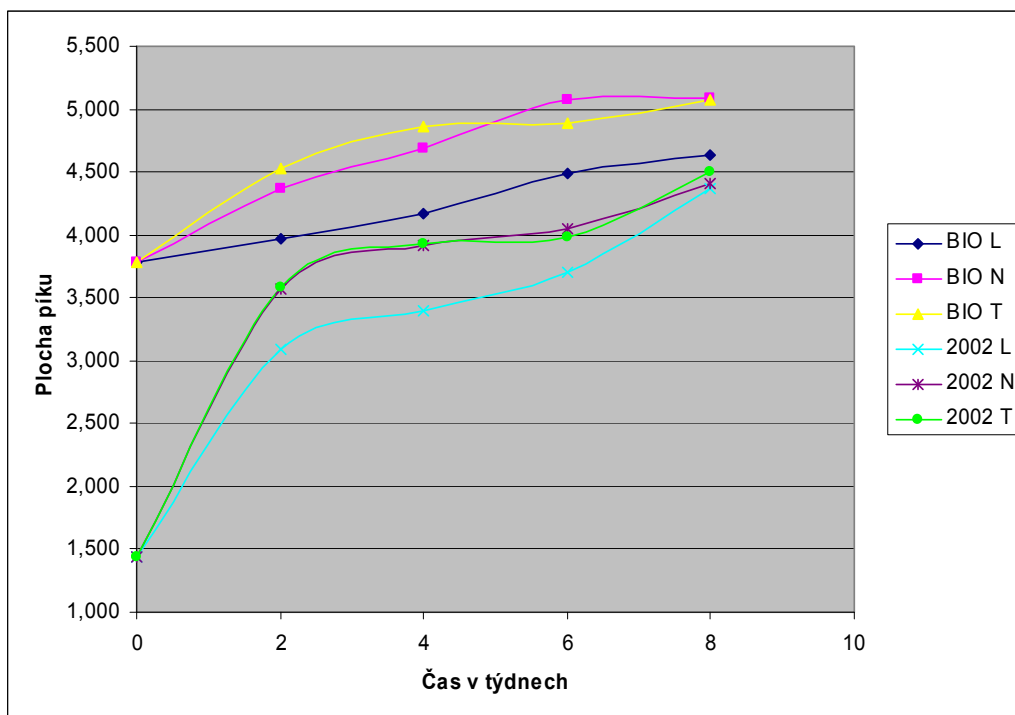
- Výpočet

Pomocí software Omnic byla u vzorků vykazující změnu karbonylového píku vyhodnocena plocha píku a hodnoty byly pro porovnání na skladovacích podmínkách vyneseny do grafu. Změnu karbonylového píku vykazovali pouze materiály označené jako BIO a 2002. U materiálu BIO se karbonylový pík objevil při vlnočtu 1711 cm^{-1} , u materiálu při vlnočtu 1747 cm^{-1} .

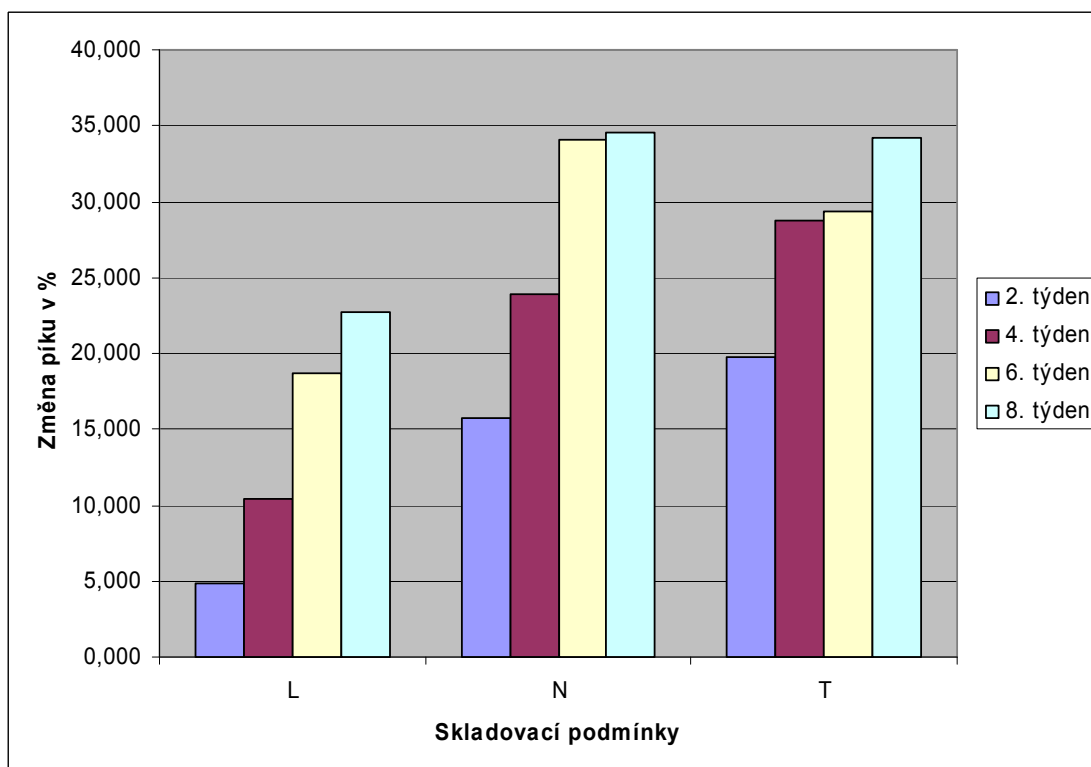
- Vyhodnocení dat



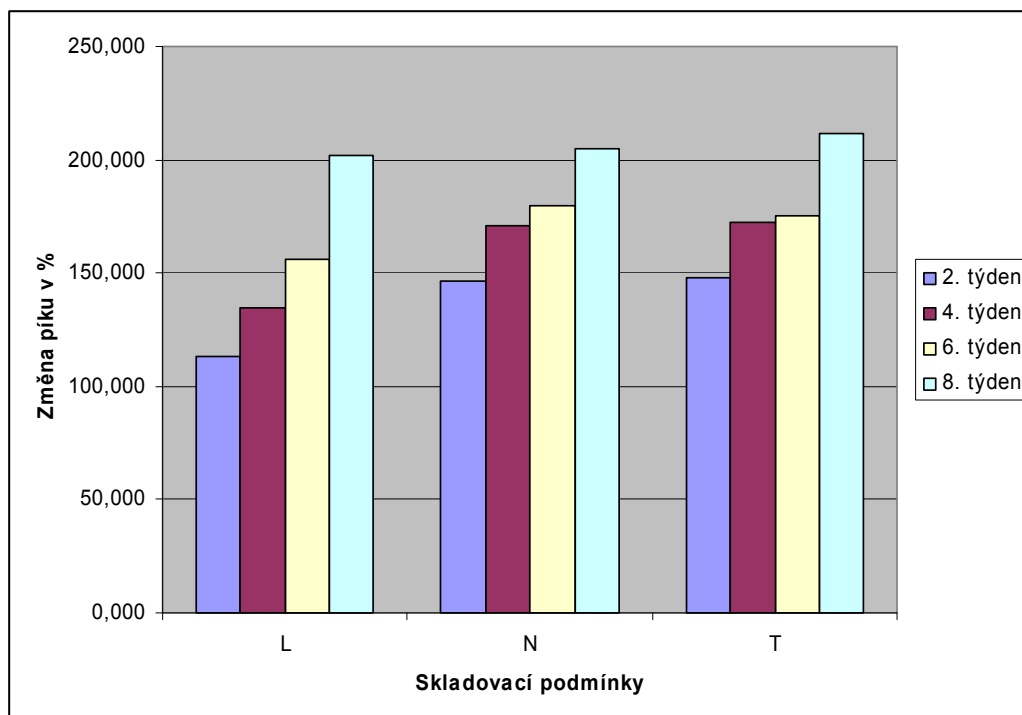
Obrázek 14: Lišící se IR spektra vzorků PE fólií v okolí výskytu karbonylového píku



Graf 3: Hodnoty zvyšující se plochy karbonylového píku v závislosti na čase



Graf 4: Zaznamenaný procentuální růst karbonylového píku v závislosti na čase v jednotlivých skladovacích prostředích pro testovanou fólii označenou jako BIO



Graf 5: Zaznamenaný procentuální růst karbonylového píku v závislosti na čase v jednotlivých skladovacích prostředích pro testovanou fólii označenou jako 2002

Změny karbonylového píku byly zaznamenány pouze u fólie označené jako BIO a 2002. Zbylé fólie nevykazovaly žádnou známku změny pozorovaného karbonylového píku.

9.4 Diferenční snímací kalorimetrie (DSC)

- **Použité chemikálie a zařízení**

Kladívko, vzorkovací nůž, digitální váha Radwag, nosiče vzorku, Mettler-Toledo DSC 1.



Obrázek 15: přístroj Mettler-Toledo DSC 1

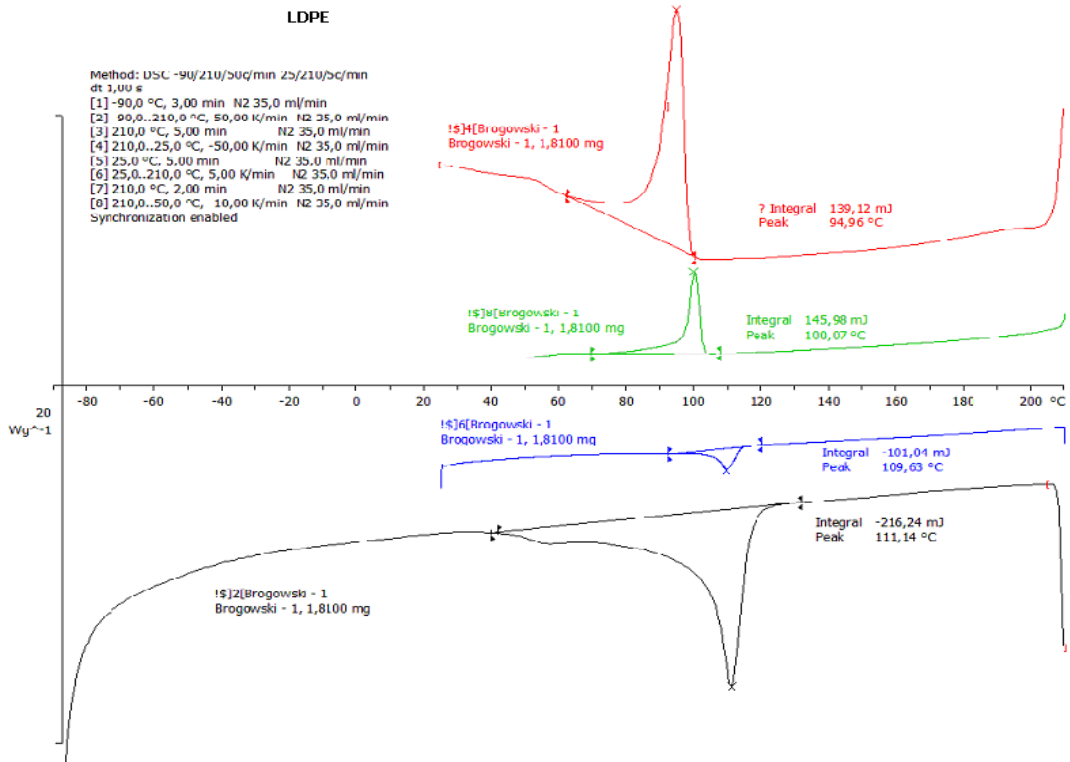
- **Pracovní postup**

Ze vzorků byly vysekány tělíška kruhového tvaru na vhodný rozměr, pečlivě zváženy a umístěny do speciálních hliníkových misek. Teplotní program v rozmezí -85°C až 210°C byl složen z jednotlivých kroků. Nejprve byl přístroj vychlazen na -85°C , kde setrval 1 min., následoval ohřev z -85°C na 210°C rychlostí $50^{\circ}\text{C}/\text{min.}$, při této teplotě setrval 5 min. Dále byl vzorek ochlazen na 25°C rychlostí $50^{\circ}\text{C}/\text{min.}$, kde setrval opět 5 min. Pro zvýšení citlivosti měření experiment pokračoval se změněnou rychlostí $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ a ohřev proběhl opět na 210°C . Za 2 min. následovalo opětovné chlazení z 210°C na 25°C se sníženou rychlostí $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Porovnávány byly vzorky před začátkem skladování a na konci skladování v rámci všech prostředí L (lednice), N (laboratorní prostředí), T (termostat).

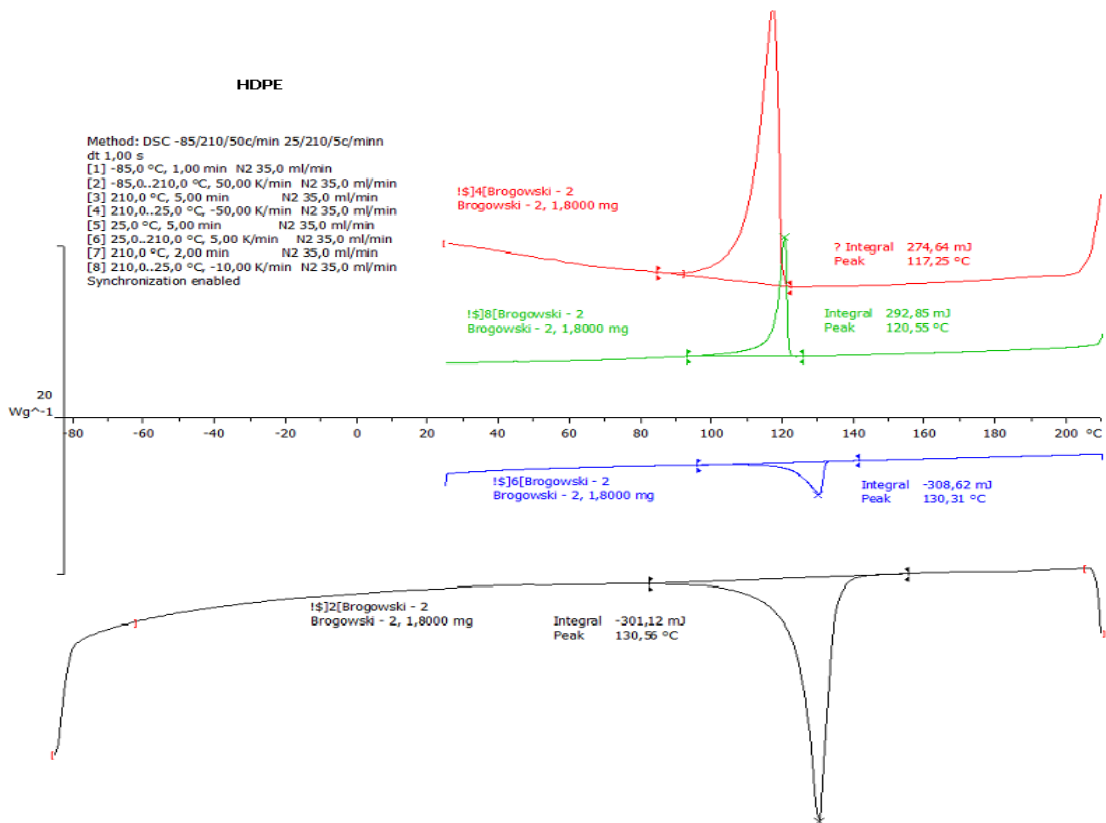
- **Výpočet**

Výsledkem měření byl graf závislosti tepelného toku na teplotě, z kterého je jasně patrné o jaký typ materiálu se jedná, jsou zde viditelné všechny termické přechody. Endotermní reakce znázorňují teplotu tání a exotermní reakce teplotu krystalizace. Pomocí software byly získány přesné hodnoty teploty tání (ohřev) a teploty krystalizace (chlazení) pro jednotlivé vzorky a také příslušné hodnoty vzniklého či spotřebovaného tepla/energie v mJ.

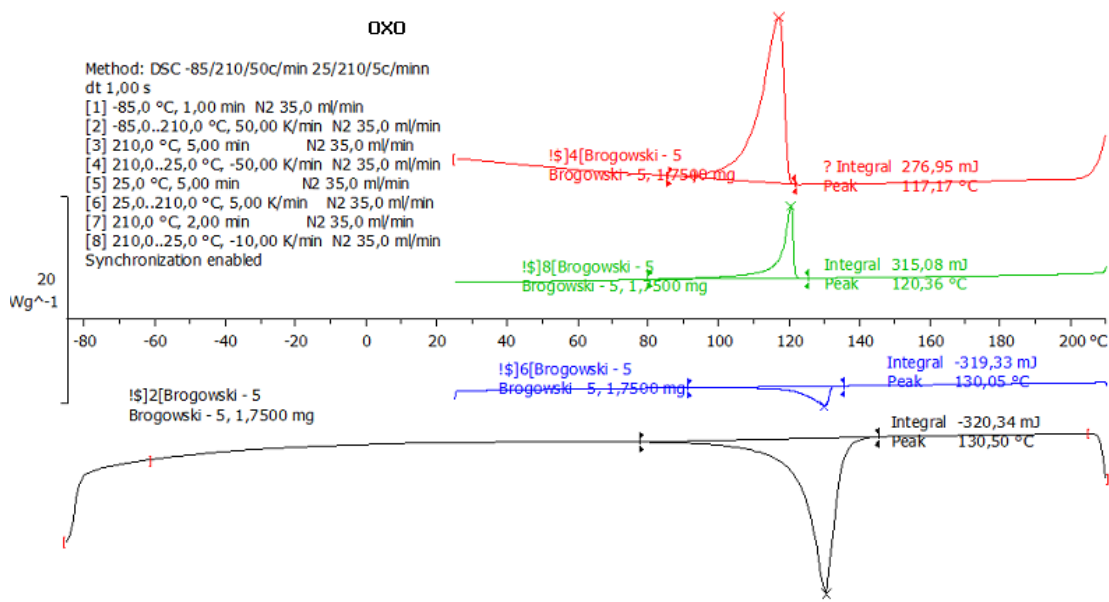
- **Vyhodnocení dat**



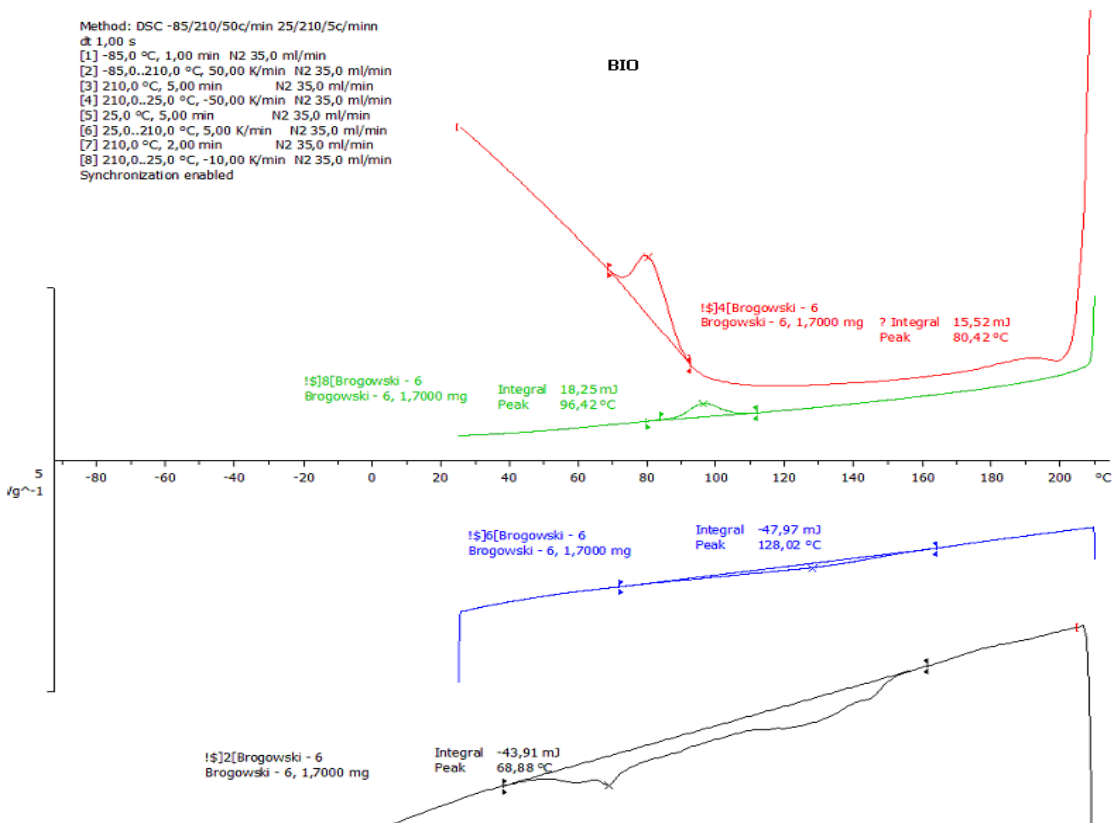
Obrázek 16: Grafické znázornění výsledku DSC analýzy pro vzorek LDPE fólie



Obrázek 17: Grafické znázornění výsledku DSC analýzy pro vzorek HDPE fólie

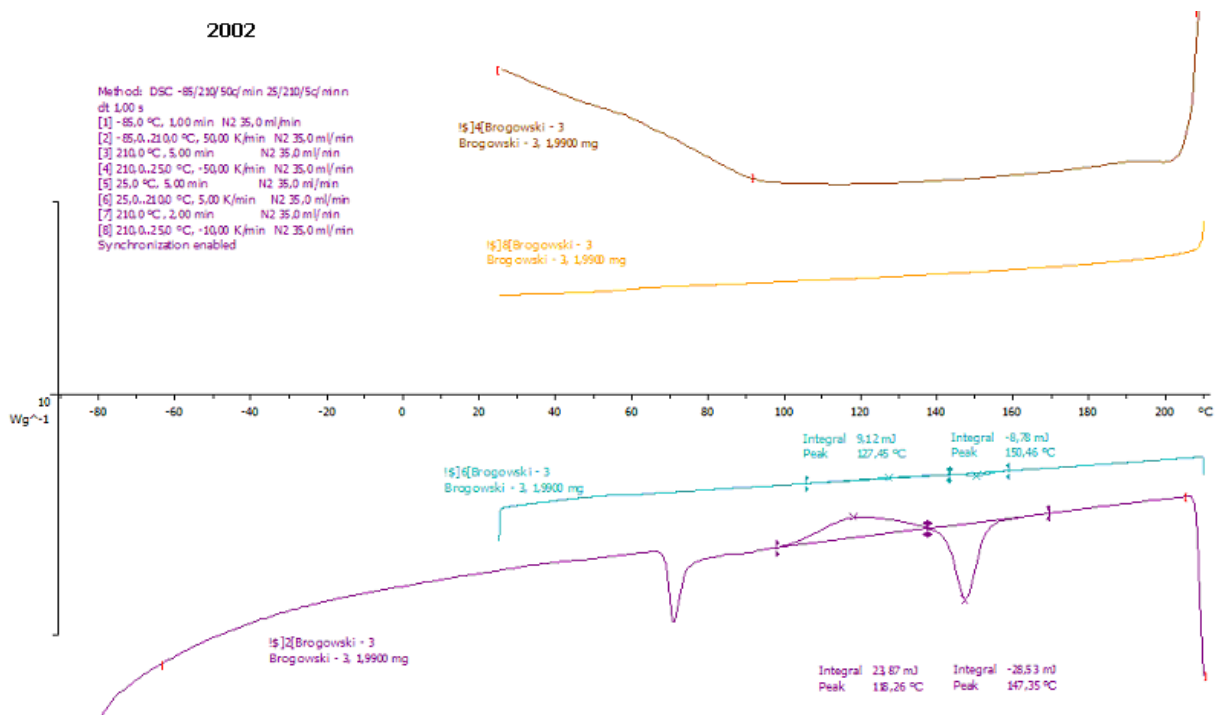


Obrázek 18: Grafické znázornění výsledku DSC analýzy pro vzorek OXO fólie identický se vzorkem HDPE fólie



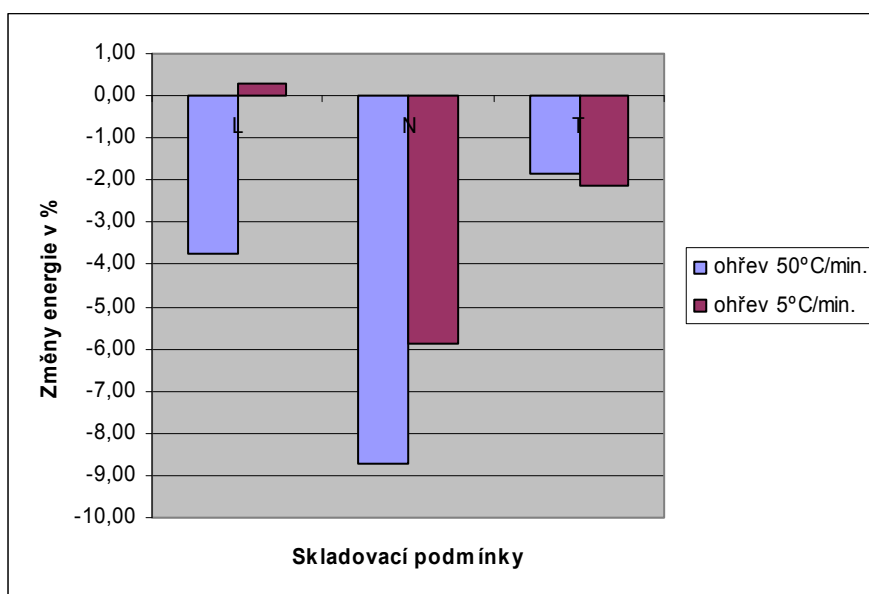
Obrázek 19: Grafické znázornění výsledku DSC analýzy pro vzorek BIO fólie

Více endoterm. píků v průběhu 1. ohřevu vzorku značí kopolymerní základ použitého materiálu.

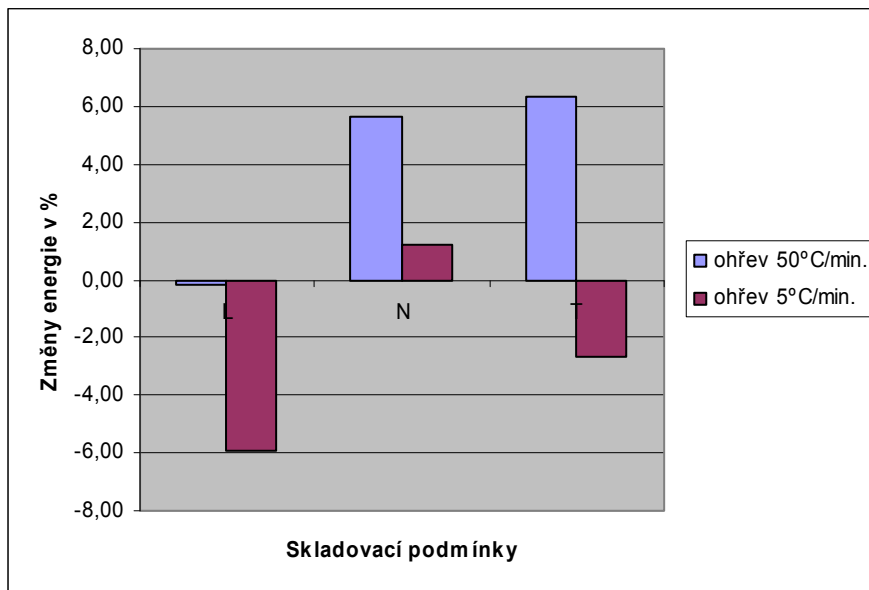


Obrázek 20: Grafické znázornění výsledku DSC analýzy pro vzorek 2002 fólie

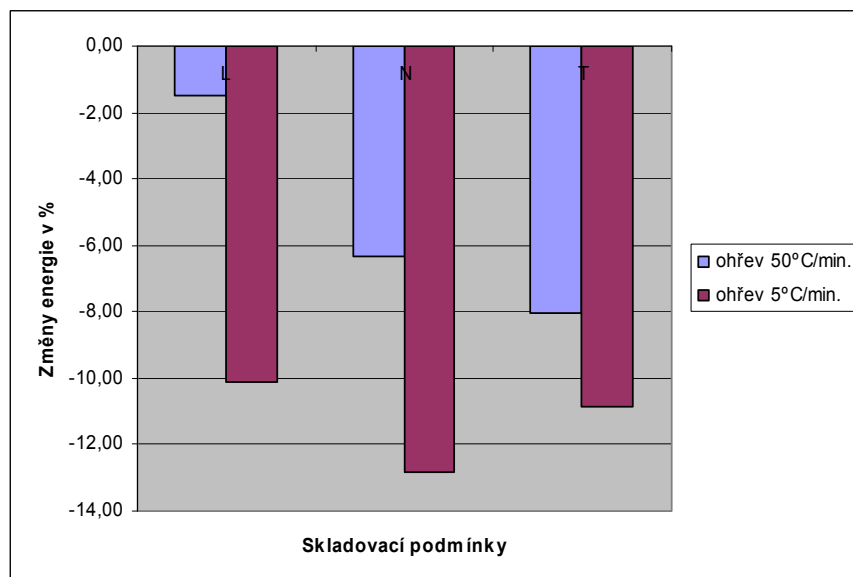
Během ohřevu se u tohoto materiálu objevuje exotermický pík. Dochází zde k tzv. studené krystalizaci. Nepřítomnost exoterm. píku během chlazení, značí amorfní strukturu materiálu.



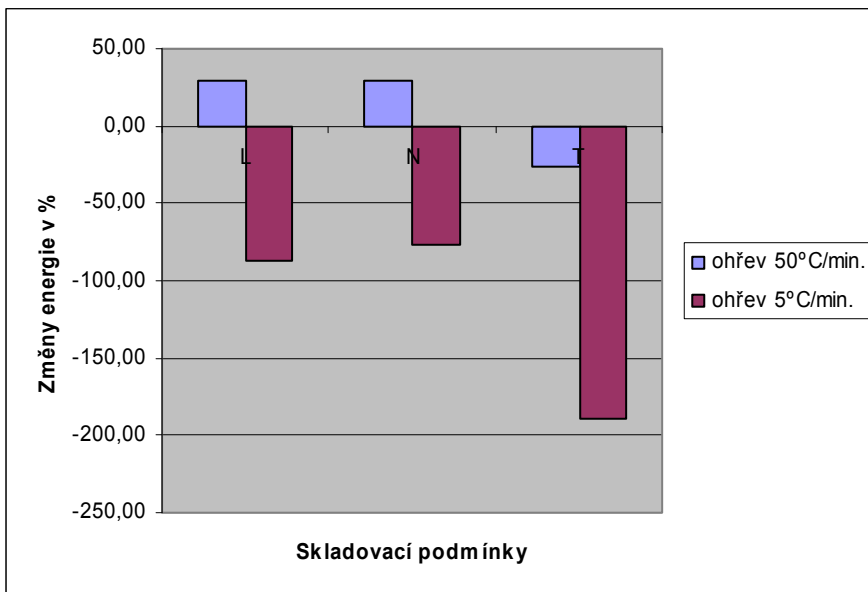
Graf 6: Změny energie potřebné k dosažení teploty tání během zahřívání v procentech při srovnání původního vzorku se skladovanými vzorky LDPE



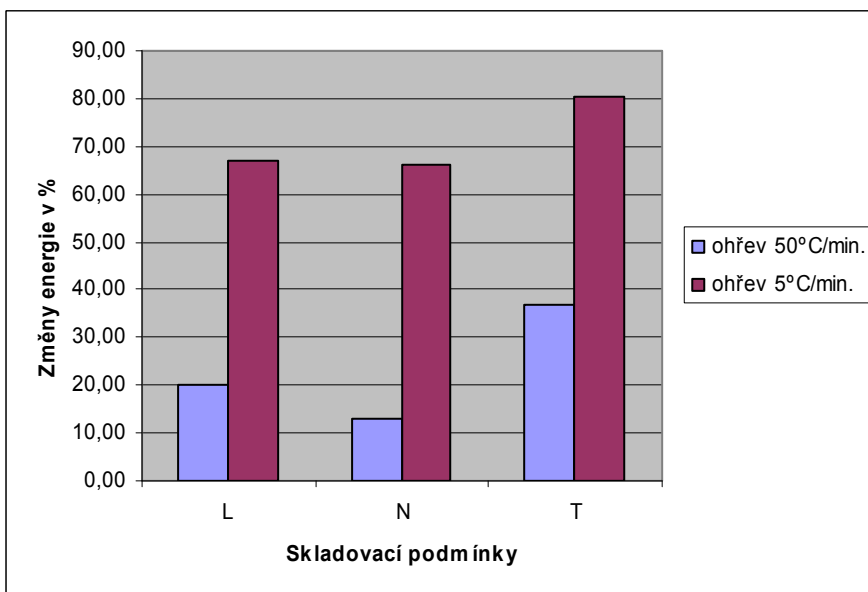
Graf 7: Změny energie potřebné k dosažení teploty tání během zahřívání v procentech při srovnání původního vzorku se skladovanými vzorky typu HDPE



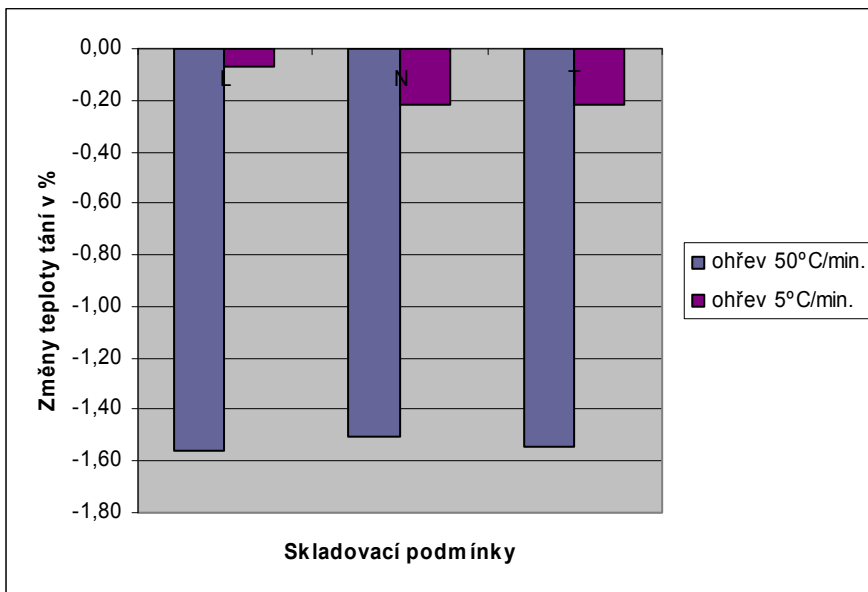
Graf 8: Změny energie potřebné k dosažení teploty tání během zahřívání v procentech při srovnání původního vzorku se skladovanými vzorky typu OXO



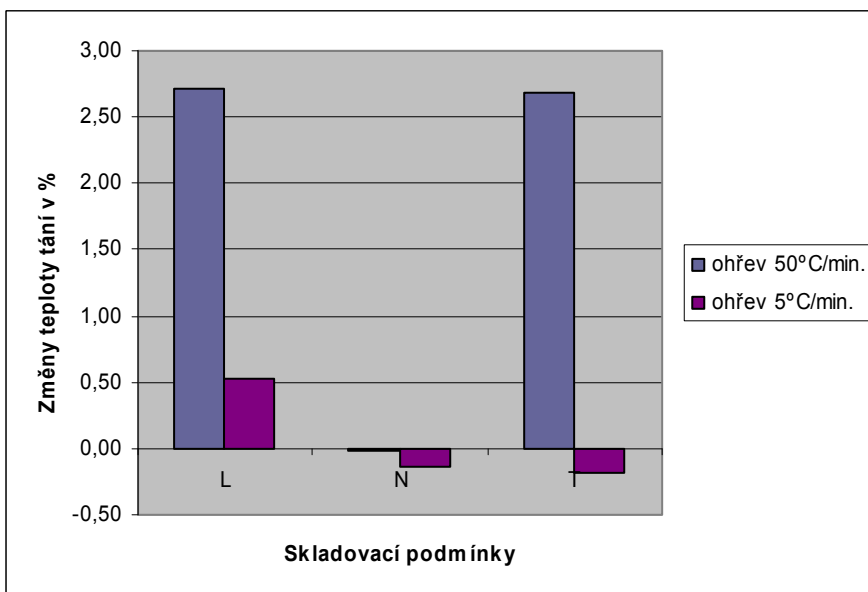
Graf 9: Změny energie potřebné k dosažení teploty tání během zahřívání v procentech při srovnání původního vzorku se skladovanými vzorky typu BIO



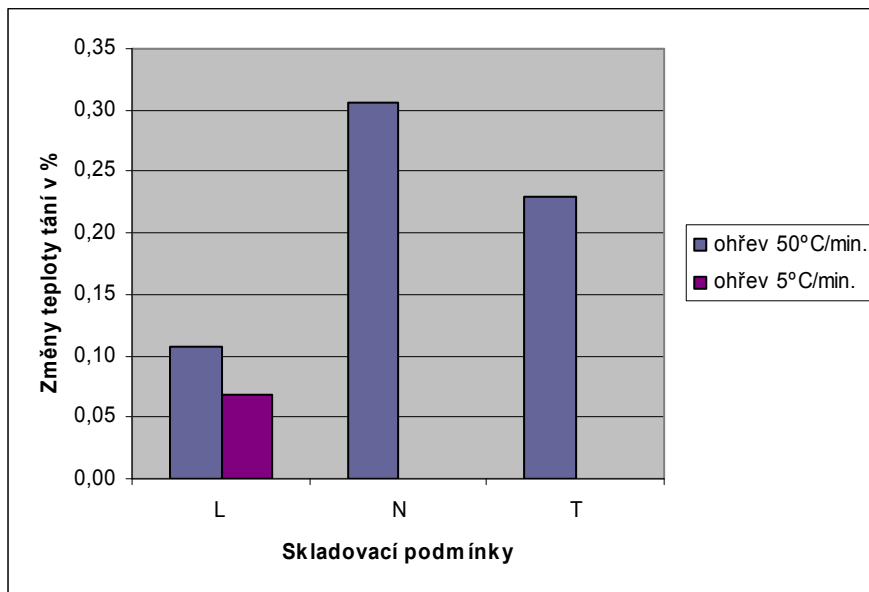
Graf 10: Změny energie potřebné k dosažení teploty tání v procentech při srovnání původního vzorku se skladovanými vzorky typu 2002



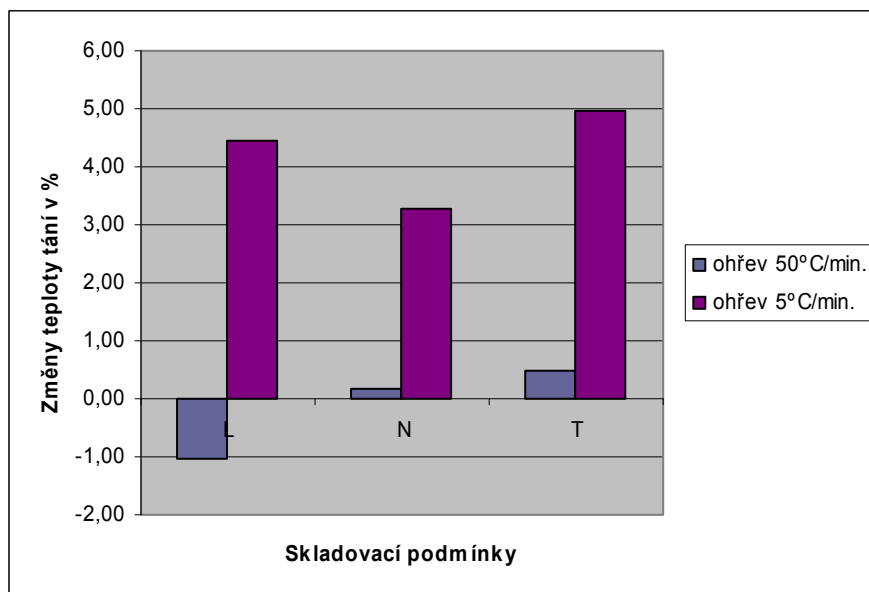
Graf 11: Procentuální změny teploty tání při srovnání původního vzorku se skladovanými vzorky typu LDPE



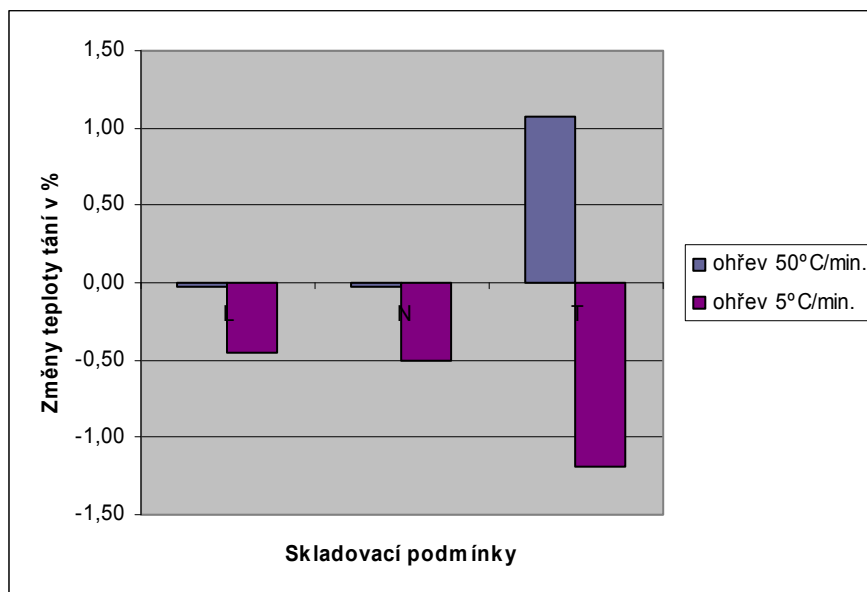
Graf 12: Procentuální změny teploty tání při srovnání původního vzorku se skladovanými vzorky typu HDPE



Graf 13: Procentuální změny teploty tání při srovnání původního vzorku se skladovanými vzorky typu OXO



Graf 14: Procentuální změny teploty tání při srovnání původního vzorku se skladovanými vzorky typu BIO



Graf 15: Procentuální změny teploty tání při srovnání původního vzorku se skladovanými vzorky typu 2002

U LDPE, HDPE, OXO fólií nejsou z výsledků termické analýzy zřejmé žádné výrazné změny v teplotě tání ani v krystalinitě. Výraznější změny se objevily až u fólie typu BIO a 2002. U fólie typu 2002 došlo ke zvýšení krystalinity a mírný nárůst teploty tání během prvního ohřevu. Tento změny lze připisovat částečnému dokrystalizování. To ovšem u fólie BIO, díky kopolymerní struktuře a nejasným píkům, není zřejmé. U fólie 2002 se u druhého ohřevu objevuje pokles teploty tání v závislosti na prostředí, kde pravděpodobně dochází k mírné degradaci PLA materiálu vlivem skladovacích podmínek a to především u vzorku, který byl skladován v termostatu a byl zde vystaven vyšším teplotám.

9.5 Tahové zkoušky

- **Použité chemikálie a zařízení**

Vysekávací nůž, šuplera, zkušební stroj TESTOMETRIC M350-5CT.



Obrázek 21: Přístroj TESTOMETRIC M350-5CT

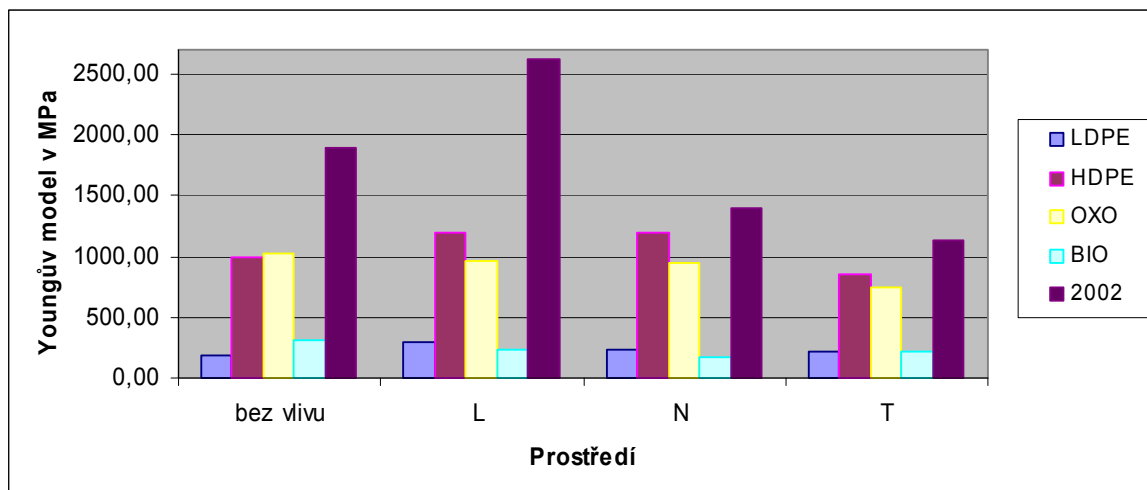
- **Pracovní postup**

Ze vzorků byly vysekané zkušební tělesa ve tvaru pásky o šířce 10 mm a délce 26 mm. Tahová zkouška byla provedena za laboratorní teploty 25°C, relativní vlhkost 36%. Rychlost posuvu 100 mm/min. Zkušební těleso bylo upnuto pomocí šroubů do čelistí stroje a bylo protahováno ve směru své podélné osy konstantní rychlostí. Porovnávány byly vzorky před začátkem skladování a na konci skladování v rámci všech prostředí.

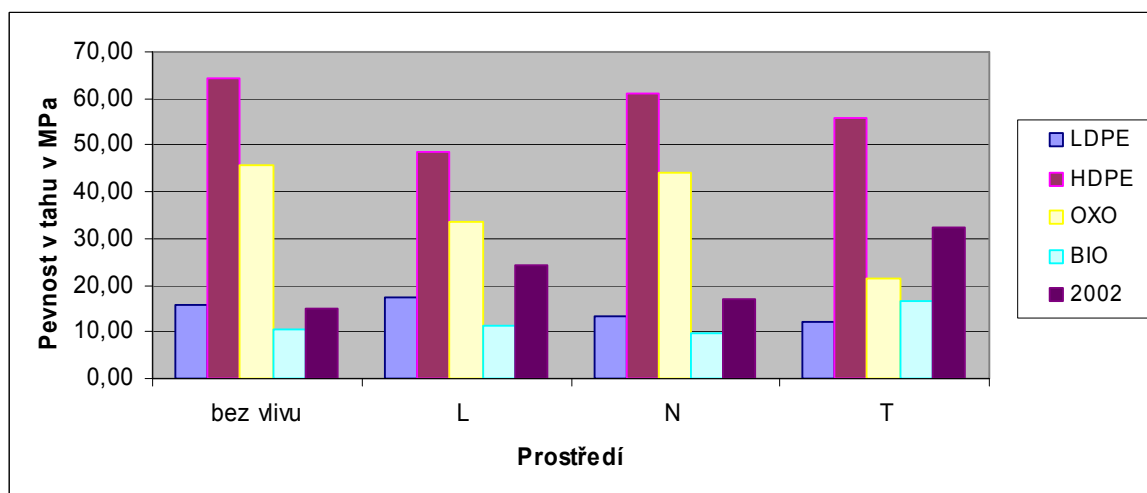
- **Výpočet**

Výsledkem měření jsou hodnoty maximální pevnost v tahu σ , Youngův modul E a poměrné prodloužení při přetržení (tažnost) ϵ .

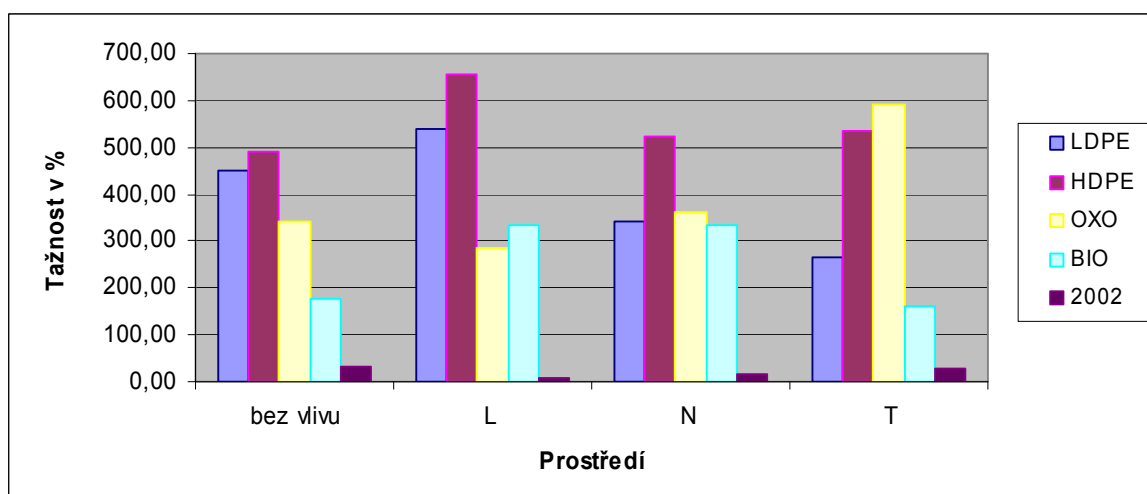
- **Vyhodnocení dat**



Graf 16: Youngův modul zkoumaných vzorků v závislosti na prostředí



Graf 17: Pevnost tahu zkoumaných vzorků v závislosti na prostředí



Graf 18: Porovnání tažnosti zkoumaných vzorků v závislosti na prostředí

| Youngův model v MPa | | Pevnost v tahu v MPa | | Tažnost v % | |
|---------------------|-----|----------------------|-----|-------------|------|
| Fólie | % | Fólie | % | Fólie | % |
| LDPE L | 62 | LDPE L | 9 | LDPE L | 20 |
| LDPE N | 24 | LDPE N | -16 | LDPE N | -24 |
| LDPE T | 15 | LDPE T | -22 | LDPE T | -41 |
| HDPE L | 21 | HDPE L | -24 | HDPE L | 34 |
| HDPE N | 21 | HDPE N | -5 | HDPE N | 6 |
| HDPE T | -14 | HDPE T | -13 | HDPE T | 9 |
| OXO L | -6 | OXO L | -26 | OXO L | -16 |
| OXO N | -7 | OXO N | -3 | OXO N | 6 |
| OXO T | -26 | OXO T | -53 | OXO T | 74 |
| BIO L | -28 | BIO L | 7 | BIO L | 87 |
| BIO N | -45 | BIO N | -8 | BIO N | 89 |
| BIO T | -32 | BIO T | 53 | BIO T | -10 |
| 2002 L | 39 | 2002 L | 61 | 2002 L | -225 |
| 2002 N | -26 | 2002 N | 12 | 2002 N | -103 |
| 2002 T | -40 | 2002 T | 115 | 2002 T | -8 |

Tabulka 7: Procentuální srovnání skladovaných vzorků, kde výchozí je vzorek změřený před skladováním

U většiny vzorků se pevnost v tahu spíše snižovala a to mnohdy v závislosti na prostředí. Mírnou odchylku lze pozorovat u typu 2002, kde se ve všech prostředí pevnost tahu zvýšila. Vliv na tento jev může mít již zmíněné dokrystalizování a celkové vyžrání materiálu, které může vést ke zlepšení tohoto parametru. Hodnoty tažnosti jsou u všech vzorků poměrně vysoké, jedinou výjimkou je opět materiál 2002, u kterého byl zaznamenán v závislosti na prostředí významný trend. Tažnost v prostředí lednice se snížila více jak o 200%. Dále bylo pozorováno, že se zvyšující se teplotu prostředí roste i hodnota tažnosti. Opačný trend, i když poněkud mírnější, vykazuje i materiál BIO.

ZÁVĚR

Obsahem této diplomové práce bylo pozorování vlivu použitého obalového materiálu na balené ovoce (jahody) a dále byly také sledovány případně změny ve vlastnostech a struktuře testovaných obalů. Vzhledem k přítomnosti biomateriálů v některých vzorcích folií s dispozicemi urychlené degradace, byly tyto změny předpokládány.

K balení jahod byly použity fólie standardně k těmto účelům vyráběné. Jak HDPE charakteru, tak LDPE charakteru. V laboratorních podmínkách byla také v rámci této práce vyrobená fólie ze speciálního PLA polymeru. Vzorky byly skladovány ve třech různých prostředích, v lednici při teplotě 6 °C, relativní vzdušné vlhkosti 90%, při pokojové teplotě 21-23 °C, relativní vzdušné vlhkosti 35 a při extrémních podmínkách inkubátoru při teplotě 45 °C, relativní vzdušné vlhkosti 75% simulující tropické podnebí.

U jahod byl pomocí titrační stanovení vitamínu C vyhodnocován úbytek kys. askorbové v čase v závislosti na použitém obalovém materiálu. Byla zvolena nejpoužívanější metoda titrací 2,6 – dichlorfenolindofenolem s benzenovou modifikací v kombinaci se spektrofotometrickým vyhodnocením. Z výsledků je patrný velmi podobný trend úbytku kys. askorbové u většiny testovaných folií. V prvním týdnu byl úbytek vitamínu C minimální a u všech použitých obalů téměř shodný. Nepatrnou odchylku bylo možné pozorovat v druhém týdnu skladovacího procesu u vzorku BIO a patrnější pak bylo toto vychýlení u fólie z PLA polymeru s označením 2002, kde zřejmě sehrála roli především zvýšená propustnost pro plyny. Vzdušný kyslík podpořil oxidační procesy kys. askorbové a to se projevilo na jejím vyšším úbytku. Třetí týden byly všechny vzorky na počátku rozkladu a obsah kyseliny askorbové byl téměř nulový. Použitá titrační metoda resp. její benzenová modifikace je značně zastaralá a nepřesná metoda.

Metodou FTIR spektroskopie byly zaznamenány změny karbonylového píku pouze u fólie označené jako BIO a 2002, které mohou být přičítány zvýšeným degradačním vlivům obou vzorků. Zbylé fólie nevykazovaly žádnou známku změny pozorovaného karbonylového píku.

Pomocí tahových zkoušek a DSC metody byly u některých zkoumaných biomateriálů vyhodnoceny výrazné změny fyzikálně-mechanických vlastností. Tyto změny byly způsobeny jejich dokrystalizováním a také vlivem urychlené degradace.

Závěrem této práce je nutné konstatovat, že balení potravin do obalů z biopolymerů je vhodující a na zkoumané vlastnosti balených potravin nemají zásadní vliv. Degradční procesy a změny ve vlastnostech materiálů, které byly v průběhu experimentů zjištěny, jsou ve vztahu krátkodobého balení potravin také zanedbatelné. Významnější roli použití těchto materiálů může hrát ve vztahu k životnímu prostředí, což by se dalo označit jako velká výhoda těchto obalů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, V. *Polymer – výroba, vlastnosti, zpracování, použití 2. vydání*, Vysoká škola chemicko-technologická, Praha 2006,
- [2] MLEZIVA, J., Šňupárek, J. *Polymer: Výroba, struktura, vlastnosti a použití. 1. vydání*, Sobotáles, Praha 1993.,
- [3] COLES, R., McDowell, D., Kirwan, J. *Food packaging technology*, Blackwell Publishing Ltd., Oxford 2003
- [4] KUPEC, J., Charvátová, K., Křesálková, M. *Biopolymer jako plniva v plastech*, Chemické listy Vol.97, 2003
- [5] KLÁSEK, A. *Nauka o polymerech*, Vysoké učení technické, Brno 1980
- [6] KAPLAN, D., L., Ching, C., Thomas, E. *Biodegradable Materials and Packaging*, Technomic Publishing, Lancaster 1992
- [7] VELÍŠEK, J. *Chemie potravin I*, OSSIS, Tábor 2002
- [8] KLÁSEK, A. *Nauka o polymerech II - Biopolymer*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1980
- [9] *All about zein* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.freemanllc.com/zein.html>> [cit. 2013-1-23]
- [10] ELNASHAR, M. *Biopolymers*, Sciyo, Rijeka 2010
- [11] MONTHANY, K., Misra, M., Drzal, T. *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites*, CRC Press, USA 2005
- [12] WOOL, R., XIUZHI, S. *Bio-Based Polymers and Composites*, Chem. Int. Ed. 45, 2006
- [13] UTRACKI, L.A. *Commercial polymer blends*, Springer-Verlag, London 1998
- [14] KUTA, A. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*, Vysoká škola chemicko-technologická, Praha 1999
- [15] UTRACKI, L. A. *Polymer blends handbook*, Verlag-Springer, London 2002
- [16] HNOZÍK, R. *Polymer Plasty se zkrácenou životností a způsoby jejich degradace* [online]. Dostupný z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/plasty-se-zkracenou-zivotnosti-a-zpusoby-jejich-degradace>> [cit. 2013-1-26]

- [17] HAMID, S. H. *Handbook of polymer degradation*, ArcelDekker, New York 2000
- [18] ČURDA, D. *Balení potravin. 1. vyd.*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1982
- [19] KAČEŇÁK, I. *Obaly a obalová technika. 1. vyd.*, Slovenská vysoká škola technická, Bratislava 1990
- [20] RYANT, B. *Moderní obalová technika*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1971
- [21] ČURDA, D. *Co dovedou obaly*, Co dovedou obaly [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.spolvyziva.cz/index.php?obsah=hlavni&odkaz=280&menu=2>> [cit. 2013-2-5]
- [22] BOMAR, M. *Obaly a obalové hmoty v potravinářském průmyslu. 1. vyd.*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1959,
- [23] ŠTĚPEK, J. *Polymery v obalové technice*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1981
- [24] HRABĚ, J., ROP, O., HOZA, I. *Technologie výroby potravin rostlinného původu 1. vyd.*, Univerzita Tomáše Bati, Zlín 2005
- [25] DUŠKOVÁ, L., KOPŘIVA, J. *Pěstujeme jahody 1. vyd.*, Grada Publishing, Praha 2002
- [26] HRIČOVSKÝ, I., *Drobné ovoce a méně známé druhy ovoce*, Příroda, 2002
- [27] DLOUHÁ, J. *Jahody*, Vikend, 2002
- [28] PEIKER, J. *Jahody. 1. vyd.*, Československá akademie věd, Praha 1962
- [29] ŠAPIRO, D. *Ovoce a zelenina ve výživě člověka*, Státní zemědělské nakladatelství, Praha 1988
- [30] CEREVITINOV, F. *Chemické složení a fyzikální vlastnosti ovoce a zeleniny*, Průmyslové vydavatelství, Praha 1952.
- [31] VALPUESTA, V. *Fruit and Vegetable Biotechnology*, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge 2002

- [32] DAVÍDEK, J., JANÍČEK, G., POKORNÝ, J. *Chemie potravin I. vyd.*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1983
- [33] VELÍŠEK, J., Hajšlová J., *Chemie potravin I.*, OSSIS, Tábor 1999
- [34] SULLIVANOVÁ, K. *Vitaminy a minerály v kostce*, Slovart, Praha 1998
- [35] HLÚBIK, P., OPLTOVÁ, L. *Vitaminy*, Grada publishing, Praha 2004
- [36] HOZA, I., KARAMÁŘOVÁ, D., BUDÍNÁKÝ, P. *Potravinářská biochemie I*, Univerzita Tomáše Bati, Zlín 2006.
- [37] ŽAMBOCH, J., *Vitaminy*, Grada Publishing, Praha 1996
- [38] PRÍBELA, A. *Analýza potravin*, Slovenská technická univerzita, Bratislava 1991
- [39] DAVÍDEK, J., VELÍŠEK, J. *Analýza potravin II*, Vysoká škola chemicko-technologická, Praha 1992
- [40] PRÍBELA, A. *Analýza přírodních látek v poživatinách*, Alfa, Bratislava 1978
- [41] *Infračervená spektroskopie*, [online]. Dostupný z WWW: <<http://lms.vscht.cz/>> [cit. 2013-2-26]
- [42] Stuart ,B., H., *Polymer Analysis*, John Wiley & Sons, United Kingdom 2002
- [43] KLOUDA, P. *Moderní analytické metody*, Ostrava 2003
- [44] ČSN EN ISO 2556 (640116) *Stanovení rychlosti propustnosti pro plyny u fólií a tenkých desek při atmosférickém tlaku - Manometrická metoda*, 2001
- [45] RYBNÍKÁŘ, F., *Analýza a zkoušení plastických hmot*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1965
- [46] EHRENSTEIN, G., Riedel G., Trawiel, P. *Thermal Analysis Of Plastics*, Hanser-Gardner Publications, 2004.
- [47] ČSN EN ISO 11357-1 (640748) *Diferenční snímací kalorimetrie (DSC) - Část 1: Základní principy*, 2010
- [48] DAVIS, J., R. *Tensile Testing*, ASM International, 2004,
- [49] EN ISO 527-3 (640604) *Stanovení tahových vlastností - Část 3: Zkušební podmínky pro fólie a desky*, 1997

- [50] SCHÄTZ, M., VONDRÁČEK, P. *Zkoušení polymerů*, Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1979

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|--------------------|--------------------------------------|
| <i>DSC</i> | Diferenciální skenovací kalorimetrie |
| <i>FTIR</i> | Infračervená spektroskopie |
| <i>LDPE</i> | Nízko hustotní polyetylen |
| <i>HDPE</i> | Vysoko hustotní polyetylen |
| <i>LLDPE</i> | Lineárně nízko hustotní polyetylen |
| <i>EVA</i> | Ethylen vinilacetát |
| <i>EVOH</i> | Ethylen vinylalkohol |
| <i>PCL</i> | Alifatické polyestery |
| <i>PLK</i> | poly(ϵ ,kaprolakton) |
| <i>PE</i> | Polyetylen |
| <i>PET</i> | Polyetylentereftalát |
| <i>PGA</i> | Polyglykolová kyselina |
| <i>PHB</i> | polyhydroxybutyrát |
| <i>PP</i> | Polypropylen |
| <i>PS</i> | Polystyren |
| <i>PA</i> | Plyamind |
| <i>PLA</i> | Polymléčná kyselina |
| <i>CA</i> | Acetát celulózy |
| <i>PVA</i> | Polyvinylalkohol |
| <i>PVAc</i> | Polyvinylacetát |
| <i>PVC</i> | Polyvinylchlorid |
| <i>UV</i> | Ultrafialové |
| $^{\circ}\text{C}$ | Stupeň celsia |
| <i>mm</i> | Milimetr |
| $\%$ | Procento |

| | |
|-----------------------|----------------------|
| <i>mol</i> | Mol |
| <i>l</i> | Litr |
| <i>pH</i> | Vodíkový exponent |
| <i>K</i> | Draslík |
| <i>Na</i> | Sodík |
| <i>Mg</i> | Hořčík |
| <i>Ca</i> | Vápník |
| <i>Cl</i> | Chlor |
| <i>S</i> | Síra |
| <i>P</i> | Fosfor |
| <i>Si</i> | Křemík |
| <i>Cu</i> | Měď |
| <i>Mn</i> | Mangan |
| <i>B</i> | Bor |
| γ | Gama |
| <i>CO₂</i> | Oxid uhličitý |
| <i>T</i> | Transmitance |
| <i>A</i> | Absorbance |
| <i>log</i> | Logaritmus |
| λ | Lambda |
| <i>t</i> | čas |
| <i>P</i> | Permeační koeficient |
| Δ | delta |
| <i>s</i> | Sekunda |
| <i>Pa</i> | Pascal |
| <i>K</i> | Kelvin |

| | |
|---------------|-----------------------|
| t | Titř |
| ml | Mililitř |
| cm^3 | Centimetr krychlový |
| R_T | Rychlost propustnosti |
| J | Joule |
| σ | Pevnost v tahu |
| E | Youngův modul |
| ε | Tažnost |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Strukturní vzorek PE | 12 |
| Obrázek 2: Vyfukovací linka | 20 |
| Obrázek 3: Biodegradační cyklus | 22 |
| Obrázek 4: Kvetoucí jahodník | 28 |
| Obrázek 5: Spektrum elektromagnetického záření | 34 |
| Obrázek 6: Model permeace plynu | 35 |
| Obrázek 7: Standardní tvar křivky DSC pro polymery..... | 37 |
| Obrázek 8: Některé výrobky firmy Granitol a.s. | 40 |
| Obrázek 9: Granule materiálu Mater-Bi® CF05S | 41 |
| Obrázek 10: Jahody odrůdy Sabrosa..... | 42 |
| Obrázek 11: Laboratorní vytlačovací linka | 43 |
| Obrázek 12: Zjednodušený nákres řezu měřící celou | 53 |
| Obrázek 13: Přístroj Thermo Nicolet Avatar 320 ft IR Spectrometer | 56 |
| Obrázek 14: Lišící se IR spektra vzorků PE fólií v okolí výskytu karbonylového píku..... | 57 |
| Obrázek 15: Přístroj Mettler-Toledo DSC 1 | 60 |
| Obrázek 16: Grafické znázornění výsledku DSC analýzy pro vzorek LDPE fólie, z kterého je zde patrná přítomnost vosků, které byly vyhodnoceny jako součást LDPE materiálu | 61 |
| Obrázek 17: Grafické znázornění výsledku DSC analýzy pro vzorek HDPE fólie..... | 61 |
| Obrázek 18: Grafické znázornění výsledku DSC analýzy pro vzorek OXO fólie identický se vzorkem HDPE fólie | 62 |
| Obrázek 19: Grafické znázornění výsledku DSC analýzy pro vzorek BIO fólie | 62 |
| Obrázek 20: Grafické znázornění výsledku DSC analýzy pro vzorek 2002 fólie | 63 |
| Obrázek 21: Přístroj TESTOMETRIC M350-5CT..... | 69 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Množství vitamínu C ve vybrané zelenině a ovoci (mg/100g)..... | 30 |
| Tabulka 2: Hodnoty pro sestavení kalibrační křivky | 47 |
| Tabulka 3: Výpočet spotřeby odměrného roztoku při stanovení titru a slepého pokusu..... | 48 |
| Tabulka 4: Výpočet spotřeby odměrného roztoku jednotlivých měření..... | 49 |
| Tabulka 5: Obsah kyseliny askorbové ve 100 g vzorku pro jednotlivá měření..... | 50 |
| Tabulka 6: Vypočtené permeační koeficienty zkoumaných vzorků..... | 55 |
| Tabulka 7: Procentuální srovnání skladovaných vzorků, kde výchozí je vzorek změřený před skladováním..... | 71 |