

# Identifikace a stanovení vybraných aditiv v polymerní matrici

Veronika Parkanová

---

Bakalářská práce  
práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Veronika Parkanová**  
Osobní číslo: **T17755**  
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**  
Studijní obor: **Materiálové inženýrství**  
Forma studia: **Prezenční**  
Téma práce: **Identifikace a stanovení vybraných aditiv v polymerní matici**

### **Zásady pro vypracování**

1. Vypracujte literární rešerši pokrývající použití vybraných aditiv v předmětech běžného užití, jejich vlastnosti a limity.
2. Shromážděte vzorky předmětů běžného užití.
3. V praktické části stanovte aditiva v polymerech pomocí plynové či kapalinové chromatografie.
4. Získaná data přehledně zpracujte a kriticky vyhodnoťte s ohledem na platnou legislativu.

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

**Seznam doporučené literatury:**

1. BERLIN, Aleksandr Aleksandrovič, Svetlana Zacharovna ROGOVINA a Gennadij Jefremovič ZAIKOV. Additives in polymers: analysis and applications. Toronto: Apple Academic Press, 2016, xxi, 340. ISBN 978-1-77188-128-9.
2. Pyrolysis-GC/MS Data Book of Synthetic Polymers. Oxford, 2011, 390. ISBN 978-0-444-53892-5.
3. BRUDER, Ulf. User's guide to plastic: a handbook for everyone. Munich: Hanser, [2015], 227 s. ISBN 978-1-56990-572-2.
4. Platná legislativa České republiky zabývající se povolenými aditivami a jejich limity v předmětech běžného užití.
5. Časopisecké a knižní zdroje dostupné prostřednictvím knihovny UTB ve Zlíně.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martina Pummerová, PhD.**  
Centrum polymerních systémů

Datum zadání bakalářské práce: **3. února 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

---

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

---

**doc. Mgr. Aleš Mráček, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. února 2020

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá materiálovou charakterizací vybraných obalových materiálů pro potraviny dostupných na českém trhu.

Praktická část je zaměřena na polymerní nápojové kelímky a misky. Jednotlivé vzorky se určují podílem anorganických a organických složek pomocí metody stanovení popela podle ČSN EN ISO 3451. Organické látky a polymerní matrice byly identifikovány plynovou chromatografií. Identifikace matrice byla potvrzena také infračervenou spektroskopií.

Bylo zjištěno, že v obalovém materiálu z polypropylenu nejsou ve srovnání s biodegradabilním obalem identifikovaná aditiva.

Klíčová slova: obal, aditivum, polypropylen, polylaktid, celulóza, biodegradabilní, identifikace

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the material characterization of selected food packaging materials available on the Czech market.

The practical part is focused on polymer drinking cups and bowls. The content of inorganic and organic proportion of samples was determined by standard ČSN EN ISO 3451: Determination of ash. Organic substances and polymer matrices were identified by gas chromatography. Matrix identification was also confirmed by infrared spectroscopy.

It has been found that no additives are identified in polypropylene packaging materials compared to biodegradable packaging.

Keywords: packaging, additive, polypropylene, polylactide, cellulose, biodegradation, identification

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěla bych tímto velmi poděkovat své vedoucí Ing. Martině Pummerové, Ph.D. za její trpělivost, odbornou pomoc, rady a vlídný přístup při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat Centru polymerních systémů za poskytnutí některých obalových materiálu a za umožnění vykonání praktické části.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 OBALOVÉ MATERIÁLY</b> .....	<b>11</b>
1.1    OBALOVÉ MATERIÁLY PRO POTRAVINY .....	11
1.2    POLYMERNÍ OBALOVÝ MATERIÁL.....	11
1.2.1    Obalový materiál z polypropylenu.....	12
1.2.2    Obalový materiál z polystyrenu .....	13
1.2.3    Obalový materiál z polyethylenu .....	13
1.2.4    Biodegradabilní obaly .....	14
1.3    LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY NA OBALOVÉ MATERIÁLY .....	16
<b>2 ADITIVA</b> .....	<b>17</b>
2.1    PLNIVA.....	17
2.1.1    Uhličitan vápenatý .....	17
2.1.2    Mastek .....	17
2.1.3    Skleněná vlákna .....	18
2.1.4    Saze .....	18
2.2    BARVIVA A PIGMENTY .....	18
2.2.1    Barviva .....	18
2.2.2    Pigmenty .....	18
2.3    ZMĚKČOVADLA .....	19
2.4    MAZIVA .....	19
2.5    ANTISTATICKÁ ČINIDLA .....	19
2.6    NADOUVADLA.....	20
2.7    ANTIOXIDANTY .....	20
2.8    RETARDÉRY HOŘENÍ.....	20
2.8.1    Halogenové zpomalovače hoření .....	21
2.9    TEPELNÉ A SVĚTELNÉ STABILIZÁTORY .....	21
2.10    NUKLEAČNÍ ČINIDLA .....	21
<b>3 METODY STANOVENÍ</b> .....	<b>22</b>
3.1    SKENOVACÍ ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE .....	22
3.2    STANOVENÍ POPELA.....	23
3.3    INFRAČERVENÁ SPEKTROSKOPIE .....	23
3.4    PLYNOVÁ CHROMATOGRAFIE .....	23
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>24</b>
<b>4 CÍL</b> .....	<b>25</b>
<b>5 EXPERIMENTALNÍ ČÁST</b> .....	<b>26</b>

5.1	VZORKY A METODIKA .....	26
5.1.1	Vzorky .....	26
5.1.2	Skenovací elektronová mikroskopie .....	29
5.1.3	Stanovení popela .....	29
5.1.4	FTIR-ATR spektroskopie.....	30
5.1.5	Plynová chromatografie .....	30
5.2	VÝSLEDKY A DISKUZE .....	32
5.2.1	Skenovací elektronová mikroskopie .....	32
5.2.2	Stanovení popela .....	35
5.2.3	FTIR-ATR spektroskopie.....	36
5.2.4	Plynová chromatografie .....	39
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>42</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>43</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>49</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>53</b>



## ÚVOD

Balení je jedním z nejdůležitějších procesů pro udržení kvality produktu při skladování, přepravě i spotřebě. Zabraňuje mechanickému poškození nebo zhoršení kvality a usnadňuje distribuci a marketing. Základními funkcemi obalu jsou ochrana, poskytnutí informací a pohodlí pro spotřebitele [1].

Materiály na bázi plastů se často používají v obalech a lze se s nimi setkat v rozvojových i ekonomicky vyspělých společnostech. Trvalo více než 150 let, než balení potravin podstoupilo několik kroků, a nakonec se vyvinulo do současné podoby. Jako obalový materiál se nejdříve používal papír, dřevo a sklo. Trendy 20. a 21. století si ovšem vyžádaly použití nové generace obalovin. V 19. století byly objeveny plasty včetně nitrátu celulózy, styrenu a vinylchloridu. Polyetylen byl jeden z prvních plastů používaných široce pro balení potravin [1, 2].

V současné době je většina používaných potravinářských obalových materiálů nedegradovatelná a způsobuje vážné ekologické problémy. Jsou zkoumány a vyvíjeny nové technologie pro studium složité interakce mezi obalovými materiály pro potraviny a potravinami. Na českém trhu se také již dá setkat s novou generací plastů. Například kompozity na bázi celulózy představují ekologické obaly, které se snadno recyklují spalováním a vyžadují nízkou spotřebu energie při výrobě. Existuje několik takových biologicky rozložitelných materiálů, které jsou dostupné za relativně nízkou cenu, mají dobré mechanické vlastnosti a umožňují likvidaci kompostováním. Rozšířené používání biopolymerů místo standardních plastů by pomohlo redukovat množství odpadu. Pro tento posun je za potřebí charakterizace materiálových vlastností a identifikace použitých aditiv [2].

Tato bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je uvedena řada polymerů, které se využívají na balení potravin. V další kapitole teoretické části jsou uvedena aditiva vyžívaná ke zlepšení vlastností plastů. Praktická část obsahuje metody použité pro identifikaci a stanovení aditiv ve vybraných materiálech.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 OBALOVÉ MATERIÁLY

Obalové materiály lze definovat jako ochrannou vrstvu výrobku, která slouží k zachování kvality zboží až do určité doby spotřeby produktu. U řady výrobků je obalový materiál nezbytnou součástí. Obaly je možné rozdělit podle materiálu (plastové, skleněné, papírové, kombinované), funkčnosti (spotřebitelské, transportní, skupinové) a užití (jednorázové, znovupoužitelné). V konečném stadiu jeho procesu použití dochází ke změně obalového materiálu na odpad. Velké množství odpadu je možné využít k dalšímu zpracování. Podstatnou součástí využití odpadového materiálu je recyklace. Jedná se o proces, při kterém dochází k třídění obalového odpadu podle materiálového hlediska [3].

### 1.1 Obalové materiály pro potraviny

V potravinářském průmyslu jsou nejvíce využívány plastové obaly, ale také i obaly ze dřeva, kovu, skla atd. Obalové materiály slouží především k ochraně finálního produktu, což se týká zachování jeho kvality a celistvost. Mezi základní funkce obalových materiálů patří tedy ochrana výrobku před možnou kontaminací a znehodnocením mikroorganismy. Obal slouží k ochraně výrobku před vlhkostí, atmosférickým tlakem a světlem. Uzavření obalu je dalším aspektem pro lepší manipulaci, snadnou přepravu a navazuje na lepší ochranu proti kontaminaci. Další funkcí obalového materiálu je sdělení potřebných informací, které informují spotřebitele o obsahu jednotlivých složek, nutričních hodnot a pokynech pro přípravu a konzervaci. Poslední funkcí je objem výrobku, který je důležitý pro přepravu, skladování, použitelnost a využití z pohledu spotřebitele [4].

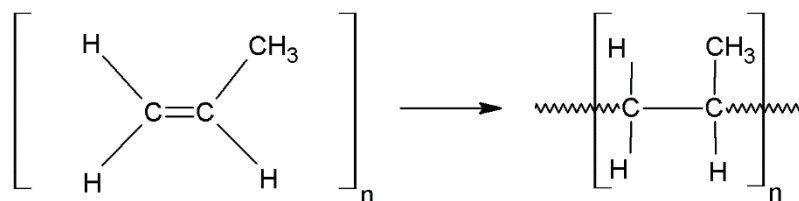
### 1.2 Polymerní obalový materiál

Plasty jsou polymery, u nichž vnější namáhání způsobuje deformace převážně nevratného (trvalého) charakteru. Nejčastěji používané plasty v potravinářském průmyslu jsou vyrobeny z nízkohustotního a vysokohustotního polyethylenu (LDPE, HDPE), polypropylenu (PP), polyethylentereftalátu (PET), polystyrenu (PS) nebo i z polyvinylchloridu (PVC). Obaly jsou zhotoveny z jednotlivých polymerů či z více vrstev, které mohou být kombinací více druhů polymeru tvořící tyto vrstvy. Z environmentálního hlediska jsou plasty v současné době opět postupně nahrazovány tradičními materiály, jako jsou např. kovy, keramika nebo sklo. Nicméně plastové výrobky nacházejí uplatnění zejména díky své nižší hmotnosti a ceně. Produkty vznikající z ropy vykazují vhodné bariérové vlastnosti, ale nejsou zcela biologicky rozložitelné. Rostoucím ekologickým problémem je likvidace odpadu

z obalů. Z hlediska ochrany životního prostředí se začaly v menší míře ve výrobě obalů používat biopolymery. Tento druh polymeru má dostatečně vysoké bariérové vlastnosti a je biologicky rozložitelný. Pomocí biologické rozložitelnosti a obnovitelnosti se biopolymery stávají ekologicky šetrné vůči současnému systému balení potravin. Polymery, především polyolefiny, jsou bezpečné, protože nereagují s potravinářským výrobkem [4, 5, 6, 7].

### 1.2.1 Obalový materiál z polypropylenu

Polypropylen patří mezi termoplastický polymer, který obsahuje lineární strukturu molekul. S polyethylenem se zařazuje mezi semikrystalické polyolefiny s nejjednodušší chemickou vazbou. Vyrábí se iontovou komplexně koordinační polymerací propylenu (plyn vznikající při tepelném zpracování ropy) za pomoci Ziegler-Nattových nebo metallocenových katalyzátorů. Chemická reakce polypropylenu je znázorněna na obrázku číslo 1 [8].



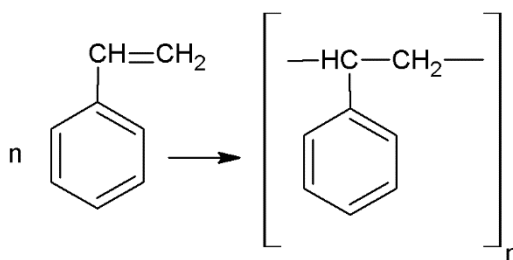
Obrázek 1: Polymerní reakce polypropylenu [9]

Pomocí katalyzátorů dochází v polymerním řetězci k tvorbě pravidelně se opakující trojrozměrné struktury v konkrétní orientaci. Umístění methylových skupin výrazně ovlivňuje schopnost polymerů vytvářet krystaly. Krystalizace ovlivňuje fyzikální vlastnosti polymeru. Podle strukturní takticity se polypropylen řadí mezi ataktický, izotaktický i syndiotaktický polymer. Izotaktický má vyšší krystalinitu, dobré mechanické vlastnosti a je rezistentní vůči chemickým rozpouštědlům, kyselinám a zásadám. Polypropylen se využívá v různých průmyslových odvětvích, které jsou zaměřovány na výrobu obalů, domácích spotřebičů, textilu, automobilových dílů a stavebních materiálů [8, 10].

Obaly vyrobené jen z polypropylenu mají průhledný a lesklý povrch. Vyznačují se vyšší houževnatostí a odolností proti protrhnutí. Jeho částečnou nevýhodou je mírná roztažnost vzhledem k vyšším teplotám. Polypropylen se podle využití zpracovává vstřikováním, vytlačováním i vyfukováním. V potravinářském průmyslu nachází uplatnění ve výrobě kelímků pro mléčné výrobky, jednorázových obalů a rovněž k zhotovení etiket na PET láhve [7].

### 1.2.2 Obalový materiál z polystyrenu

Polystyren (PS) patří do skupiny termoplastických polymerů. Jeho obsažené aromatické jádro v polymerním řetězci má za následek amorfni formu polymeru. Vyrábí se radikálovou polymerací styrenu (vinylbenzenu) a to suspenzní, emulzní, blokovou nebo roztokovou s ohledem na využití polymeru. Vznik polystyrenu z vinylbenzenu je znázorněn na obrázku číslo 2 [11].



Obrázek 2: Polymerní reakce polystyrenu [12]

Polystyren je vyroben především ve formě expandovaného polystyrenu (ePS), nebo houževnatého PS (HIPS). Využívá se i v kopolymerační podobě s různými monomery, především akrylo-nitrilem, vinyltoluenem, butadienem, methylstyrenem nebo i esterem kyseliny akrylové. Dostatečná pevnost a nízká hustota přispívají k snadnějšímu zpracování a formování výrobku. Značnou nevýhodou polystyrenu je použitelnost jen do teploty 75 °C. Ke stárnutí dochází při dlouhodobém působení okolního prostředí, což se projevuje změnou barvy (žloutnutí) a tvoření povrchových prasklin [11].

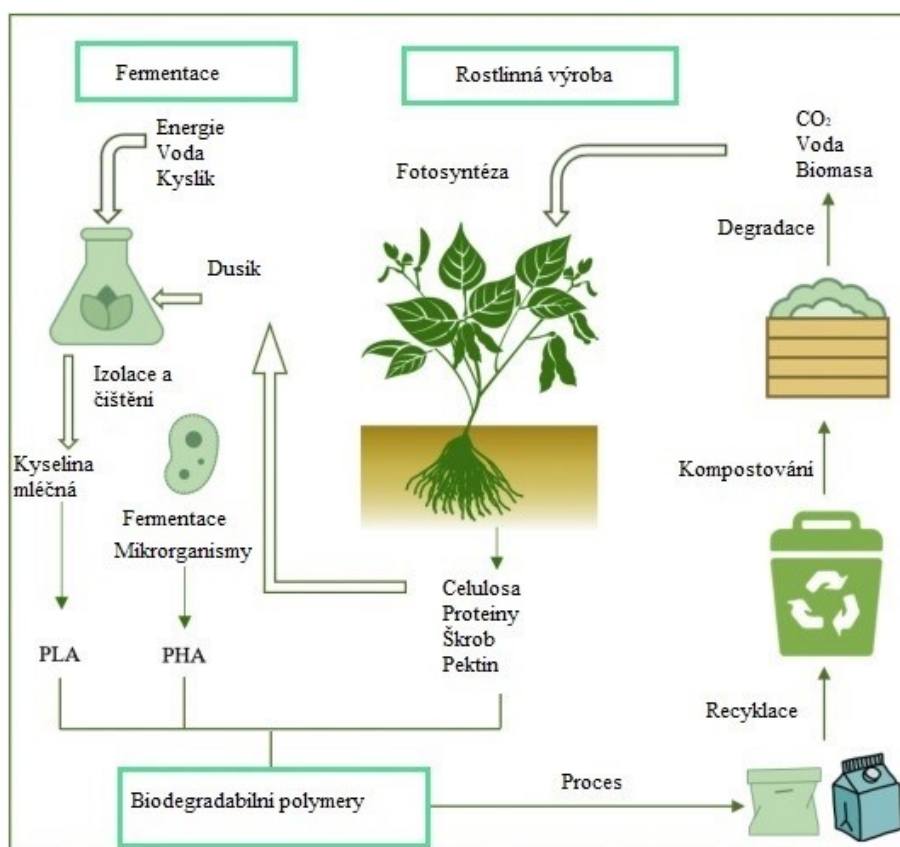
PS patří k materiálu, který více znečišťuje životní prostředí vzhledem na vysokou odolnost vůči mikrobiologickému rozkladu. V potravinovém průmyslu se polystyren využívá k výrobě obalů na mléčné produkty, saláty, dezerty, teplé pokrmy a ke zhotovení jednorázových obalů [11].

### 1.2.3 Obalový materiál z polyethylenu

Další polymer používaný pro výrobu obalu je polyethylen (PE). Polyethylen se využívá na základě jeho hustoty a molekulové struktury. Aplikují se také modifikované PE. Polyethylen s nízkou hustotou (LDPE), vysoce rozvětvenou strukturou a dobrou bariérou proti vlhkosti, je neutrální vůči potravinám, kosmetice a chemikáliím. LDPE se uplatňuje při výrobě potravinových folií, tašek, sáčků a kelímků. Polyethylen s vysokou hustotou (HDPE), lineární strukturou, vysokou bariérou proti vlhkosti a vyšší tuhostí než u LDPE, se využívá pro výrobu láhví, velkoobjemových nádob a folií a např. mikrotenu [13].

### 1.2.4 Biodegradabilní obaly

V současné době je velká pozornost kladena na rozvíjení polymerů biologicky rozložitelných z obnovitelných zdrojů. Tyto polymery jsou šetrné k životnímu prostředí s ohledem na rozložitelnost za pomoci mikroorganismů (bakterií). Řetězce biodegradabilního polymeru mohou být štěpeny chemickou hydrolyzou nebo enzymatickou cestou. Dochází k opakovanému procesu, který je popsán na obrázku č. 3 s ohledem na využití výchozí složky. Pro vznik polymeru se používají přírodní zdroje - celulósa, škrob, cukrová třtina a proteiny živočišného a rostlinného původu. Nejvíce využívanou surovinou je škrob a celulósa. Některé biodegradabilní polymery jsou biologicky rozložitelné a vyrábějí se z fosilních surovin [14, 15].



Obrázek 3: Cyklus biodegradabilních polymerů [14]

Biodegradabilní polymery se dělí podle výchozí složky a syntetických procesů na:

- přímo získané z biomasy (polysacharidy, bílkoviny)
- syntetické biopolymery z biomasy (kyselina polyléčná - PLA)
- fermenty získané z mikrobiální fermentace (polyhydroxyalkanoáty - PHA, polyhydroxybutyráty - PHB)
- z petrochemikálií (polykaprolakton, polyglykolid)

S ohledem na použití biopolymerů v potravinářském průmyslu pro výrobu obalového materiálu je jejich využití značně omezené z hlediska nízkých bariérových, tepelných a mechanických vlastností. Z hlediska obnovitelnosti a biologické rozložitelnosti se biopolymery dostávají do veřejného podvědomí. Z ekonomického hlediska (vyšší ceny) se biopolymery v průmyslu samostatně nevyrábějí. Pro rozšíření biodegradabilního materiálu v průmyslové výrobě je důležité minimalizovat náklady, proto se biopolymer kombinuje s obnovitelnou složkou [14, 16].

### **Kyselina polyléčná (PLA)**

Kyselina polyléčná neboli polylaktid je materiál na bázi biomasy, jedná se o kompostovatelný alifatický polyester. Kyselina polyléčná s vysokou molekulovou hmotností vzniká polymerací otevírání kruhu laktidových monomerů. Pro získání lepších vlastností a využití se v průmyslové výrobě používá polymerace otevírání kruhu s kombinací polykondenzace. Metodou polykondenzace vzniká nízkomolekulární polymer. Oproti jiným biologicky rozložitelným polymerům má PLA dobrou zpracovatelnost a přijatelné vlastnosti. Ve srovnání s polymery na bázi ropy (PP, PE, PET, PC) má polylaktid podobnou nebo v některých porovnání i lepší kvalitu. PLA s vysokou molekulovou hmotností se používá pro obalové aplikace. S nízkou molekulovou hmotností je vhodný pro lékařské účely, kde se využívá jeho vysoká biologická rozložitelnost [17].

### 1.3 Legislativní požadavky na obalové materiály

Obalové materiály musí plnit určitá kritéria a požadavky podle zákona č. 477/2001 Sb.- *Zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech)*. V tomto zákoně je uvedena a popsána ochrana životního prostředí a předcházení vytvoření odpadů z obalu. Důležitým bodem zákona je snížit objem, hmotnost a škodlivost chemických látek obalu. Výrobce obalu je povinný zajistit co nejmenší hmotnost a objem obalu, aby se snížilo množství odpadu z obalů, které je nutné odstranit. Každý vyrobený obal podléhá parametrům českých technických norem, které přijímá požadavky stanovené evropskou normou. Obal musí splnit předepsané limitní hodnoty koncentrace nebezpečných chemických látek obsažených v popelu, emisích, které unikají při spalování, nebo skladování odpadu z obalového produktu. U prvků kadmia, rtuti, olova a chromu (s oxidačním číslem VI) nesmí součet koncentrací v obalovém materiálu překročit hranici 100 mikrogramů na 1 gram. Tento limit se nevztahuje na obaly a obalové prostředky, které jsou vyrobeny z oloveného křišťálového skla. Limitní hodnoty nebezpečných látek a jejich označování jsou uvedeny v zákonu č. 157/1998 Sb. *o chemických látkách a chemických přídavných a o změně některých dalších zákonů* a doplněny nařízením vlády č. 258/2001 Sb., kde je uveden seznam. Obalový produkt musí být označený podle souladu se směrnicí evropského parlamentu a rady 94/62/ES *o obalech a obalových odpadech*. Pro značení a identifikaci daného materiálu nebo nakládání s obalovým odpadem se využívá číslování a zkratky na obalu či etiketě [18].



## 2 ADITIVA

Aditiva se využívají pro zlepšení materiálových vlastností a mohou mít vliv na zpracovatelnost polymeru. Kombinací polymeru a přísad se výsledná cena materiálů může snížit. Vybírají se v závislosti na typu polymeru, ke kterému budou přidány, nebo kde se bude využívat výsledný materiál. Používají se obvykle v menším množství, zajišťují lepší fyzikální a chemické vlastnosti polymeru [19, 20].

Přidavné látky se dělí na anorganická a organická aditiva. Do skupiny, které ovlivňují zpracovatelské vlastnosti, patří maziva, změkčovadla, antistatika, nadouvadla, plniva, barviva a pigmenty. Mezi přísady ovlivňující životnost lze zařadit antioxidanty, tepelné stabilizátory, světelné stabilizátory a retardéry hoření. Jednotlivá aditiva jsou používána na základě daného polymeru a konečného využití plastu [19, 20].

### 2.1 Plniva

Plniva se přidávají do polymeru k vylepšení mechanických a fyzikálních vlastností. V kompozitním materiálu tvoří samostatnou fázi. Plniva se dělí na pláty (mastek, jíly, skleněné vločky), částice (saze, dřevní moučka), vlákna (sklo, celuloza, dřevo) a nanoplňniva (nanočástice, uhlíkové nanotrubic). V polymerních materiálech se plniva využívají kvůli snížení nákladů, hořlavosti, tečení polymeru, zvýšení tepelné odolnosti, tuhosti a odolnosti proti vlhkosti. Používají se i pro zlepšení zpracovatelnosti, pevnosti v tahu, ohybu a řadě dalších vylepšení. S přidáním plniv se hmotnost kompozitu zvýší s ohledem na jejich výrazně vyšší hustotu, než která je u samotných polymerů [21].

#### 2.1.1 Uhlíčan vápenatý

Uhlíčan vápenatý je nejvíce využívaným plnivem u polymerní matrice. Uhlíčan vápenatý je řazen mezi přírodní formy, ale existují i synteticky vysrážené uhlíčitany ve formě velmi jemných částic. Vápenec, mramor a křída patří mezi základní zdroje tohoto plniva. Toto plnivo může obsahovat malé množství hořečnatých minerálů, například magnesit a dolomit [21].

#### 2.1.2 Mastek

Mastek patří do skupiny přírodních minerálů, obsahuje křemičitan hořčíku s obsahem vody. Podle Mohsovy stupnice je mastek v čisté formě nejměkčím materiálem. U polymerů se mastek využívá zejména kvůli měkkosti a plastické povaze částic [21].

### 2.1.3 Skleněná vlákna

Skleněná vlákna s poměrně nízkou hustotou mají vysokou pevnost. Přidáním skleněných plniv dochází ke zlepšení teplotní odolnosti, nízké absorpci, vlhkosti a ke zlepšení odolnosti proti povětrnostním vlivům. Skleněná vlákna se vyrábějí tavením, zvlákněním a následně dochází k chlazení. Nejpoužívanějším typem skleněných vláken, které se používají pro kompozitní aplikace, je E - sklo. Tento druh je odolný vlhkosti i chemikáliím [21, 22].

### 2.1.4 Saze

Saze se řadí do skupiny parakrystalického uhlíkového práškového materiálu. Obsahují velmi jemné velikosti částic v řádech desítek nanometrů a více. Saze patří mezi světelné stabilizátory, barevné pigmenty a také se využívá jako vyztužovací plnivo v kaučukových směsích. U síťování kaučuku dochází se zvyšujícím se obsahem sazí ke zkracování jeho řetězce z důvodu smykového namáhání [23].

## 2.2 Barviva a pigmenty

Barviva se přidávají ke zlepšení vzhledu a zbarvení plastů, ale přispívají také k částečné ochraně proti nežádoucím vlivům. Vnímání barvy se může lišit s ohledem na několik faktorů. Závisí na vlivu světelného zdroje (denní přirozené nebo zářivkové světlo), pozorovateli a materiálu. Vnímání barev ovlivňuje povrch, struktura a také tvar předmětu. Barvení materiálu se může provádět několika způsoby. Přidávky barviva či pigmentu se provádí povrchovým tiskem nebo lakováním, vložením přísady do polymerní hmoty (míchání), nanášením dekorativního filmu nebo laserovým značením [19].

### 2.2.1 Barviva

Barviva jsou rozpustná v polymeru. Rozpustnost má určitá ohraničení s ohledem na stabilitu a stálost, proto se musí zajistit, aby barvivo nemigrovalo z plastové součástky. Barviva mají atraktivní průhledná zbarvení, které se využívá zejména u předmětu, jako např. polymerní filtry, láhve na nápoje a léky nebo konstrukční střešní materiály [19].

### 2.2.2 Pigmenty

Pigmenty jsou rozptýleny v materiálu, tak, aby došlo k absorbování a rozptylu světla, které integruje s pigmentovými částicemi. Zároveň nejsou rozpustné v polymerech. Nejvíce zastoupenými pigmenty jsou bílé, černé a v neposlední řadě i barevné pigmenty. V polymerním materiálu se aplikují organické a anorganické pigmenty s různými

vlastnostmi. Anorganické lehce dispergují v polymeru, mají výbornou krycí schopnost, chemickou odolnost vůči rozpouštědlům a také povětrnostní a světelnou stálost. S ohledem na velikosti částic jsou anorganické pigmenty v rozmezí 0,1-2,0  $\mu\text{m}$  větší než organické pigmenty, které mají rozměr kolem 0,05 až 0,5  $\mu\text{m}$ . Organické jsou zabarveny bílými pigmenty a mají i přesto dobrou barevnou pevnost. S ohledem na jejich chemickou strukturu se tepelná a světelná stabilita liší [19].

### 2.3 Změkčovadla

Změkčovadla jsou netěkavá rozpouštědla a využívají se hlavně u polyvinylchloridu a v menším zastoupení i u jiných druhů polymerů. Jako změkčovadla se objevují nejčastěji nízkomolekulární nebo oligomerní materiály. Při přidávání zvyšují flexibilitu a dochází ke snížení viskozity taveniny v polárních řetězcích. Po vmíchání změkčovadel do polymerní matrice dochází ke zvýšení měkkosti a pružnosti, snížením teploty skleného přechodu. Mezi změkčovadla lze zařadit triacetin, dimethylftalát nebo parafinové a aromatické oleje. Tato rozpouštědla jsou často nahrazována plnivy [19,24].

### 2.4 Maziva

Maziva ovlivňují zpracování taveniny, usnadňují proces zpracování polymeru, zvyšují výkon nebo umožňují zkrácení doby cyklu. Maziva se rozdělují do dvou skupin na interní a externí maziva. Vnitřní (interní) snižují tření mezi molekulárními řetězci a používají se ke zvýšení pevnosti mezi sváry nebo snížení tlaku. Vnější (externí) zmenšují přilnavost mezi taveninou polymeru a povrchy z kovu a také dochází ke snížení teploty procesu. Je možná i kombinace maziva a přísad, které prokazují vzájemné účinky interního a externího maziva. Běžnými příklady maziv jsou např. masné alkoholy, estery, amidy, PE a ethylenvinylacetátový (EVA) vosk [25].

### 2.5 Antistatická činidla

Antistatika zvyšují povrchovou vodivost a snižují akumulaci elektrostatického náboje na povrchu. Činidla mohou být přidána během compoundace s dalšími přísadami nebo aplikována přímo na povrch. U polyolefinů se antistatika využijí jako vosková činidla, která jsou nekompatibilní s polymerem. Akumulací na povrch se stávají hydrofobické. Mezi nejpoužívanější antistatická činidla v průmyslu patří ethoxylované aminy mastných kyselin nebo estery glycerolu (monoglyceridy, polyglycerolestery) [26].

## 2.6 Nadouvadla

Nadouvadla se využívají u pěnových polymerů. Při zahřívání přídavných látek dohází ke vzniku inertního plynu. Expanze plynu vytváří pěnové nebo buněčné struktury, což vede ke zvětšování objemu polymeru. Velikost částic nadouvadla s viskozitou taveniny a rychlostí rozkladu ovlivňují vytváření jemné plastové pěny. Nadouvadla se dělí do dvou skupin na fyzikální a chemická činidla. U fyzikálních nadouvadel se využívají stlačitelné plyny nebo kapaliny, které se během výroby přeměňují na plyny. Chemická činidla jsou látky, u kterých během zpracování dochází k rozkladu a k uvolňování plynů. Tyto plyny napomáhají k expanzi polymerní taveniny [25, 27].

## 2.7 Antioxidanty

Antioxidanty jsou chemické látky, které se přidávají do organických polymerů pro ochranu před škodlivými účinky oxidace. U polymeru, který je vystaven teplu, světlu nebo atmosférickému kyslíku, dochází ke zhoršení vlastností během zpracování, skladování či použití. Antioxidanty se aplikují u většiny uhlovodíkových polymerů, např. u polypropylenu, polyethylenu a polystyrenu. Pro výběr jednotlivých antioxidantů se přihlíží na několik faktorů včetně stability, účinnosti, toxicity, požadované koncentrace nebo změny barvy a ceny. Ke zmírnění škodlivých účinků oxidace se právě proto přidává malý podíl antioxidantů do polymerní matrice. Množství, které se přidává, závisí na oxidaci daného polymeru. Čím více jsou polymery oxidovatelné, tím větší množství antioxidantů je potřebné. Podle přerušení oxidačního procesu se rozdělují na dvě skupiny, a to na preventivní antioxidanty a antioxidanty rozdělující řetězec. Přídavné látky se vybírají i na základě toho, že nebudou nepříznivě reagovat s ostatními složkami polymerní směsi [19, 20].

## 2.8 Retardéry hoření

Retardéry hoření napomáhají ke zpomalování vzplanutí nebo spalování. U polymerů je tato přísada výhodná s ohledem na snadné zapálení. Výjimkou jsou chlorované polymery, zejména PVC, který během hoření produkuje kouř. Při hoření polymeru dochází k větvení řetězových reakcí, jenž zahrnují atomový a molekulární vodík. Přidáním sloučenin, které obsahují chlor nebo brom, se hořlavost polymeru sníží. K retardérům hoření z anorganických látek patří oxid hlinitý, hydroxid hořečnatý nebo polyfosforečnan amonný. Hydroxidy hliníku a hořčíku jsou běžné velkoobjemové přísady používané právě ke zpomalování

hoření. Retardéry se využívají hlavně v odvětví stavebnictví, dopravě, elektronickém průmyslu a u předmětů požívaných k vybavení domu [19, 22].

### **2.8.1 Halogenové zpomalovače hoření**

Mezi halogenové zpomalovače patří organické sloučeniny chloru nebo bromu obsahující vysoké hladiny halogenu. S hladinou halogenu se zvyšuje účinnost zpomalovačů hoření. Halogenové sloučeniny musí být dostatečně stabilní, aby překonaly zpracování polymeru. Nevýhodou halogenů je vysoká tvorba kouře s doprovodem kyselých plynů, protože retardéry jsou hlavně v plynné fázi [19].

## **2.9 Tepelné a světelné stabilizátory**

Stabilizátory se využívají pro lepší stabilizaci směsi během zpracování při vyšších teplotách. Používají se pro zajištění stability při delším vystavení vysokým teplotám nebo venkovním podmínkám. Světelné stabilizátory v důsledku vystavení ultrafialovému světlu zamezují degradaci polymerů. U světelných dochází k odstranění volných radikálů vygenerovaných UV zářením. Tepelné stabilizátory se využívají při vystavení polymeru vysokým teplotám. Při takových teplotách dochází k tepelnému rozkladu a k měkčení materiálů [28].

## **2.10 Nukleační činidla**

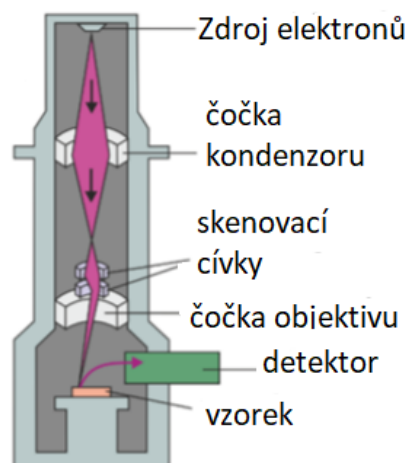
Jedná se o činidla, která napomáhají krystalizaci semikrystalických materiálů vytvářením nukleačních míst pro tvoření a růst sférolitů. V důsledku dodání nukleačního činidla do směsi dochází k tvoření většího množství sférolitů, ale rozměrově menších. Účinkem přidání nukleačních činidel dochází u polymeru ke zvýšení rychlosti krystalizace při vyšší teplotě. Používají se k vylepšení fyzikálních vlastností a estetiky. U krystalizace polymeru z taveniny jsou nukleační činidla v pevném stavu a mají menší průměrnou velikost částic. Používají se u PP, PET a polyamidu 6 (PA6) kvůli relativně pomalé krystalizaci [19, 25].

### 3 METODY STANOVENÍ

Tato kapitola popisuje metody, které byly použity pro praktickou část bakalářské práce. Jednotlivá stanovení jsou zaměřena na identifikaci látek přidaných do polymerní matrice. Mimo provedené metody se aditiva mohou zjišťovat pomocí kapalinové chromatografie, termogravimetrické analýzy a dalších. Identifikace aditiv ve směsi polymeru je velmi obtížná a náročná kvůli široké škále přídavných látek, které se liší v molekulové hmotnosti. Koncentrace aditiv je velmi často nízká [29].

#### 3.1 Skenovací elektronová mikroskopie

Skenovacím (rastrovacím) elektronovým mikroskopem (SEM) lze pozorovat různé materiály převážně velmi malých objektů, nebo objektů s detaily (např. deformacemi), které běžný optický mikroskop nerozpozná. Velikost vzorku je limitována rozměrem komory, do které se vkládá. Mikroskopem je možné pozorovat obrazy různých detailů vzorku s vyšší hloubkou ostrosti. Maximální rozlišení je do 1nm, ale běžně se využívá kolem 2 - 5 nm. Zobrazený obraz prohlíženého vzorku vzniká na základě jeho interakce s elektronovým svazkem. U SEM jsou využívány elektromagnetické čočky a za pomoci změny elektrického proudu umí regulovat zvětšovací schopnost. Tímto mikroskopem je možné pozorovat vnější struktury pozorovaného vzorku. Aby nedocházelo k vnějším vlivům atmosféry na elektrony, pracuje se za vakua. Na obrázku č. 4 je zobrazen průřez SEM obsahující úzký svazek elektronů, který je zaostřen na vzorek a prostřednictvím skenovacích cívek postupně řádek po řádku rastruje jeho plochu. Elektronová mikroskopie se využívá v různých oborech k pozorování struktury látek [30].



Obrázek 4: Schématický řez u SEM [30]

### 3.2 Stanovení popela

U polymerů se provádí stanovení popela na zjištění celkového množství anorganických látek ve zkoumaném materiálu. Stanovení se provádí podle českých technických nebo evropských norem. Pro obecné určení popela u polymeru se postupuje podle normy ČSN EN ISO 3451-1: Plasty - Stanovení popela, platné na národní úrovni od roku 2009 [31].

### 3.3 Infračervená spektroskopie

Infračervená spektroskopie (FTIR-ATR - Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací s technologií zeslabeného úplného odrazu) je široce využívaná kvalitativní metoda pro polymerní průmysl. Pomocí FTIR spektroskopie se zjišťují vnější vrstvy materiálu. U této metody nelze stanovit jednotlivá aditiva, pokud nejsou oddělena od polymerů. FTIR analýza je závislá na hodnotách spekter získaných z měření. Pro kvalitní zjištění spekter je důležitý přímý kontakt vzorku s krystalovým povrchem. U pevných a práškových materiálů je potřeba předmět přitlačit pomocí přitlačky, aby nedocházelo k částečnému znehodnocení spektra. Pro jednotlivá měření se používají jiné druhy krystalu ve tvaru lichoběžníkového hranolu situovaný v horizontálním uspořádání. Nejběžnější typy krystalu jsou z germania, křemíku, selenidu zinečnatého a diamantu. Při analýze se pozorovaný vzorek nepoškodí a může být použitý na jinou metodu. Výsledné spektrum obsahuje několik píků v oblasti vlnové délky od  $4000\text{ cm}^{-1}$  po  $400\text{ cm}^{-1}$  pro určení chemické struktury. Pro jednotlivé rozhraní vlnočtů náleží funkční skupina a typ vibrace [32, 33].

### 3.4 Plynová chromatografie

Chromatografie se řadí mezi hlavní část separačních metod. Mobilní fáze se rozděluje na plynovou (GC) nebo kapalinovou (LC) chromatografii. Principem plynové chromatografie je dělení distribuce složek mezi dvě fáze. Stacionární (nepohyblivá) fáze může být nepolární až polární a je situována v chromatografické koloně. Přes tuto kolonu proniká nosní plyn (mobilní fáze). Metoda se používá zejména pro stanovení organických látek s teplotou varu do  $400\text{ °C}$  a sloučenin především těkavé povahy. Chromatograf je konečné grafické znázornění závislosti detektoru na čase. Identita látky se zjišťuje podle polohy píku. Jednotlivý chromatografický pík je popsán retenčním časem, výškou a šířkou píku, která je měřena v polovině vrcholu nebo na základní linii. Tvar Gaussovy distribuce popisuje pík [34, 35].

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 4 CÍL

Cílem bakalářské práce bylo zjistit, jaká aditiva se vyskytují ve vybraných polymerních vzorcích dostupných na českém trhu. Předměty vybrané pro stanovení byly z potravinářského průmyslu. Jedná se o jednorázové obaly dle výrobců na bázi polypropylenu a biologicky rozložitelných materiálů.

Pro naplnění cíle práce byly definovány následující úkoly:

- Potvrzení přítomnosti anorganických aditiv elektronovou mikroskopií;
- Stanovení anorganického podílu ve vzorcích dle ČS EN ISO 3451;
- Identifikace materiálů pomocí infračervené spektroskopie;
- Identifikace materiálů pomocí plynové chromatografie;
- Identifikace organických aditiv pomocí plynové chromatografie.

Přídavné látky identifikované v obalovém materiálu byly porovnávány s limity uvedenými v platné legislativě.

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části byla provedena stanovení a identifikace aditiv u vybraných potravinářských obalů. Jednalo se o různé druhy jednorázových kelímků a misek, které byly dle výrobců vyrobeny z polypropylenu nebo biodegradabilního materiálu. Nejprve byla zkoumána vnitřní struktura vzorků pomocí stolního elektronového mikroskopu. U vzorku byl nejprve zkoumán vnitřní profil z vytvořeného lomu na stolním elektronovém mikroskopu. Ke zjištění polymerní matrice byla použita FTIR-ATR spektroskopie a analýza spekter plynové chromatografie. Ke stanovení organických přídatných látek se použila taktéž plynová chromatografie. Metoda stanovení popela byla použita pro kvantifikaci anorganických aditiv ve vzorku.

### 5.1 Vzorky a metodika

#### 5.1.1 Vzorky

Vzorky kelímků jsou zobrazeny na obrázcích číslo 5 - 7:

- 1. vzorek: kelímek z polypropylenu od firmy WIMEX s.r.o. - Náchod
- 2. vzorek: kelímek z polypropylenu od firmy Sapler a.s. Karviná-Nové Město
- 3. vzorek: kelímek z polylaktidu od firmy STAMA Zlín



Obrázek 5: Kelímek z polypropylenu



Obrázek 6: Kelímek z polypropylenu



*Obrázek 7: Kelímek z polymlaktidu*

Vzorky jednorázových misek jsou zobrazeny na obrázcích číslo 8 až 14:

- 4. vzorek: miska z polypropylenu od firmy PETRUZALEK s.r.o. Břeclav
- 5. vzorek: miska z cukrové třtiny od firmy STAMA Zlín
- 6. vzorek: miska z polypropylenu od firmy PETRUZALEK s.r.o. Břeclav
- 7. vzorek: miska z polypropylenu od firmy REGINA OBALY s.r.o. Nepomuk
- 8. vzorek: miska z polypropylenu od firmy GROUPE GUILLIN Beausemblant
- 9. vzorek: miska z polypropylenu od firmy PLASTYKO WORD s.r.o. Batelov
- 10. vzorek: miska z celulosy od firmy PLASTYKO WORD s.r.o. Batelov



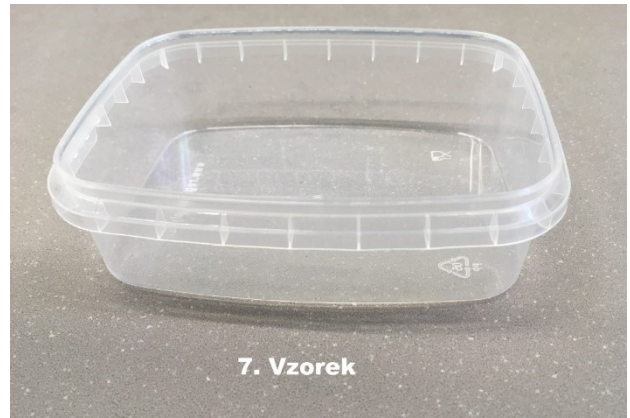
*Obrázek 8: Miska z polypropylenu*



*Obrázek 9: Miska z cukrové třtiny*



*Obrázek 10: Miska z polypropylenu*



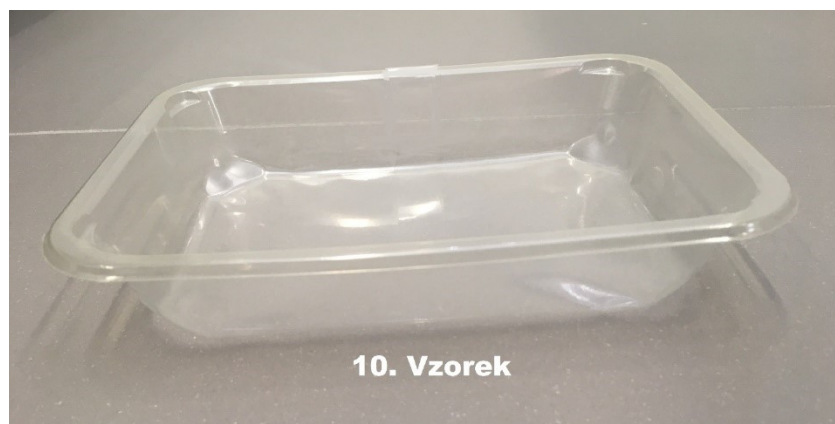
*Obrázek 11: Miska z polypropylenu*



*Obrázek 12: Miska z polypropylenu*



*Obrázek 13: Miska z polypropylenu*



*Obrázek 14: Miska z celulosy*

### 5.1.2 Skenovací elektronová mikroskopie

Pomůcky: kapalný dusík, uhlíková páska, držák pro vodivé vzorky, Stolní elektronový mikroskop - SEM Phenom Pro

Pro mikroskopické stanovení byl ze vzorku vystřížen podlouhlý obdélník, u kterého se udělal krylom za pomoci kapalného dusíku. Manipulace se vzorkem byla prováděna pomocí pinzety, aby nedošlo k výskytu nečistot na ploše držáku vzorku. Vzorek byl pomocí pinzety umístěn kolmo na uhlíkovou pásku a profouknut stlačeným plynem k odstranění případných nečistot. Poté byl uchycen do držáku pro vodivé vzorky a umístěn do komory stolního elektronového mikroskopu. Obraz vzorku byl vytvořen při urychlovacím napětí 5 kV a pozorován při 160 x, 500 x a 1000 x zvětšení.

### 5.1.3 Stanovení popela

Pomůcky: kelímek z porcelánu, plynový kahan, exikátor, horkovzdušná sušárna, analytické váhy - RADWAG AS 220.R2, muflonova pec - LAC Ht60B

Stanovení popela bylo provedeno podle české technické normy ČSN EN ISO 3451-1: Plasty - Stanovení popela.

Metoda zkoušky byla provedena přímým žíháním. Keramický kelímek byl nejprve vysušen v sušárně při teplotě 110 °C po dobu 20 minut a následně vložen do exikátoru pro vychladnutí na laboratorní teplotu. Z důvodu eliminace ovlivnění hmotnosti vzorků se pro manipulaci používaly laboratorní kleště a pinzety. Navážka vzorku byla 2 g s přesností na 0,1mg navážena na analytických vahách a vložena do keramického kelímku. Vzorek se následně pozvolna spálil nad plynovým kahanem, aby došlo k odstranění těkavých látek. Spálený vzorek byl uzavřen do vyhřáté muflonové pece na 650 °C po dobu 30 min. Po uplynutí času se kelímek vložil do exikátoru, kde se nechal až do zchladnutí na laboratorní teplotu. Žíhání bylo prováděno do doby, kdy vzorek měl konstantní hmotnost. Z navážky vzorků a hmotnosti popela byl spočítán procentuální obsah popela podle uvedeného vzorce (1):

$$\frac{m_1}{m_0} \cdot 100 \quad (1)$$

kde  $m_0$  je hmotnost navážky původního vzorku a  $m_1$  hmotnost získaného popela po spálení.

Stanovení popela bylo provedeno u každého vzorku 3 x [30].

#### 5.1.4 FTIR-ATR spektroskopie

Pomůcky: ethanol, ATR nástavec (iD5, Thermo Scientific) s germaniovým krystalem, Spektrometr Nicolet iS5

Vzorek byl umístěn na plochu krystalu a přichycen přitlačkou. Měření a vyhodnocení spekter proběhlo dle manuálu v softwaru Omnic. Každý vzorek byl měřen z obou stran. Mezi stanoveními jednotlivých vzorků byl krystal očištěn ethanolem.

#### 5.1.5 Plynová chromatografie

Pomůcky: pyrolýzní kelímek na vzorky s držákem, plynový chromatograf - GCMS-QP2010 Ultra - Shimadzu, pyrolýzní jednotka - EGA-PY-3030D-Frontier Lab, mikrováha - METTLER TOLEDO-XP6-EXCELLENCE Plus

Na mikrováhách byl navážen vzorek s hmotností v rozmezí 0,5 až 1,5 mg a následně vložen do kelímku s držákem. Připravený vzorek byl vložen do nástavce a uchycen do pyrolýzní jednotky. Následně byl vzorek odvzdušněn 3 x pomocí ventilku. Následně byl vzorek uvolněn do těla pyrolýzní jednotky. Pomocí programu EGA/PY byla spuštěna pyrolýza vzorku při 600 °C po dobu 0,4 min. Následně byla spuštěna separace vzorku na chromatografické koloně ULTA-ALLOY<sup>+</sup> (30 m x 0,25 mm x 0,50 μm, výrobce Frontier Lab.) a detekce hmotnostním detektorem. Podmínky analýzy byly následující: teplota nástřiku 320 °C (mód Split 1:100); nosný plyn He, průtok kolonou 1 ml/min; program na koloně 40 °C po dobu 2 min, následně nárůst 20 °C/min na teplotu 320 °C a výdrž 15 min; teplota iontového zdroje a interface 230 °C, akviziční mód Scan při m/z 29-600. Analýza probíhala 31 min. Každý vzorek byl měřen dvakrát, jednotlivé navážky jsou uvedeny v tabulce 1. Vyhodnocení pyrogramů probíhalo pomocí programu F-Search a GCMS LabSolution.

*Tabulka 1: Navážky vzorků pro měření*

	1. navážka [mg]	2. navážka [mg]
1. vzorek	1,103	0,951
2. vzorek	1,023	1,122
3. vzorek	1,060	1,122
4. vzorek	0,942	1,282
5. vzorek	0,993	1,291
6. vzorek	1,097	0,700
7. vzorek	0,571	1,047
8. vzorek	0,762	0,660
9. vzorek	1,134	0,680
10. vzorek	0,654	0,834

## 5.2 Výsledky a diskuze

### 5.2.1 Skenovací elektronová mikroskopie

Pomocí skenovací elektronové mikroskopie lze pozorovat strukturu jednotlivých vzorků. Jejich morfoloická struktura je zobrazena na obrázcích č. 15 – 24. Byli vybrány fotografie vzorků při 500x zvětšení a měřítkem 100  $\mu\text{m}$ . U vzorku č. 2 nebylo možné udělat krylom s ohledem na jeho malou tloušťku. Stejný problém byl u vzorku č. 3, kde se nejednalo materiál vyrobený z polylaktidu. Studovaný typ PLA materiálu měl pravděpodobně malé deformační vlastnosti a nízkou teplotu skelného přechodu ( $T_g$ ) 55-60 °C.

Vzorky 1, 4, 6, 7 a 8 mají velmi podobnou morfoloickou strukturu, jedná se dle značení na vzorcích o stejný typ materiálu. Všechny jmenované vzorky byly jednovrstvé a bez přídatných plniv.

U vzorku 2 byla mikroskopická morfoloogie složitější. Vzorek obsahuje podélnou prohlubeň, která mohla vzniknout při zpracování výrobku nebo se může jednat o laminovaný materiál. Také může obsahovat příměs plniva.

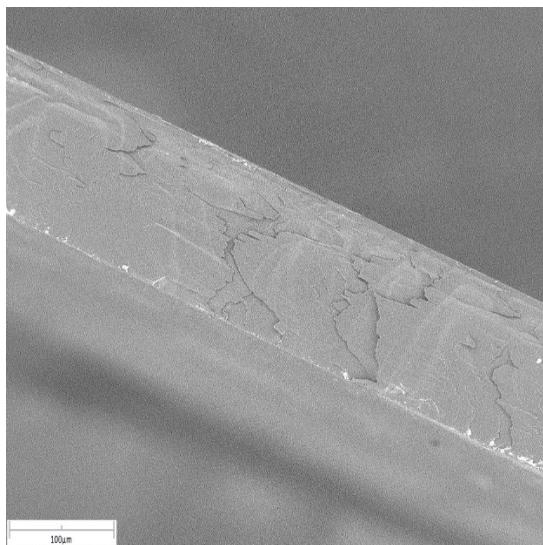
Vzorek 3, s ohledem na neumožnění lomu vzorku, musel být za pomoci nůžek rozstříhnut pro obdržení střížné plochy. Proto na obrázku č. 17 lze vidět u konce šířky vzorku deformaci materiálu způsobenou stříhem. U vzorku bylo vidět, že se jedná o jednovrstvý materiál s nepatrným množstvím částic.

U Vzorku č. 5 bylo vidět, že se jedná o homogenní matici složenou z lamel.

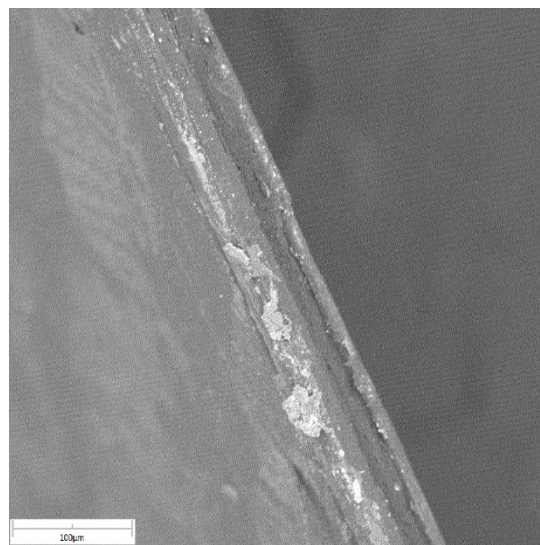
Naproti tomu u Vzorku 9 bylo vidět, že obsahuje větší množství částic plniva a jedná se o jednovrstvý materiál. Struktura plniva naznačuje na anorganické částice.

U Vzorku č. 10 bylo zjištěno, že se jedná o jednovrstvý materiál s příměsí malého množství částic plniva.

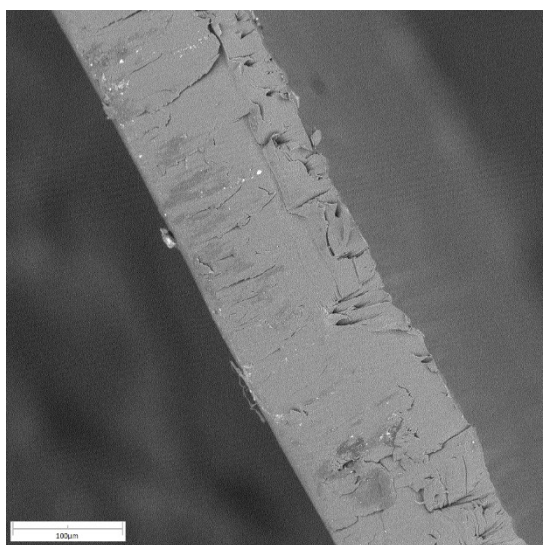




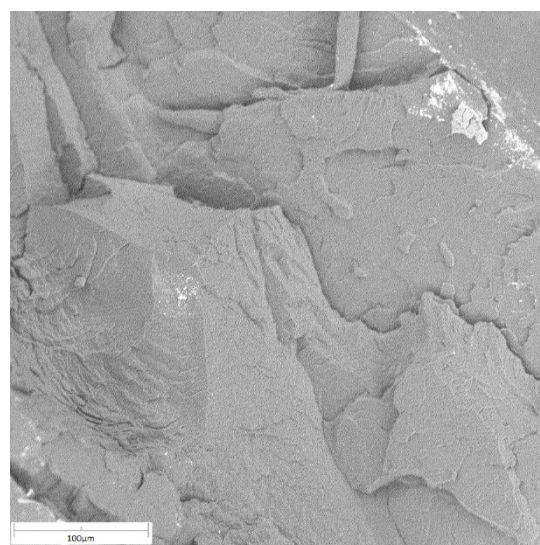
*Obrázek 15: Lom u vzorku č. 1*



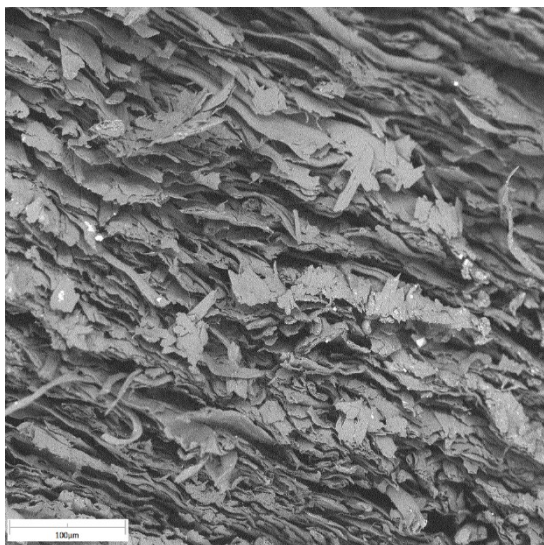
*Obrázek 16: Lom u vzorku č. 2*



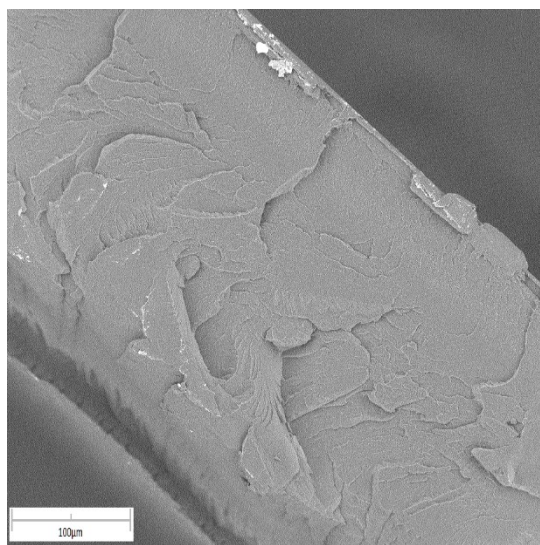
*Obrázek 17: Lom u vzorku č. 3*



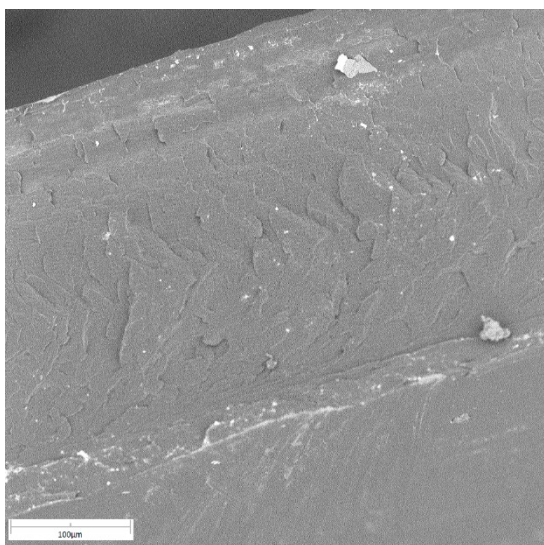
*Obrázek 18: Lom u vzorku č. 4*



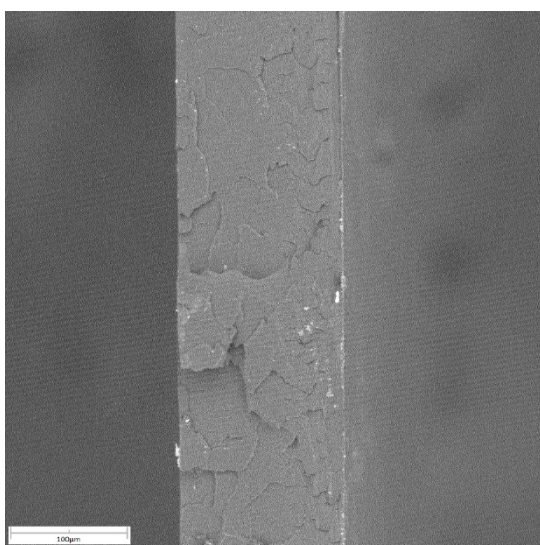
*Obrázek 19: Lom u vzorku č. 5*



*Obrázek 20: Lom u vzorku č. 6*

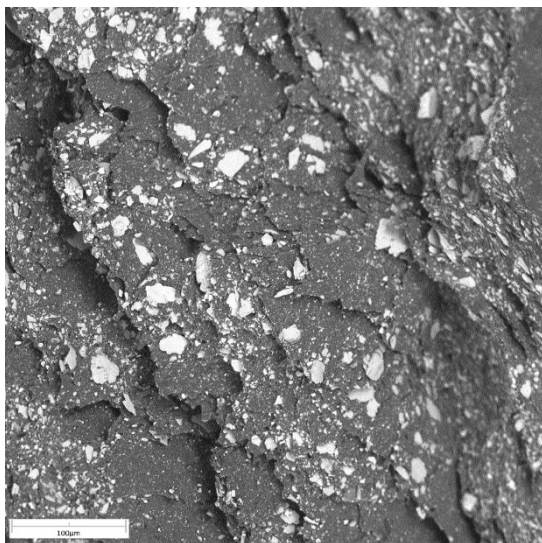


*Obrázek 21: Lom u vzorku č. 7*

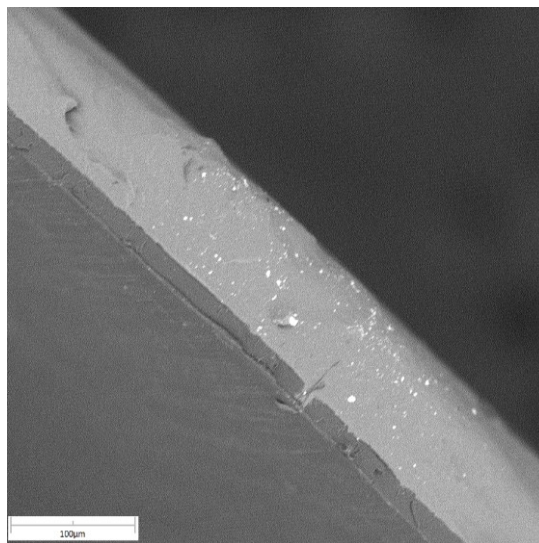


*Obrázek 22: Lom u vzorku č. 8*





Obrázek 23: Lom u vzorku č. 9



Obrázek 24: Lom u vzorku č. 10

### 5.2.2 Stanovení popela

Obsah popela, tedy podílu anorganických složek, byl prokázán jen u některých vzorků obalových materiálů, jak je vidět v tabulce č. 2. Pro optimalizaci metodiky se u prvního stanovení postupovalo přesně podle normy ČSN EN ISO 3451-1: Plasty - Stanovení popela, kde je udaná navážka vzorku 2 g s přesností 0,1 mg. Podle výsledků uvedených v tabulce pro první měření bylo prokázáno, že u vzorku 1, 6, 7 a 8 nevznikl žádný popel, protože po vyžhání do konstantní hmotnosti byla navážka kelímku stejná, jako před spalováním vzorku. Pro eliminaci chyby měření se dle doporučení normy pro druhé a třetí stanovení u vzorků 1, 6, 7 a 8 změnila navážka na 10 g s přesností 0,1 mg. Navýšení navážky prokázalo, že vzorky obsahovaly nepatrné množství organických látek. U vzorku číslo 9, s ohledem na 51 %ní obsah anorganických složek, byl zvolen obrácený postup, kdy se pro další stanovení navážka změnila na 1 g s přesností 0,1 mg. Tato změna neovlivnila pokles obsahu anorganických látek a zůstala zachována kolem 51 %. U ostatních vzorků byla navážka zachována.

Obsah Popela byl největší u vzorku č. 9 (51,01 %), následně pak u vzorku č. 2 (5,25 %) a vzorku č. 10 (1,36 %). Naopak vzorek č. 8 i přes zvýšení navážky shořel beze zbytku.

V příložené příloze P I jsou zobrazeny fotografie vzorků po žhání nad kahanem a po následném spálení v peci. U vzorků č. 2, 5, 9 a 10 si lze povšimnout zřetelného množství popela, u kterého byla provedena FTIR-ATR spektroskopie pro identifikaci anorganického podílu. Výsledky jsou uvedeny v kapitole 5.2.3.

Tabulka 2: Výsledky stanovení popela obalových materiálů

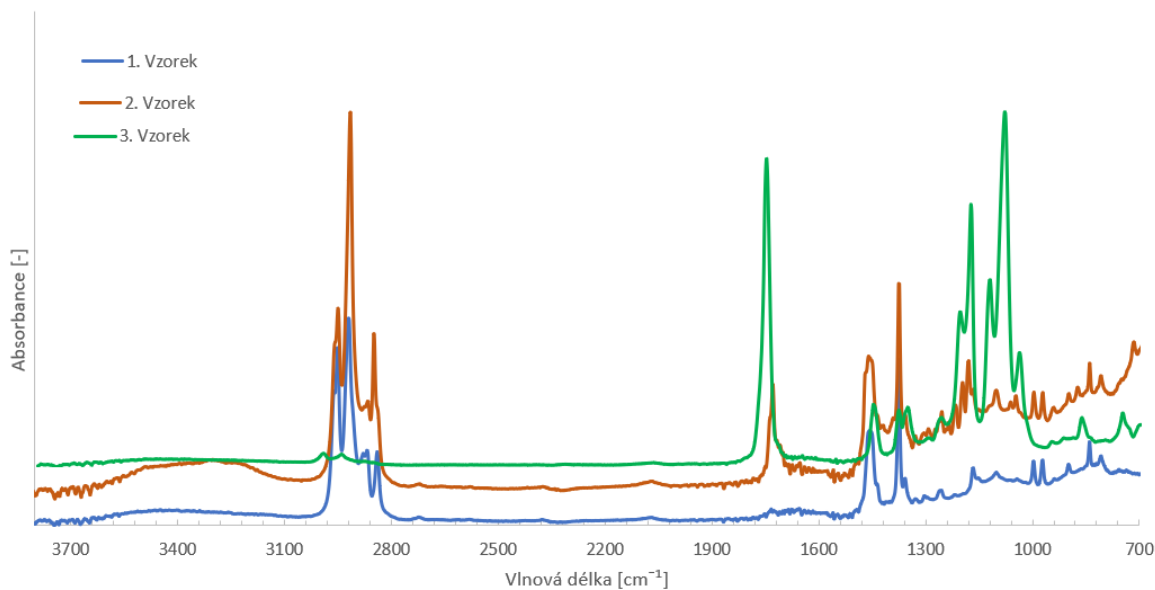
	1. stanovení [%]	2. stanovení [%]	3. stanovení [%]	Průměr [%]
1. vzorek	0,00	0,02	0,01	0,01±0,01
2. vzorek	5,45	5,12	5,14	5,25±0,15
3. vzorek	0,04	0,08	0,04	0,05±0,02
4. vzorek	0,01	0,01	0,01	0,01±0,00
5. vzorek	0,34	0,33	0,36	0,34±0,01
6. vzorek	0,00	0,03	0,02	0,02±0,01
7. vzorek	0,00	0,04	0,02	0,02±0,01
8. vzorek	0,00	0,00	0,00	0,00
9. vzorek	51,16	51,04	50,84	51,01±0,13
10. vzorek	1,33	1,36	1,38	1,36±0,02

### 5.2.3 FTIR-ATR spektroskopie

Pomocí infračervené spektroskopie byla získána spektra vzorků a popela některých vzorků, jak je popsáno výše. Grafické znázornění spekter je závislostí absorpance na vlnovou délce. Jednotlivá spektra vzorků nápojových kelímků jsou uvedena na obrázku č. 25 a spektra vzorků misek na obrázku č. 26. Jednotlivé píky znázorňují skupinu a typ vibrace. Každé spektrum bylo porovnáno s knihovnou programu Omnic a zjistilo se, jakou polymerní matici má jednotlivý vzorek s pravděpodobností shody alespoň 70 %. Jednotlivé matrice jsou zapsány do Tabulky č. 3.

Charakteristické píky vlnočtů zobrazené na obrázku č. 25:

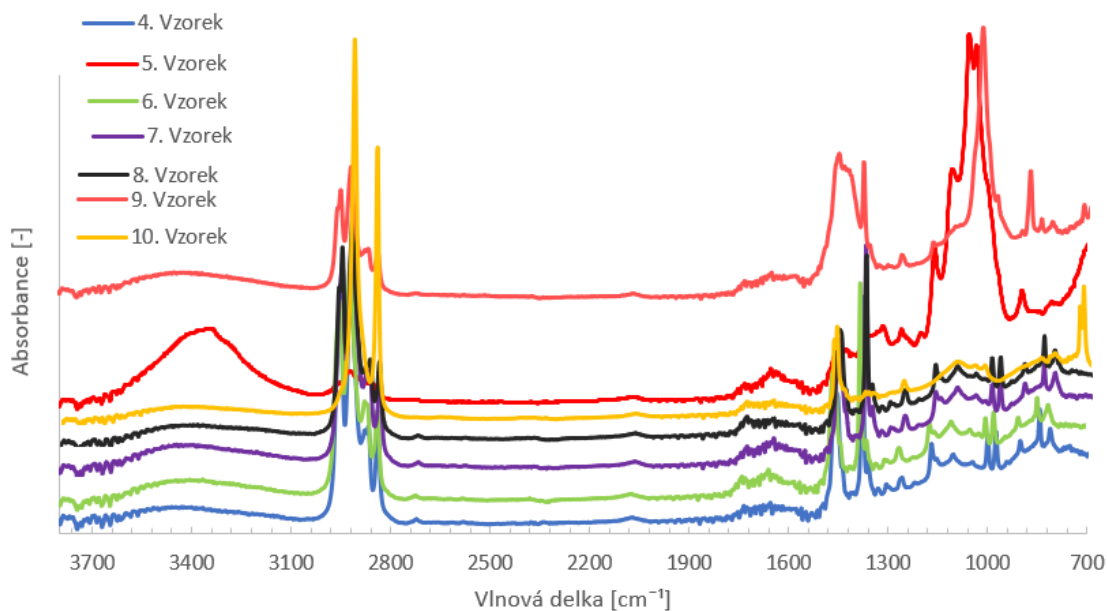
- 3400-3300  $\text{cm}^{-1}$ : OH valenční vibrace
- 2960-2950  $\text{cm}^{-1}$ :  $\text{CH}_3$  valenční nesymetrická vibrace
- 2930-2910  $\text{cm}^{-1}$ :  $\text{CH}_2$  valenční nesymetrická vibrace
- 2870-2860  $\text{cm}^{-1}$ :  $\text{CH}_3$  valenční symetrická vibrace
- 2850-2830  $\text{cm}^{-1}$ :  $\text{CH}_3$  valenční symetrická vibrace
- 1700-1750  $\text{cm}^{-1}$ : C=O valenční vibrace
- 1470-1450  $\text{cm}^{-1}$ : C-H deformační rovinná (nůžková) vibrace
- 1370  $\text{cm}^{-1}$ : C-H deformační rovinná (deštníková) vibrace
- 1180-1050  $\text{cm}^{-1}$ : C-O-C valenční nesymetrická vibrace
- 720-700  $\text{cm}^{-1}$ : C-H deformační rovinná (kolébavá) vibrace



Obrázek 25: Grafické znázornění FTIR-ATR spektroskopie u vzorků kelímků

Charakteristické píky vlnočtů zobrazené na obrázku č. 26:

- 3600-3100 cm<sup>-1</sup>: OH valenční vibrace
- 2960-2950 cm<sup>-1</sup>: CH<sub>3</sub> valenční nesymetrická vibrace
- 2930-2910 cm<sup>-1</sup>: CH<sub>2</sub> valenční nesymetrická vibrace
- 2870-2860 cm<sup>-1</sup>: CH<sub>3</sub> valenční symetrická vibrace
- 2850-2830 cm<sup>-1</sup>: CH<sub>3</sub> valenční symetrická vibrace
- 1470-1450 cm<sup>-1</sup>: C-H deformační rovinná (nůžková) vibrace
- 1370 cm<sup>-1</sup>: C-H deformační rovinná (deštníková) vibrace
- 720-700 cm<sup>-1</sup>: C-H deformační rovinná (kolébavá) vibrace



Obrázek 26: Grafické znázornění FTIR-ATR spektroskopie u vzorků misek

Rozbor struktury u všech vzorků prokázal přítomnost C-H, C=O a O-H vazeb ve všech případech, jedná se tedy o polymerní matrice na uhlíkové bázi. Nebyly nalezeny píky ukazující např. na matrice na bázi dusíku.

Tabulka 3: Polymerní matrice vzorků stanoveny FTIR-ATR

	Polymerní matrice	Pravděpodobnost [%]
1. vzorek	PP	78
2. vzorek	PP	74
3. vzorek	PLA	98
4. vzorek	PP	79
5. vzorek	Celulosa	82
6. vzorek	PP	82
7. vzorek	PP	82
8. vzorek	PP	79
9. vzorek	PP	82
10. vzorek	Celulosa	89

V předchozí podkapitole bylo zmíněno provedení infračervené spektroskopie u popela ze vzorku 2, 5, 9 a 10.

U vzorku č. 2 byl identifikována látka na bázi hydroxidu hořečnatého a Poly(styrene-co-acrylonitrile) s 50 % bílým pigmentem sloužící k zabarvení materiálu [36].

Vzorek č. 5 obsahoval skleněná vlákna. U vzorku 9 byla identifikována celulosová vlákna, jedná se tedy pravděpodobně o kompozit z PP a celulosy. Vzorek 10 obsahoval v popelu celulosu, ze které je vyroben.

#### 5.2.4 Plynová chromatografie

Pyrogramy vzorků byly vyhodnoceny v programu F-Search, který určil polymerní matici každého vzorku (viz tabulka 4). Vyhodnocená průměrná spektra ve formě spektrálních čar jsou uvedena v příloze P II na obrázcích 29 – 38, kde je vždy nahoře vidět reálné spektrum vzorku v porovnání s knihovnou (dole).

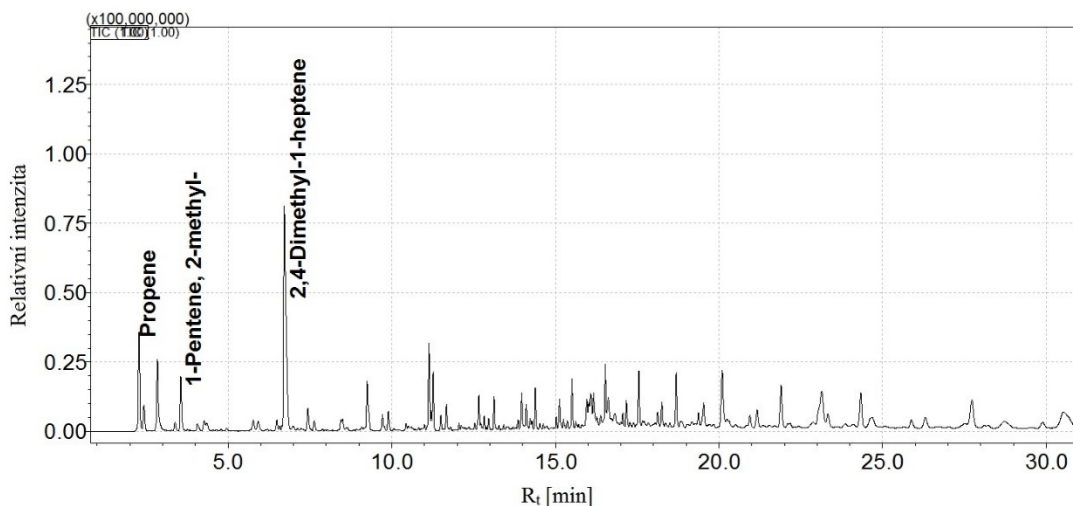
Jak je ze získaných výsledků vidět, plynová chromatografie potvrdila výsledky FTIR analýzy při identifikaci polymerní matrice pro jednotlivé vzorky.

Tabulka 4: Výsledné polymerní matrice vzorků

	Polymerní matrice	Pravděpodobnost [%]
1. vzorek	Isotaktický PP	97
2. vzorek	Isotaktický PP	98
3. vzorek	PLA	76
4. vzorek	Isotaktický PP	98
5. vzorek	Celulosa	91
6. vzorek	Isotaktický PP	98
7. vzorek	Isotaktický PP	98
8. vzorek	Isotaktický PP	98
9. vzorek	Isotaktický PP	97
10. vzorek	Celulosa	81

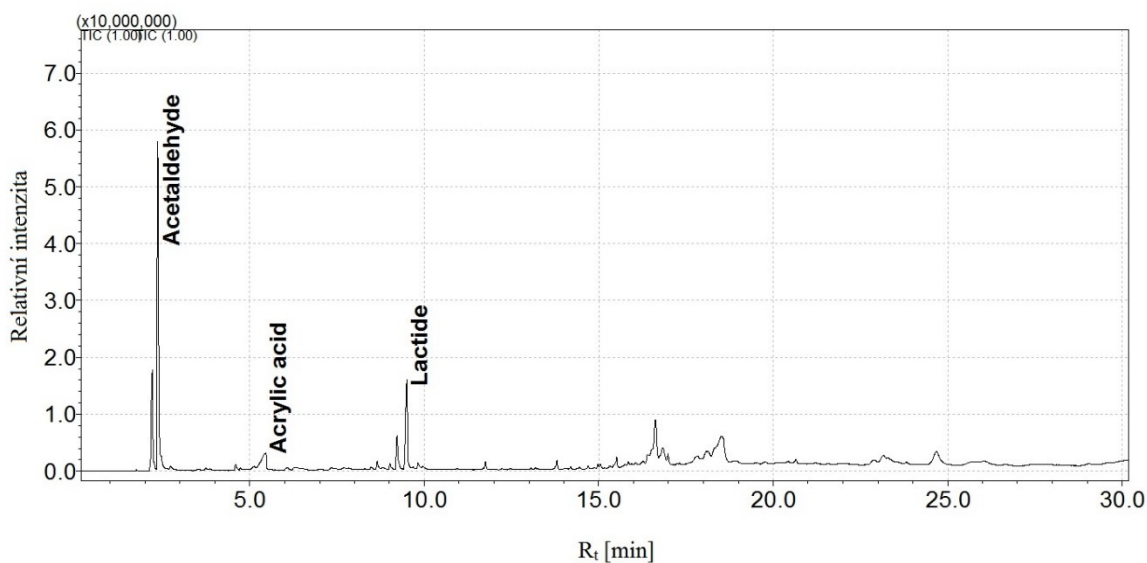
Pyrogramy vzorků byly analyzovány také pomocí softwaru GCMS LabSolution, kde nebyla zjištěna chemická rozdílnost vzorků č. 1, 2, 4, 6 až 9. U obou PP kelímků a misek nebyla identifikována organická aditiva.

Pro polypropylen je ve spektrech typická přítomnost propylenu, jeho dimeru (2-methyl-1-penten) a trimeru (2,4-dimethyl-1-hepten). Tyto složky byly identifikovány ve všech vzorcích na bázi polypropylenu. Pro názornost je v bakalářské práci uvedeno vyhodnocené spektrum vzorku 1 (obrázek č. 27) typické pro polypropylen [37].



Obrázek 27: Pyrogram vzorku č. 1 – Polypropylen

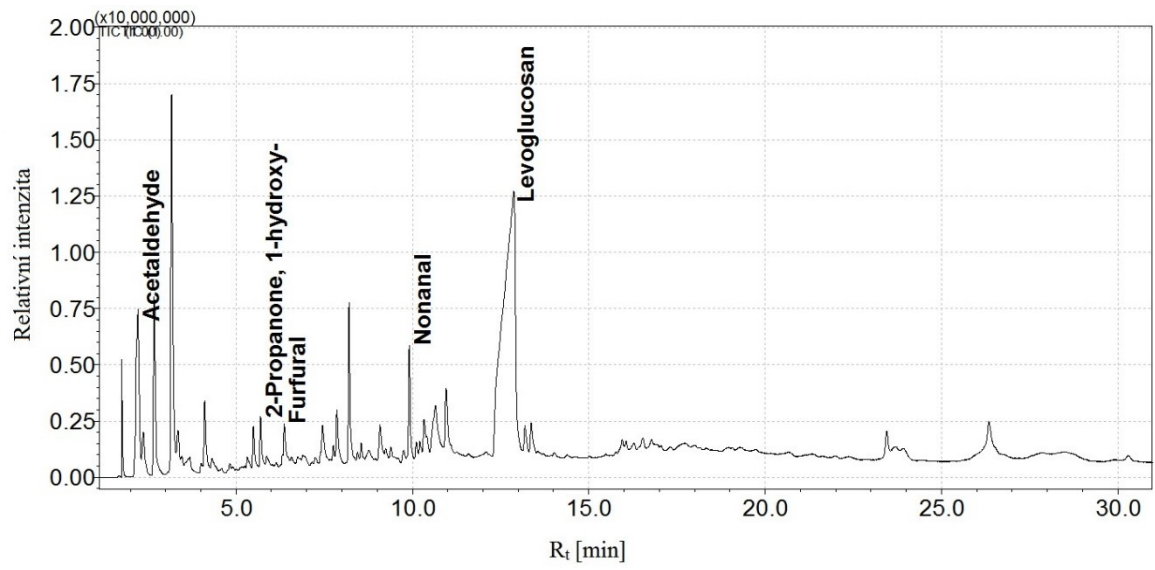
Vzorek 3 neukázal žádná aditiva, ve spektru byly potvrzeny pouze struktury typické pro PLA, kterými jsou acetaldehyd, akrylová kyselina a laktid (obrázek č. 28) [37, 38].



Obrázek 28: Pyrogram vzorku č. 3 – PLA

Vzorky vyrobené z celulosy (č. 5 a 10) ukazují podle knihovny spekter obsah pyrolýzních produktů typických pro papír, a to acetaldehyd, 1-hydroxy-2-propanon, furfural, nonanal a levoglukosan. Ukázka pyrogramu vzorku č. 5 je uvedena na obrázku 29 [37, 39].





Obrázek 29: Pyrogram vzorku č. 5 - Celulosa

## ZÁVĚR

Tato práce se zabývá materiálovou charakterizací dostupných obalů z konvenčních i biologicky rozložitelných polymerů používaných v potravinářském průmyslu. Cílem bakalářské práce bylo zjistit aditiva vyskytující se ve vybraných polymerních vzorcích jednorázových obalů. K tomu byly použity techniky elektronové mikroskopie, infračervené spektroskopie a plynové chromatografie pyrolýzních produktů vzorků.

Výsledky ukázaly, že polypropylenové obalové materiály na českém trhu obecně neobsahují anorganická aditiva, organická aditiva nebyla detekována. Stanovení popela dle normované metodiky potvrdilo u některých vzorků obsah anorganického plniva, které bylo následně identifikováno infračervenou spektroskopií.

Plynová chromatografie a infračervená spektroskopie pomohly k identifikaci polymerních matric studovaných vzorků. Nebyla prokázána přítomnost zdraví škodlivých organických aditiv. Z důvodu nenalezení aditiv kromě plniv nebylo možné porovnání jejich obsahu s legislativními požadavky.

S ohledem do budoucnosti, ve které se má snížit odpad jednorázových obalových materiálů, se biologicky rozložitelné polymery stávají více diskutované. V potravinářském průmyslu nejsou v tuto dobu tak zcela využívané kvůli nízké teplotě tání. Přidáním vhodného množství aditiva do směsi polymeru by se teplotní odolnost zvýšila. Avšak výsledný produkt musí splňovat předepsané limity. Proto se doporučují vyzkoušet výzkumy s přidáním jednotlivých aditiv ve směsi, aby mohlo dojít k rozšíření využití biodegradabilních polymerů v potravinářském průmyslu.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] SEN, Ch. a M. DAS. Trends in Food Packaging Technology. *Food Process Engineering: Emerging Trends in Research and Their Applications* [online]. Apple Academic Press (AAP), 2016, s. 1-24 [cit. 2020-05-18]. ISBN 978-1-77188-403-7. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/313109461\\_Trends\\_in\\_Food\\_Packaging\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/313109461_Trends_in_Food_Packaging_Technology)
- [2] WRÓBLEWSKA-KREPSZTUL, J., T. RYDZKOWSKI, G. BOROWSKI, M. SZCZYPIŃSKI, T. KLEPKA a V. K. THAKUR. Recent progress in biodegradable polymers and nanocomposites based packaging materials for sustainable environment. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. 2018, **23**(4), 383-395. DOI: doi:10.1080/1023666x.2018.1455382.
- [3] Obaly. *Ministerstvu životního prostředí* [online]. c2008-2020. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/obaly>
- [4] GRUMEZESCU, A. M. *Food Packaging* [online]. San Diego, United States: Elsevier Science Publishing Co, 2017. ISBN 978-0-12-804373-8. Dostupné z: [https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpFPNAFIV2/viewerType:toc/root\\_slug:food-packaging-nanotechnology?kpromoter=federation](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpFPNAFIV2/viewerType:toc/root_slug:food-packaging-nanotechnology?kpromoter=federation)
- [5] P., Ghosh. Polymer Rheology and Polymer Morphology. GHOSH, P. *Polymer Science and Technology: Plastics, Rubbers, Blends and Composites* [online]. 2nd ed. 2018. ISBN 978-0-07-463994-8.
- [6] SHRIVASTAVA, A. *Introduction to Plastics Engineering* [online]. Elsevier, 2018. ISBN 978-0-3233-9619-6. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011PHY92/introduction-plastics/introducti-introduction-2>

[7] ALLAHVAISI, S. Polypropylene in the Industry of Food Packaging. DOGAN, F. *Polypropylene* [online]. Rijeka: IntechOpen, 2012. DOI: 10.5772/34255. ISBN 978-953-51-0636-4.

Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/polypropylene/polypropylene-in-the-industry-of-food-packaging>

[8] SILVA, L. P. a E. F. BARBOSA. *Polypropylene: Synthesis, Applications, and Environmental Concerns* [online]. New York: Nova Science Publishers, 2013. ISBN 9781624171420.

Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true>

[9] Syntéza polypropylenu z propenu. In: *Chegg Study* [online]. c2003-2020.

Dostupné z: <https://www.chegg.com/homework-help/write-equation-representingsynthesis-polypropylene-propene-chapter-11-problem-78qp-solution-9781259060496-exc>

[10] MAIER, C. a T. CALAFUT. Chemistry. *Polypropylene: The Definitive User's Guide and Databook* [online]. New York: Plastics design library, 1998. ISBN 978081551871.

[Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/book/9781884207587/polypropylene>

[11] PILEVAR, Z., A. BAHRAMI, S. HOSSEINI a S. M. JAFARI. Migration of styrene monomer from polystyrene packaging materials into foods: Characterization and safety evaluation. *Trends in Food Science & Technology*. Elsevier, 2019, 91, 248-261. [cit. 2020-04-21] ISSN 0924-2244.

Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224419300354#sec1>

[12] Polymerace. In: *Xantina* [online]. 2000 [cit. 2020-04-21].

Dostupné z: <https://xantina.hyperlink.cz/organika/polymerace.html>

[13] GHOSH, A. *Technology of Polymer Packaging*, Munich: Hanser, 2015. ISBN 9781569905760.

- [14] ZHONG, Y., P. GODWIN, Y. JIN a H. XIAO. Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 2020, **1**(3), 27-35.
- [15] RAMESHKUMAR, S., P. SHAIJU, K. E. O'CONNOR a R. BABU P. Bio-based and biodegradable polymers: State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2020, (21), 75-81.
- [16] RYSION, N. P., S. H. OTMAN, R. K. BASHA a R. A. TALIB. Characterization of polylactic acid/halloysite nanotubes bionanocomposite films for food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. ELSEVIER, 2020, (23).
- [17] HAMAD, K., M. KASEEM, M. AYYOOB, J. JOO a F. DERI. Polylactic acid blends: The future of green, light and tough. *Progress in Polymer Science*. Elsevier, 2018, (85), 83-127.  
Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670018300212>
- [18] Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých zákonu (zákon o obalech). In: *Sbírka zákonů*. 2001.  
Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-477?text=obalov%C3%BD%20materi%C3%A1#f2260333>
- [19] Additives For Plastics. GILBERT, M. *Brydson's Plastics Materials*. 8th ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishing, 2017, s. 127-168. ISBN 978-0-323-35824-8.
- [20] BOLGAR, M., J. HUBBALL, J. GROEGER a S. MERONEK. *Handbook for the Chemical Analysis of Plastic and Polymer Additives* [online]. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. DOI: <https://doi-org.proxy.k.utb.cz/10.1201/b19124>. ISBN 9780429109621.  
Dostupné také z: <https://www-taylorfrancis-com.proxy.k.utb.cz/books/9780429109621>
- [21] Fillers (Including Fiber Reinforcements) . GILBERT, M. *Brydson's Plastics Materials*. 8th ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishing, 2017, s. 169-204. ISBN 978-0-323-35824-8.

- [22] Organic Additives. SUBRAMANIAN, M. N. *Plastics Additives and Testing*. United States: Salem: Scrivener Publishing, 2013, s. 101-124. ISBN 9781118710128. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118710128>.
- [23] JIANG, S., L. JIN, H. HOU a L. ZHANG. Polymer-Based Nanocomposites with High Dielectric Permittivity. *Polymer-Based Multifunctional Nanocomposites and Their Applications*. 2019, s. 201-243. DOI: 10.1016/B978-0-12-815067-2.00008-1.
- [24] Relation of Structure to Chemical Properties. GILBERT, M. *Brydson's Plastics Materials*. 8th ed. Amsterdam: Elsevier Science Publishing, 2017, s. 75-102. ISBN 978-0-323-35824-8.
- [25] SHRIVASTAVA, A. Additives for Plastics. *Introduction to Plastics Engineering*. William Andrew Publishing, 2018, s. 111-141. DOI: 10.1016/B978-0-323-39500-7.00004-6. ISBN 978-0-323-39500-7.
- [26] TOLINSKI, M. Additives for Modifying Electrical Properties. *Additives for Polyolefins: Getting the Most Out of Polypropylene, Polyethylene and TPO*. 2nd ed. Oxford: William Andrew Publishing, 2015, s. 57-67. DOI: 10.1016/B978-0-323-35884-2.00006-5. ISBN 978-0-323-35884-2.
- [27] Inorganic Additives. SUBRAMANIAN, M. N. *Plastics Additives and Testing*. United States: Salem: Scrivener Publishing, 2013, s. 125-144. ISBN 9781118710128.
- [28] MCKEEN, L. Plastics Used in Medical Devices. MODJARRAD, K. a S. EBNESAJJAD. *Handbook of Polymer Applications in Medicine and Medical Devices*. Oxford: William Andrew Publishing, 2014, s. 21-53. DOI: 10.1016/B978-0-323-35884-2.00006-5. ISBN 978-0-323-22805-3.
- [29] Testing of Additives. SUBRAMANIAN, M. N. *Plastics Additives and Testing*. United States: Salem: Scrivener Publishing, 2013, s. 177-202. DOI: 10.1002/9781118710128.ch9. ISBN 9781118710128.

- [30] HÁJKOVÁ, Z., P. BAUEROVÁ, A. FEJFAR a M. ŠLOUF. Výuka chemie: Elektronový mikroskop-klíč k odhalení tajemství mikro a nano světa. *Chemické listy*. 2018, (112), 128-134.
- [31] ČSN EN ISO 3451-1. *Plasty-Stanovení popela: Část 1: Všeobecné metody*. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci, 2009, 12 s.
- [32] KANIA, P. *Infračervená spektrometrie* [online]. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 1-46. Dostupné z: [http://www.vscht.cz/anl/lach1/7\\_IC.pdf](http://www.vscht.cz/anl/lach1/7_IC.pdf).
- [33] DURAK, T. a J. DEPCIUCH. Effect of plant sample preparation and measuring methods on ATR-FTIR spectra results. *Environmental and Experimental Botany*. 2020, (169). DOI: 10.1016/j.envexpbot.2019.103915. ISSN 0098-8472.
- [34] KŘÍŤENECKÁ, S. *Základy analytické chemie*. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí [online]. 2007 [cit. 2018-02-03]. Dostupné z: <http://www.sos-veseli.cz/download/zach.pdf>.
- [35] J.Podehradská, Z.Vozňáková: *Návody pro laboratorní cvičení z Analytické chemie II.Plynová chromatografie*. VŠCHT, Praha 1997.
- [36] BAGHERI, G., H. TAVANAI, M. GHIACI, M. MORSHED a A. SHAHIN SHAMSABADI. An investigation on the effect of pigments on the texture ability and mechanical properties of polypropylene BCF yarns. *The Journal of The Textile Institute*. 2019, 1-10. DOI: 10.1080/00405000.2019.1694824.
- [37] *Pyrolysis-Gas Chromatography Mass Spectrometry of Polymeric Materials*, Kusch, P., World Scientific, London, ISBN 978-1-78634-575-2,

- [38] LLANA-RUÍZ-CABELLO, M., S. PICHARDO, N. T. JIMÉNEZ-MORILLO, et al. Pyrolysis-gas chromatography–: isotope ratio mass spectrometry for monitoring natural additives in polylactic acid active food packages. *Journal of Chromatography A*. 2017, (1525), 145-154. ISSN 0021-9673. Dostupné také z: <https://www-sciencedirect-com.proxy.k.utb.cz/science/article/pii/S0021967317315078?via%3Dihub>
- [39] TSUGE, S., OHTANI, H., WATANABE, CH., Pyrolysis- GC/MS Data Book of Synthetic Polymers, Elsevier, 390s, ISBN 978-0-444-53892-5, 2011, str. 304.



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

° C	Stupeň Celsia
ATR	Zeslabený úplný odraz (Attenuated total reflection)
cm	Centimetr
ČSN	Česká technická norma
ePS	Expandovaný polystyren
EVA	Ethylenvinylacetát
FTIR	Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
g	Gram
HDPE	Vysoko hustotní polyethylen
HIPS	Houževnatý polystyren
kV	kilovolt
LDPE	Nízko hustotní polyethylen
m	Hmotnost
mg	Miligram
min	Minuta
např.	Například
nm	Nanometr
PET	Polyethylentereftalát
PLA	Polylaktid
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
SEM	Skenovací elektronová mikroskopie
μm	Mikrometr
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obrázek 1: Polymerní reakce polypropylenu [9]</i> .....	12
<i>Obrázek 2: Polymerní reakce polystyrenu [12]</i> .....	13
<i>Obrázek 3: Cyklus biodegradabilních polymerů [14]</i> .....	14
<i>Obrázek 4: Schématický řez u SEM [30]</i> .....	22
<i>Obrázek 5: Kelímek z polypropylenu</i> .....	26
<i>Obrázek 6: Kelímek z polypropylenu</i> .....	26
<i>Obrázek 7: Kelímek z polylaktidu</i> .....	27
<i>Obrázek 8: Miska z polypropylenu</i> .....	27
<i>Obrázek 9: Miska z cukrové třtiny</i> .....	27
<i>Obrázek 10: Miska z polypropylenu</i> .....	28
<i>Obrázek 11: Miska z polypropylenu</i> .....	28
<i>Obrázek 12: Miska z polypropylenu</i> .....	28
<i>Obrázek 13: Miska z polypropylenu</i> .....	28
<i>Obrázek 14: Miska z celulosy</i> .....	28
<i>Obrázek 15: Lom u vzorku č. 1</i> .....	33
<i>Obrázek 16: Lom u vzorku č. 2</i> .....	33
<i>Obrázek 17: Lom u vzorku č. 3</i> .....	33
<i>Obrázek 18: Lom u vzorku č. 4</i> .....	33
<i>Obrázek 19: Lom u vzorku č. 5</i> .....	34
<i>Obrázek 20: Lom u vzorku č. 6</i> .....	34
<i>Obrázek 21: Lom u vzorku č. 7</i> .....	34
<i>Obrázek 22: Lom u vzorku č. 8</i> .....	34
<i>Obrázek 23: Lom u vzorku č. 9</i> .....	35
<i>Obrázek 24: Lom u vzorku č. 10</i> .....	35
<i>Obrázek 25: Grafické znázornění FTIR-ATR spektroskopie u vzorků kelímků</i> .....	37
<i>Obrázek 26: Grafické znázornění FTIR-ATR spektroskopie u vzorků misek</i> .....	38
<i>Obrázek 27: Pyrogram vzorku č. 1 – Polypropylen</i> .....	40
<i>Obrázek 28: Pyrogram vzorku č. 3 – PLA</i> .....	40
<i>Obrázek 29: Pyrogram vzorku č. 5 - Celulosa</i> .....	41
<i>Obrázek 30: Vzorek č. 1 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)</i> ...	54
<i>Obrázek 31: Vzorek č. 2 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)</i> ...	54
<i>Obrázek 32: Vzorek č. 3 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)</i> ...	54
<i>Obrázek 33: Vzorek č. 4 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)</i> ...	55
<i>Obrázek 34: Vzorek č. 5 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)</i> ...	55

<i>Obrázek 35: Vzorek č. 6 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo) ...</i>	<i>55</i>
<i>Obrázek 36: Vzorek č. 7 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo) ...</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 37: Vzorek č. 8 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo) ...</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 38: Vzorek č. 9 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo) ...</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 39: Vzorek č. 10 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo) .</i>	<i>57</i>
<i>Obrázek 32: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 1 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole) .....</i>	<i>58</i>
<i>Obrázek 33: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 2 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole) .....</i>	<i>58</i>
<i>Obrázek 34: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 3 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole) .....</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 35: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 4 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole) .....</i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 36: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 5 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole) .....</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 37: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 6 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole) .....</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 38: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 7 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole) .....</i>	<i>61</i>
<i>Obrázek 39: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 8 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole) .....</i>	<i>61</i>
<i>Obrázek 40: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 9 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole) .....</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 41: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 10 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole) .....</i>	<i>62</i>

**SEZNAM TABULEK**

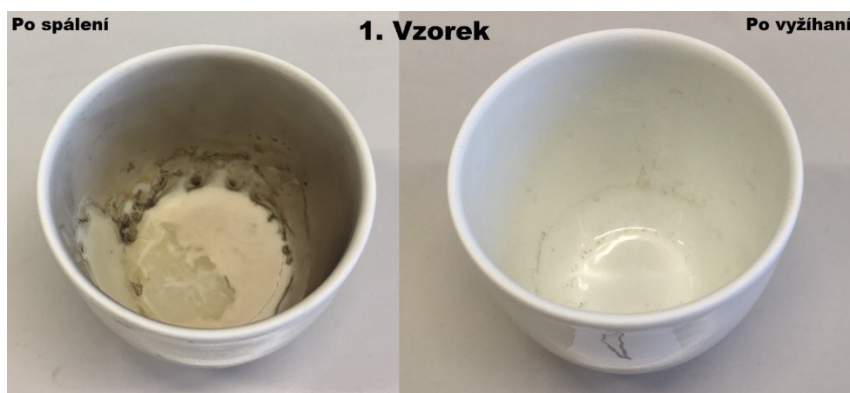
<i>Tabulka 1: Navážky vzorků pro měření .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 2: Výsledky stanovení popela obalových materiálů.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 3: Polymerní matrice vzorků stanoveny FTIR-ATR.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 4: Výsledné polymerní matrice vzorků .....</i>	<i>39</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

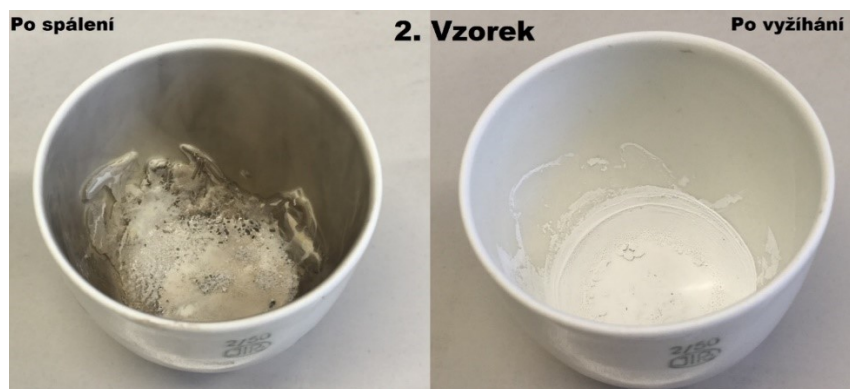
Příloha P I: Fotografie vzorků při stanovení popela po vyžhání a po následném spálení

Příloha P II: Plynová chromatografie - chromatografická spektra polymerní matrice

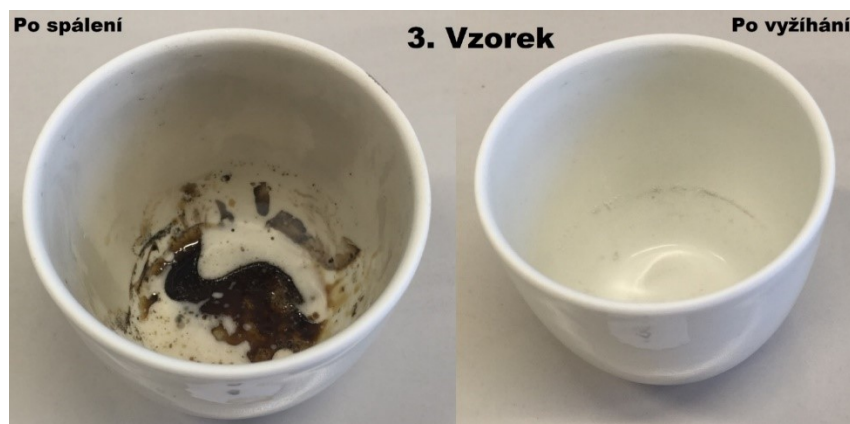
## PŘÍLOHA P I: FOTOGRAFIE VZORKŮ PŘI STANOVENÍ POPELA PO SPALENÍ A NÁSLEDNÉM ŽÍHÁNÍ



Obrázek 30: Vzorek č. 1 při stanovení popela - po spálení (vlevo)  
a po žihání (vpravo)



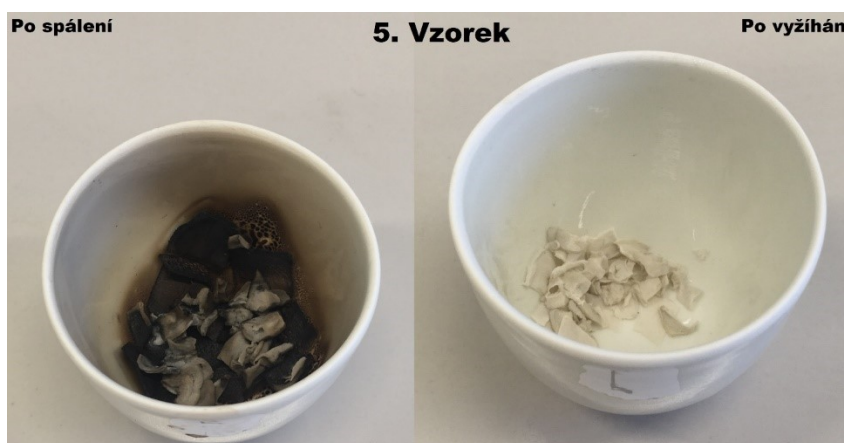
Obrázek 31: Vzorek č. 2 při stanovení popela - po spálení (vlevo)  
a po žihání (vpravo)



Obrázek 32: Vzorek č. 3 při stanovení popela - po spálení (vlevo)  
a po žihání (vpravo)



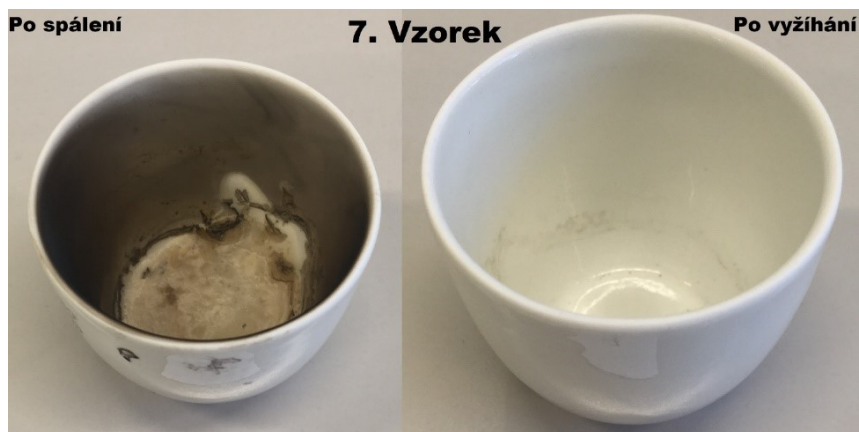
Obrázek 33: Vzorek č. 4 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)



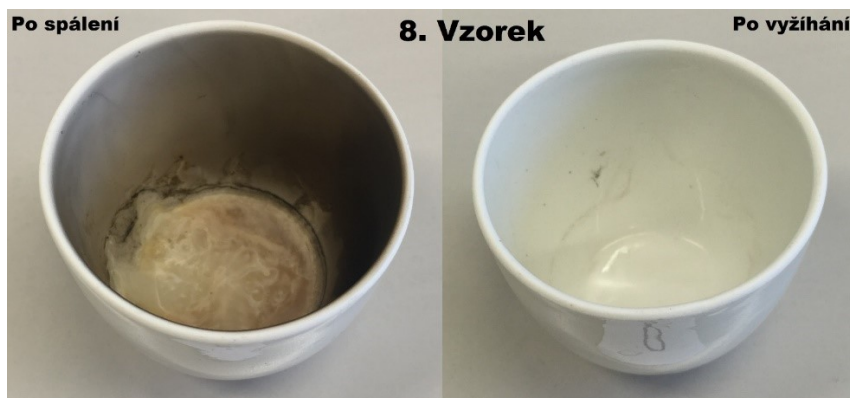
Obrázek 34: Vzorek č. 5 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)



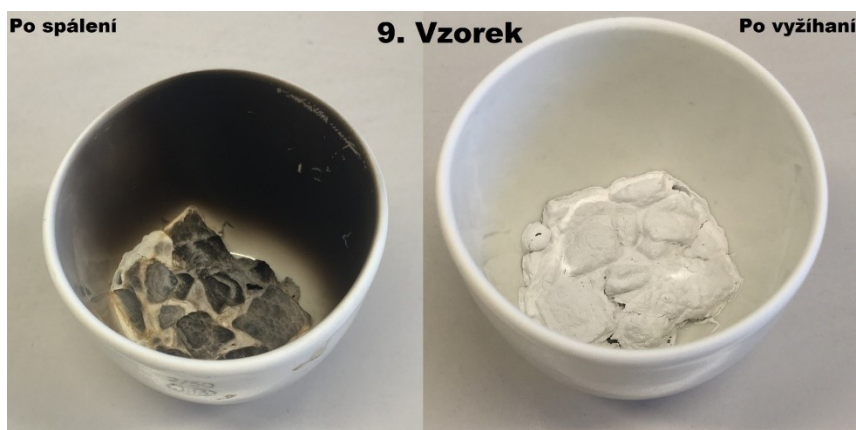
Obrázek 35: Vzorek č. 6 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)



Obrázek 36: Vzorek č. 7 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)

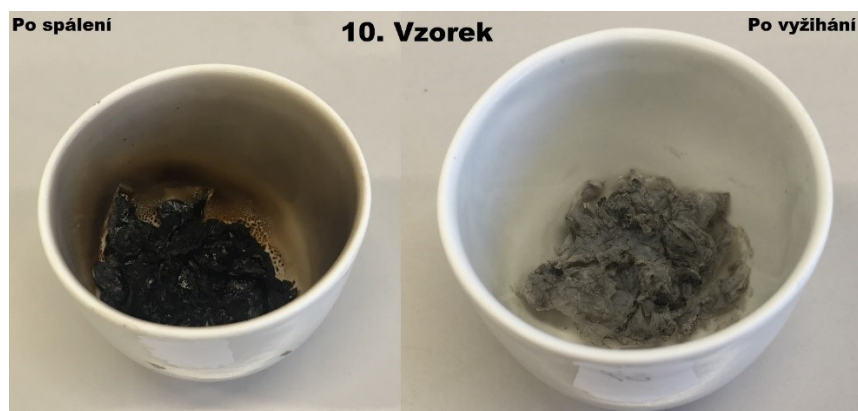


Obrázek 37: Vzorek č. 8 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)



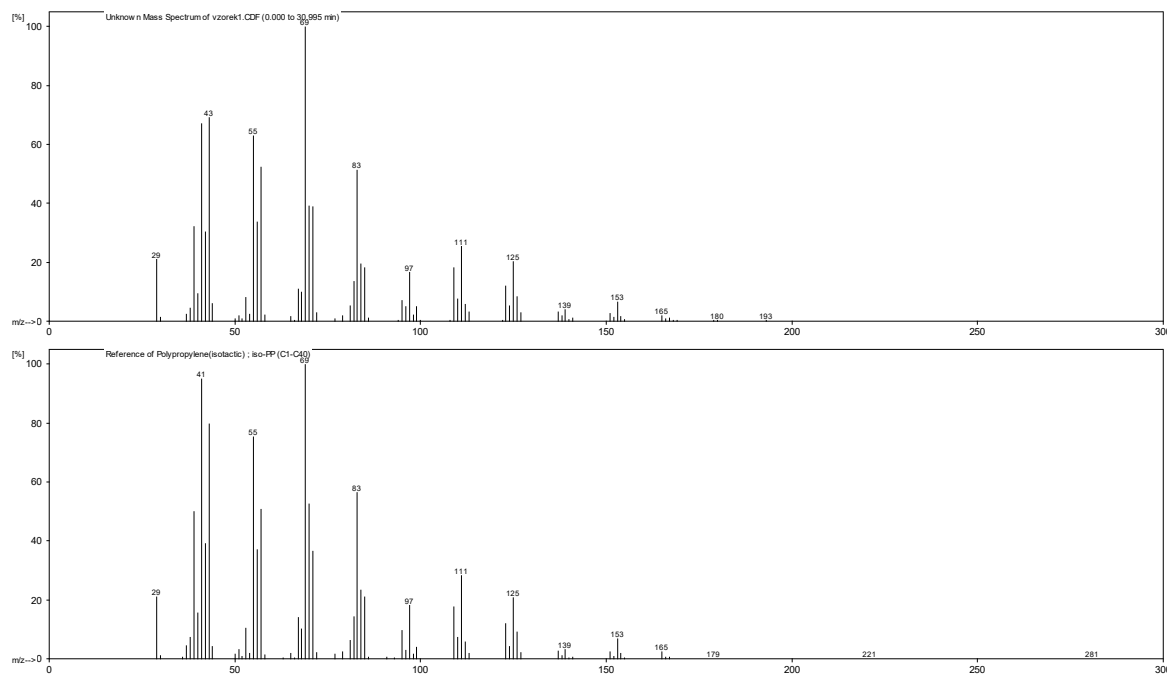
Obrázek 38: Vzorek č. 9 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)



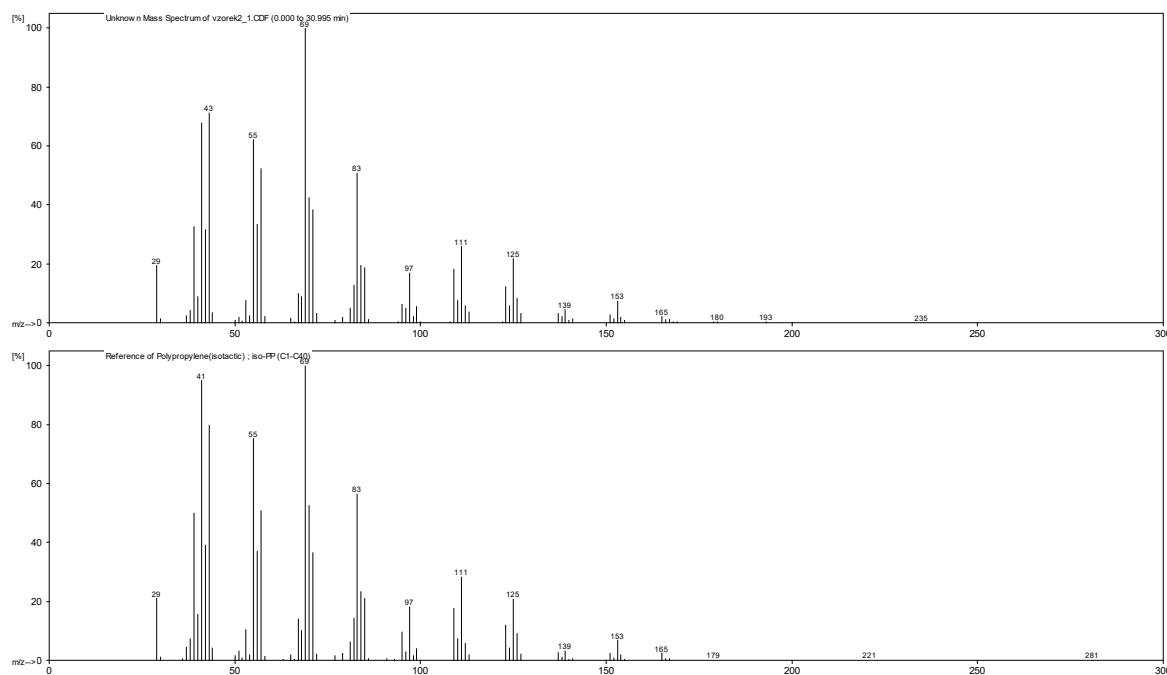


*Obrázek 39: Vzorek č. 10 při stanovení popela - po spálení (vlevo) a po žihání (vpravo)*

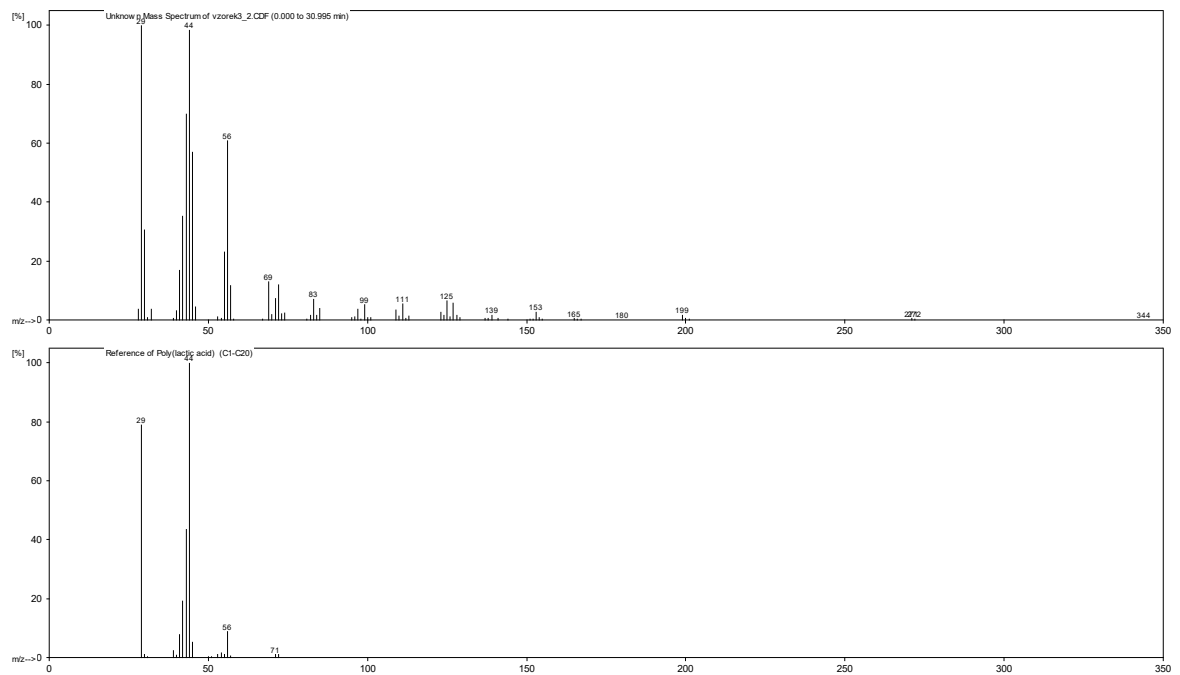
## PŘÍLOHA P II: PLYNOVÁ CHROMATOGRAFIE- CHROMATOGRAFICKÁ SPEKTRA POLYMERNÍ MATRICE



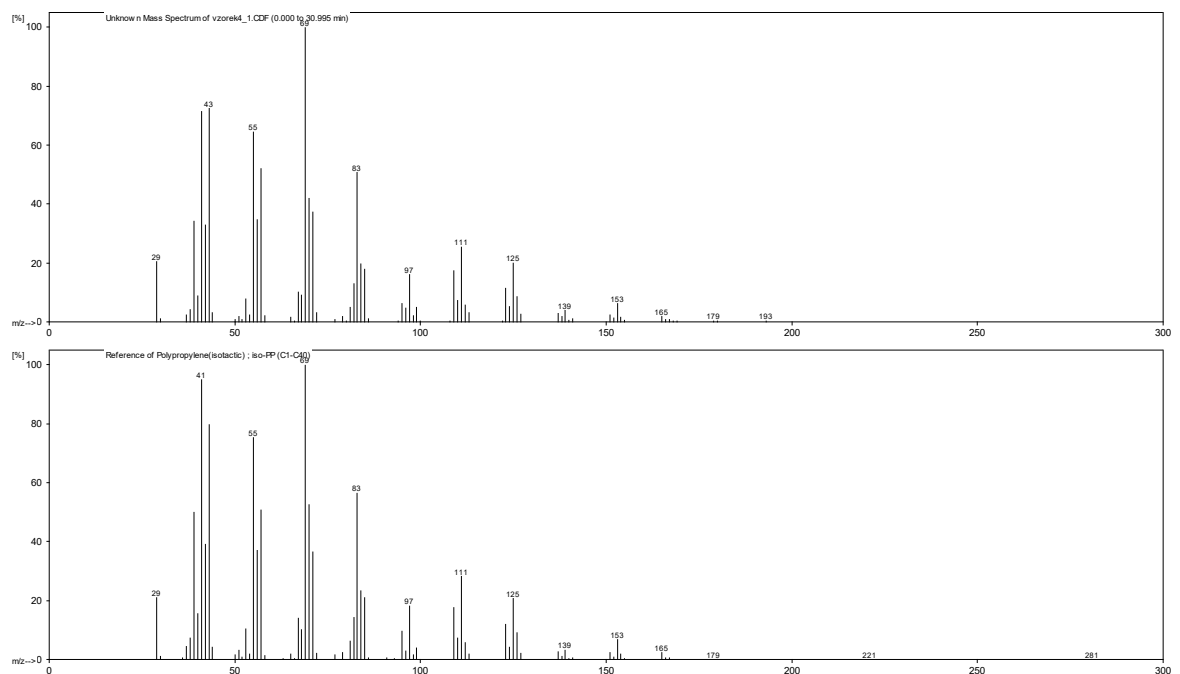
Obrázek 40: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 1 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole)



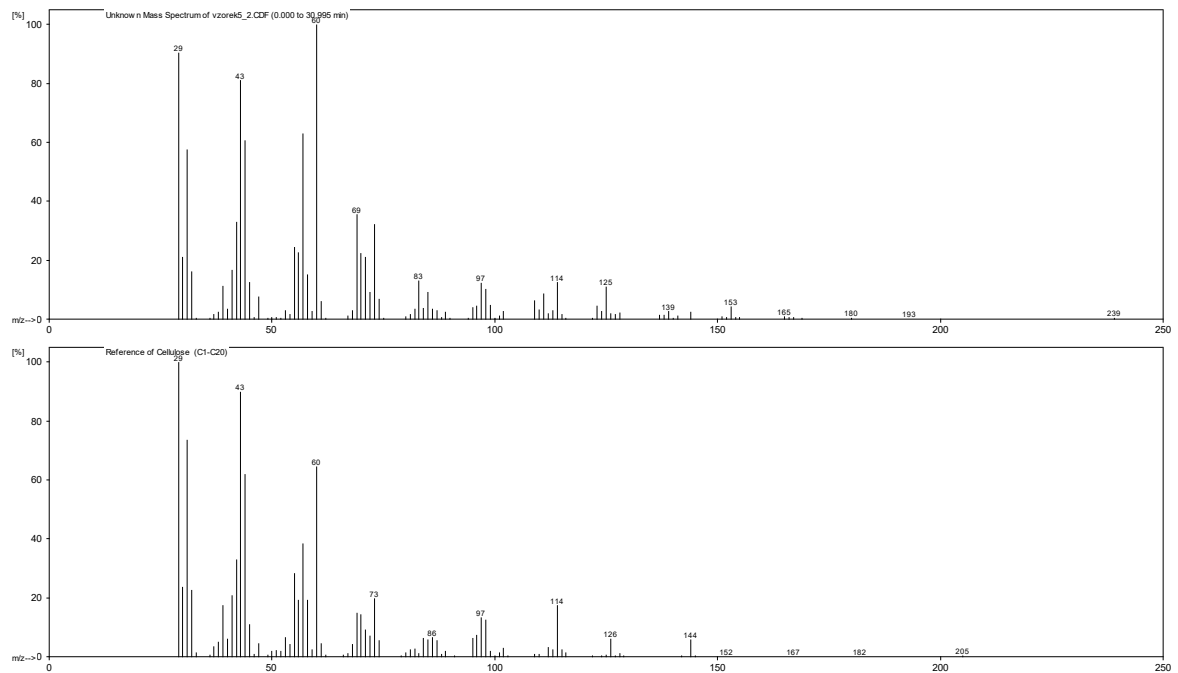
Obrázek 41: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 2 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole)



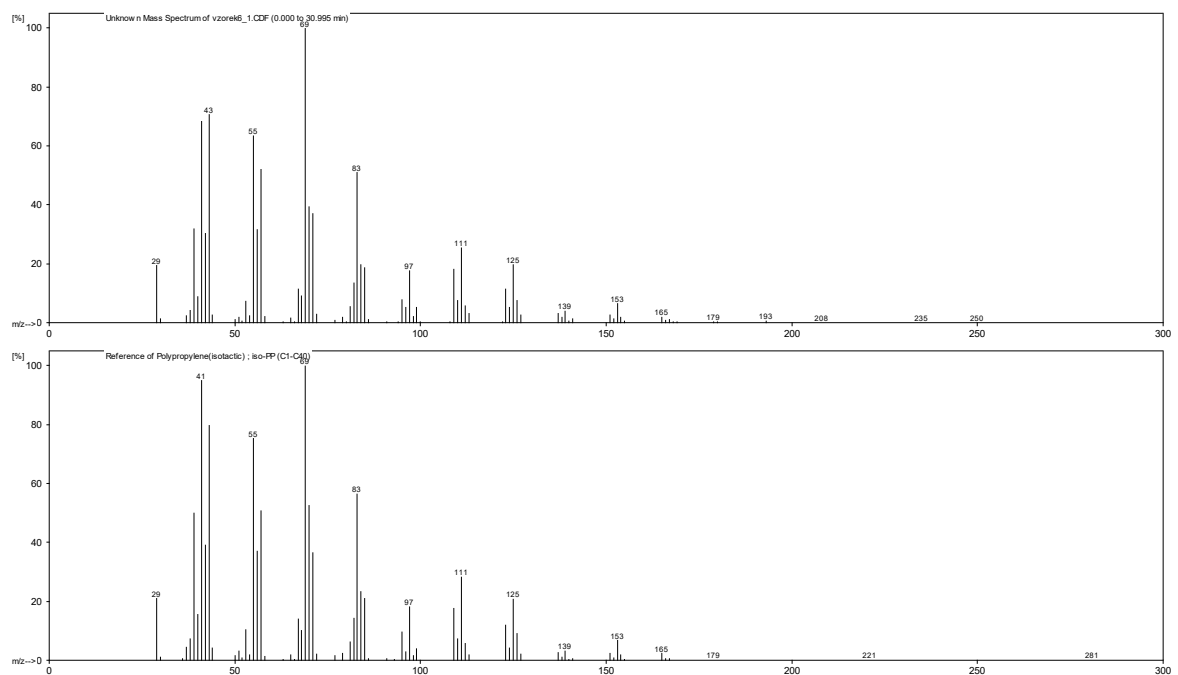
Obrázek 42: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 3 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole)



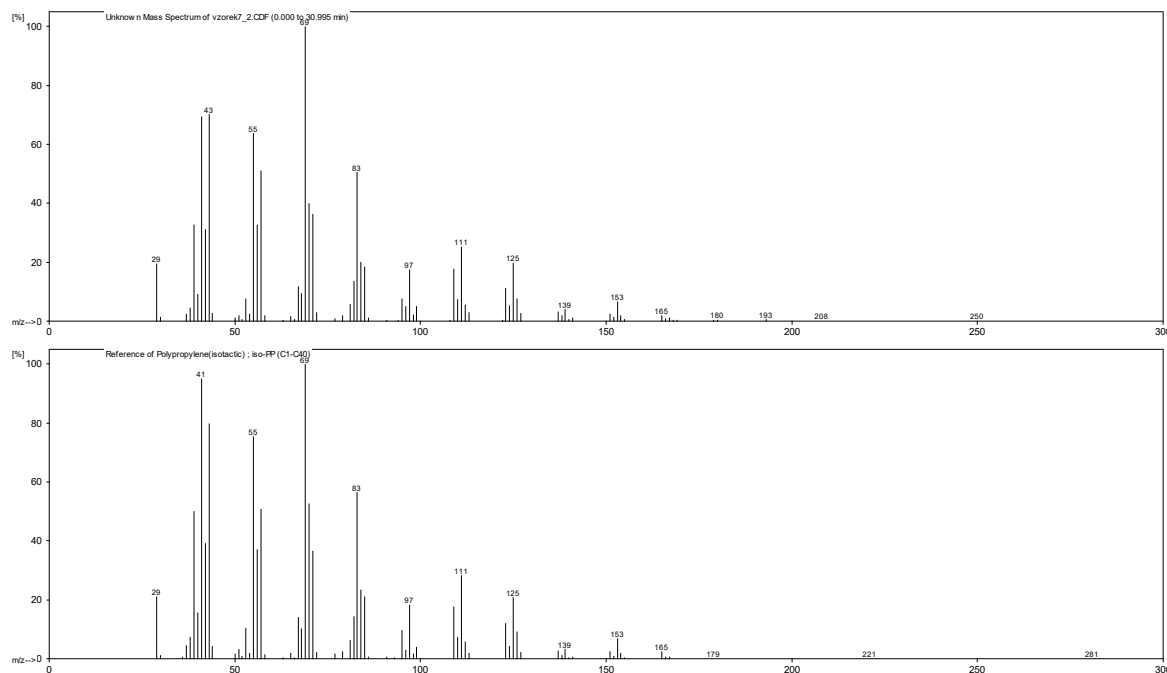
Obrázek 43: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 4 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole)



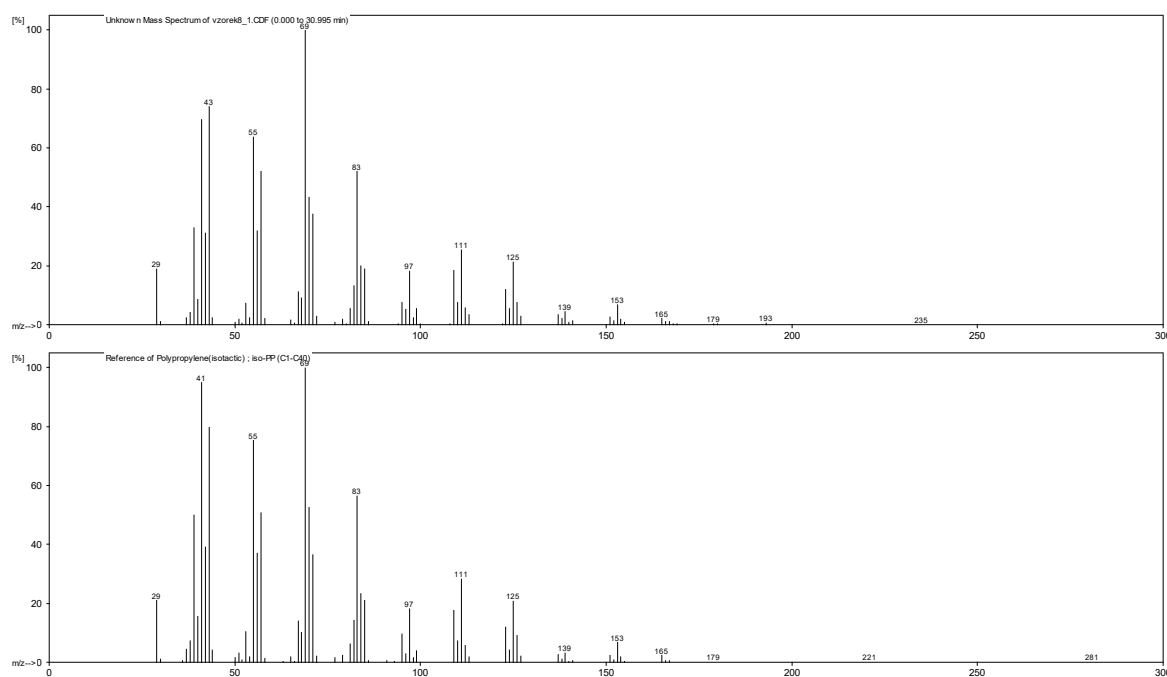
Obrázek 44: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 5 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole)



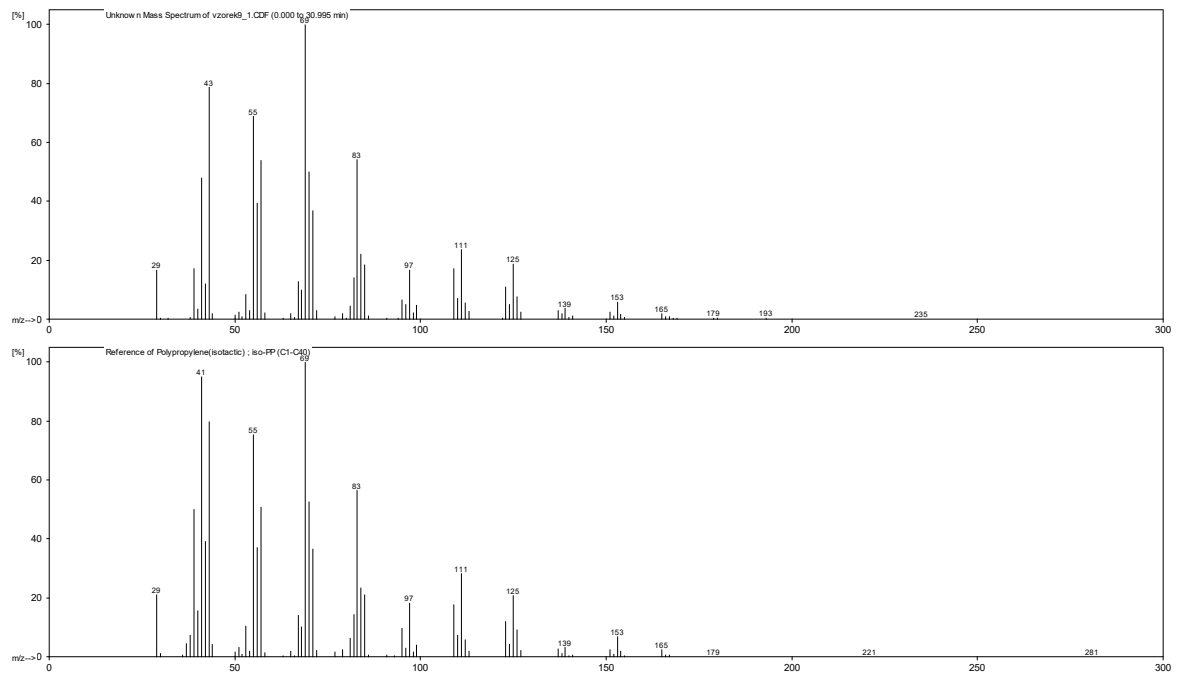
Obrázek 45: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 6 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole)



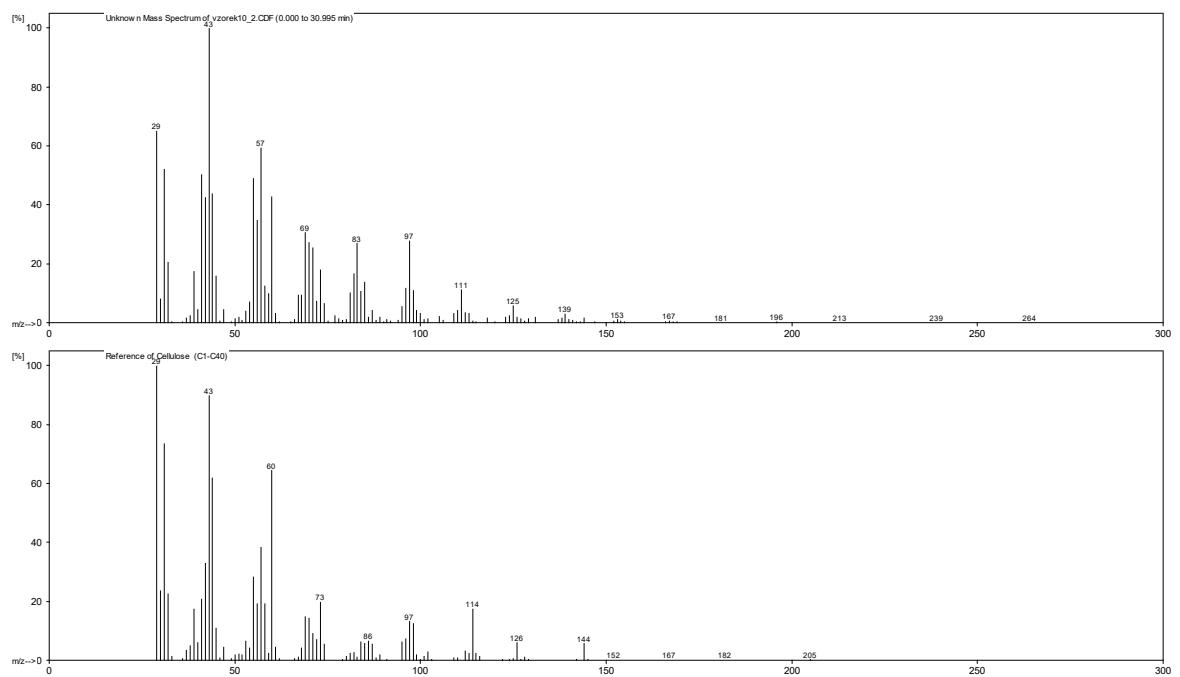
Obrázek 46: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 7 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole)



Obrázek 47: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 8 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole)



Obrázek 48: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 9 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole)



Obrázek 49: Chromatografické spektrum polymerní matrice u vzorku č. 10 (nahore) v porovnání s knihovnou (dole)