

Kompozity na bázi polypropylen/kávová sedlina

Lucie Štrihová

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Lucie Štrihová
Osobní číslo:	T23655
Studijní program:	B0711A130009 Materiály a technologie
Specializace:	Polymerní materiály a technologie
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Kompozity na bázi polypropylen/kávová sedlina

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce si bere za cíl přípravu a základní charakterizaci kompozitů připravených z polypropylenu a kávové sedliny (spent coffee ground SCG). Kávová sedlina je odpadním produktem z kávového průmyslu, tudíž její využití je žádoucí. Její použití v polymerní matrici je předmětem řady studií, zejména z pohledu mechanických vlastností. Nicméně ovlivňuje také nadmolekulární strukturu, tepelné a optické vlastnosti aj. Cílem práce bude připravit směsi polypropylen/kávová sedlina v různých koncentracích, s/bez přídavku kompatibilizátoru, vyrobit zkušební tělíska a následně vyhodnotit vlastnosti.

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

Seznam doporučené literatury:

1. Hejna, A. Potential applications of by-products from the coffee industry in polymer technology – Current state and perspectives, *Waste Management*, 121, 2021, 296-330, doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.018.
2. Essabir, H., Raji, M., Laaziz, S. A., Rodrique, D., Bouhfid, R., Qaiss, A. Thermo-mechanical performances of polypropylene biocomposites based on untreated, treated and compatibilized spent coffee grounds, *Composites Part B: Engineering*, 149, 2018, 1-11, doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.05.020.
3. Y. Leow, P. Y. M. Yew, P. L. Chee, X. J. Loh and D. Kai, Recycling of spent coffee grounds for useful extracts and green composites, *RSC Adv.*, 2021, 11, 2682 DOI: 10.1039/D0RA09379C
4. Databáze knihovny UTB

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Gajzlerová, Ph.D.**
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Jana Navrátilová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlině dne 3. března 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 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(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....

podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá přípravou a charakterizací kompozitních materiálů na bázi lineárního polypropylenu (L-PP) s obsahem kávové sedliny jako přírodního plniva. Kávová sedlina byla dávkovaná v koncentracích 2, 4, 6 a 8 hm.% do polymerní matrice. Budou taky připraveny vzorky na stejné bázi, kdy navíc bude přidán kompatibilizátor MAH, který podporuje kompatibilitu mezi matricí a plnivem a tím i kvalitu disperze plniva. Cílem práce bylo zjistit vliv obsahu kávové sedliny a přítomnosti kompatibilizátoru na mechanické a fyzikální vlastnosti připravených kompozitů. Vlastnosti byly vyhodnoceny za pomoci krátkodobé tahové zkoušky, rázové houževnatosti, diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) a rentgenové difrakce. Bylo zjištěno že malé množství kávové sedliny 2-4 hm. % zlepšuje u lineárního polypropylenu mechanické vlastnosti, jako je modul pružnosti, tahová pevnost, tažnost a rázová houževnatost.

Klíčová slova: polypropylen, lineární polypropylen, kávová sedlina, biokompozity

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the preparation and characterization of composite materials based on linear polypropylene (L-PP) with coffee grounds as a natural filler. Coffee grounds were dosed in concentrations of 2, 4, 6 and 8 wt.% into the polymer matrix. Samples will also be prepared on the same basis, with the addition of the MAH compatibilizer, which supports the compatibility between the matrix and the filler and thus the quality of the dispersion of the filler. The aim of the work was to determine the influence of the content of coffee grounds and the presence of a compatibilizer on the mechanical and physical properties of the prepared composites. Properties were evaluated using short-term tensile testing, impact strength, differential scanning calorimetry (DSC) and X-ray diffraction. It was found that a small amount of coffee grounds 2-4 wt. % improves mechanical properties such as modules of elasticity, tensile strength, ductility and impact strength in linear polypropylene.

Keywords: polypropylene, linear polypropylene, coffee grounds, biocomposites

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Lence Gajzlerové, Ph.D., za její trpělivost, čas, odborné rady a připomínky, které mi pomohly k vypracování této práce.

Také děkuji své rodině a přátelům, kteří mě během studia podporovali.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	13
1.1 STRUKTURA KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU	13
1.2 MATRICE – POJIVO	13
1.2.1 Typy matric	13
1.2.2 Polymerní matrice	13
1.3 DISPERGOVANÁ FÁZE – PLNIVO	14
1.3.1 Částicová plniva	14
1.3.2 Vláknová plniva	14
2 POLYPROPYLEN	16
2.1 STEREOIZOMERIE POLYPROPYLENU	16
2.1.1 Izotaktický polypropylen	16
2.1.2 Syndiotaktický polypropylen	16
2.1.3 Ataktický polypropylen.....	16
2.1.4 Stereoblokový polypropylen	17
2.2 STRUKTURY POLYPROPYLENU	17
2.2.1 Lineární polypropylen	17
2.2.2 Rozvětvený polypropylen	18
2.3 VLASTNOSTI POLYPROPYLENU	18
2.4 APLIKACE POLYPROPYLENU	19
3 KÁVA	20
3.1 SLOŽENÍ KÁVY	20
3.2 PRODUKCE KÁVY	22
3.3 ZPRACOVÁNÍ KÁVY	24
3.4 VEDLEJŠÍ PRODUKTY	25
3.4.1 Kávové slupky	26
3.4.2 Kávová dřev	26
3.4.3 Kávový sliz.....	26
3.4.4 Kávový pergamen	27
3.4.5 Kávová stříbrná sluka.....	27
3.4.6 Kávová sedlina	27
3.4.7 Odpadní voda z kávy.....	29
3.5 VYUŽITÍ VEDLEJŠÍCH PRODUKTŮ V POLYMERNÍ TECHNOLOGII	29
3.5.1 Využití kávových slupek	30
3.5.2 Využití kávové dřevě	31
3.5.3 Využití kávového pergamenu	31
3.5.4 Využití kávové stříbrné slupky	32

3.5.5	Využití kávové sedliny	33
3.5.6	Polymerní kompozity s kávovou sedlinou	33
4	METODY ANALÝZY	35
4.1	ŠIROKOÚHLÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE	35
4.2	DIFERENCIÁLNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE	36
4.3	RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST	36
4.4	TAHOVÁ ZKOUŠKA	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	38
5	CÍL PRÁCE	39
6	MATERIÁLY	40
7	MATERIÁLY	41
7.1	SLOŽENÍ SMĚSÍ	41
7.2	MÍCHÁNÍ SMĚSI	41
8	PŘÍPRAVA VZORKŮ	40
9	POUŽITÉ METODY A PŘÍSTROJE	40
9.1	SÍTOVÁ ANALÝZA	45
9.2	ŠIROKOÚHLÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE	45
9.3	DIFERENCIÁLNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE	46
9.4	TAHOVÁ ZKOUŠKA	47
9.5	VRUBOVÁ RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST	47
10	VÝSLEDKY	48
10.1	SÍTOVÁ ANALÝZA	48
10.2	ŠIROKOÚHLÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE	49
10.3	DIFERENCIÁLNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE	54
10.4	TAHOVÁ ZKOUŠKA	59
10.5	VRUBOVÁ RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST	61
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	70
	SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

Kávový nápoj patří k nejvíce oblíbeným nápojům na světě. Při jeho přípravě vzniká značné množství odpadu, který musí být ekologicky zlikvidován. Likvidace je však ekonomicky náročná, proto se stále častěji uvažuje nad alternativními způsoby, jak jej efektivně využít.

Polymerní technologie se stále rozvíjí, přičemž většina polymerů je silně závislá na ropě, jejíž zásoby se tenčí. Z tohoto důvodu se hledají různé alternativy, které by mohly nahradit ropné zdroje. Jednou z možností je zavádění odpadních surovin z jiných procesů do polymerních matric. Sníží se tak množství potřebné ropy a získají lepší vlastnosti výsledných kompozitů.

Na tuto myšlenku navazuje i má bakalářská práce, která využívá odpadního produktu po zpracování kávových nápojů. Bylo provedeno již několik analýz na zavedení různých odpadních produktů z kávového průmyslu do polymerních matric na bázi polyolefinů, i analýz zavedení kávové sedliny do těchto matric. Ale nad vlivem obsahu kávové sedliny na vlastnosti kompozitů se ještě nikdo nepozastavil. Zpracování kávové sedliny do polypropylenové matrice by mohlo vést ke zlepšení mechanických vlastností polypropylenu. [20]

Polypropylen jako takový se řadí mezi polyolefiny a je známý pro svou semikristalinitu. Je jedním z nejčastěji využívaným polymerem na světě. Patří do skupiny termoplastů, skupiny, která je charakteristická svou tvárností při vyšších teplotách a následnému tvrdnutí po ochlazení. Využíván je pro svou tvrdost a chemickou odolnost v mnoha odvětvích strojírenského průmyslu.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiály lze definovat takto: “Kompozit je každý materiálový systém, který je složen z více (nejméně dvou) fází, z níž alespoň jedna je pevná, s makroskopicky rozpoznatelným rozhraním mezi fázemi, a který dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy kteroukoliv složkou (fází) samostatně ani prostou sumací.” Tato definice byla sestavena na základě několika již vyřčených definic, které však nevystihovaly veškeré charakteristiky kompozitů. [1]

1.1 Struktura kompozitního materiálu

Věda zabývající se studiem strukturní charakteristik materiálu se nazývá mechanika. Složitější materiály jako jsou kompozity nejdou z makroskopického hlediska popsat jednotkovou buňkou. Proto pan L. Holliday zavedl jednotku “reprezentativní buňka”, která zahrnuje mnohem větší rozměr a zahrnuje i neuspořádané oblasti materiálu. Tuto jednotku lze také chápat jako reprezentativní objem, jde o nejmenší objem, který má průměrné vlastnosti celku. [1]

1.2 Matrice – pojivo

Matrice je spojitou částí kompozitního materiálu. Jejím úkolem je držet dispergované částice pohromadě. Nejvíce ovlivňuje vlastnosti celkového kompozitu. Důležitou vlastností matrice je její adheze k vyztužující fázi. Adheze ovlivňuje šíření a rozprostření napětí mezi fázemi.

1.2.1 Typy matric

Matricí kompozitního materiálu může být jakýkoliv materiál, do kterého se nějakým způsobem dají zavést dispergované částice. Mezi typy matric patří polymerní matrice, kovové matrice a keramické matrice. [2, 3, 5]

1.2.2 Polymerní matrice

Polymerní matrice patří mezi nejčastěji používanou matici v kompozitních materiálech. Je nejpoužívanější díky své snadné zpracovatelnosti. Tento typ matrice se využívá tam kde nejsou kladeny vysoké nároky na vysokou pevnost, teplotní a mechanickou odolnost. Polymerní matrice jsou stabilní jen v určitém teplotním intervalu, to omezuje využití kompozitů na této bázi. Také tyto matrice špatně vedou teplo a elektrický proud. Polymerní matrice podléhají degradaci vlivem UV záření. Jejimi kladnými vlastnostmi jsou lehkost,

chemická odolnost a odolnost proti korozi. Polymerní matrice lze rozdělit podle jejich chování na: termoplastické matrice, reaktoplastické matrice a elastomerní matrice. Vlastnosti polymerních matric závisí na molekulové hmotnosti, struktuře a typu vazeb. [1, 3, 6]

1.3 Dispergovaná fáze – plnivo

Plniva můžeme rozdělit na dvě velké skupiny. Plniva vláknová, plnivo je tvořeno různě dlouhými vlákny. Rozdělujeme je na krátkovláknová a dlouhovláknová. Druhou skupinou jsou částicové plniva, tyto plniva jsou tvořena různě velkými částicemi nepravidelných tvarů. [6]

1.3.1 Částicová plniva

Částicové plniva jsou takové, které nejsou tvořeny vláknovými částicemi a jejich rozměry se ve všech směrech příliš neliší. Částice mohou mít tvar kulový, čtyřstěnný, krychlový či jiný těmto podobný. Zpracování částic do polymerní matrice může zlepšit mechanické vlastnosti kompozitů. Častěji se však jedná o zlepšení nebo úpravu vlastností jako tepelná odolnost, elektrická vodivost, útlum vibrací apod. Téměř všechna plniva zvyšují tuhost matrice, ale snižují její houževnatost.

Částice v polymerní matrici by měly být rozloženy zcela rovnoměrně. Shlukování částic plniva na hranicích zrn matrice při jejím tuhnutí je nežádoucí efekt. Při výrobě takových kompozitů je tedy důležité intenzivní míchání při přidávání částic disperze do taveniny. Při nevhodném prostorovém uspořádání může dojít ke vzniku pórů. [1, 4, 6]

1.3.2 Vláknová plniva

Vláknové kompozity jsou tvořeny vlákny o vysokém modulu pružnosti, mající za následek tuhost kompozitu, nebo o vysoké pevnosti zajišťující vysokou pevnost kompozitu. Pro vlákna je charakteristické, že pevnost v tahu podél osy je znatelně vyšší, než je pevnost stejného kompaktního materiálu. Dlouhá vlákna uspořádaná v jednom směru vykazují vysoké hodnoty pevnosti a tuhosti kompozitu ve směru vláken, ale malé hodnoty stejných veličin směrem kolmo na vlákna – jedná se tedy o tzv. anizotropii vlastností. Chceme-li vytvořit kompozit izotropní, je nutno vlákna v kompozitu uložit v různých směrech. Na pevnost kompozitních materiálů mají značný vliv defekty vláken, které ji snižují. Pevnost vláken roste se zmenšujícím se průřezem, proto zmenšují právě zmíněné přirozené defekty. Při porovnání vláken a částicových materiálů je tedy zřejmé, že vlákna mají větší pevnost ve

směru délky, protože nečistoty jsou ve struktuře vlákna minimalizovány v důsledku jeho malého průřezu. [1, 4,6]

2 POLYPROPYLEN

Polypropylen je termický polymer patřící do skupiny polyolefinů. Jedná se o jeden z nejčastěji využívaný polymer na světě v mnoha odvětvích. Je vyráběn polymerací propenu. Polypropylen patří mezi nepolární sloučeniny, tudíž má velmi dobrou odolnost vůči většině rozpouštědel, zásadám a kyselinám. Jedná se o semikrystalickou látku o střední molární hmotnosti M_w 100000 až 600000 g/mol. Kvůli své krystalinitě je neprůhledný. [7, 10]

2.1 Stereoizomerie polypropylenu

Polypropylen vlivem typu polymerace může získat různorodou stereoizomerii, podmíněnou typem uspořádání a pravidelností metylové skupiny navázané na hlavním uhlovodíkovém řetězci. Polypropylen se může vyskytovat ve čtyřech typech konfirmací: izotaktický, ataktický, syndiotaktický a stereoblokový.

2.1.1 Izotaktický polypropylen

Izotaktický struktura polypropylenu se vyznačuje tím, že veškeré metylové skupiny – CH_3 se nachází na jedné straně roviny hlavního řetězce. Má velmi dobré mechanické vlastnosti oproti ostatním typům uspořádání. Jeho teplota tání se pohybuje kolem 165-170 °C a hustota kolem 0,90-0,93 g/cm³. Je velmi odolný vůči rozpouštědlům, je rozpustný jen v některých, a to při teplotách nad 100 °C. [7, 8, 9]

2.1.2 Syndiotaktický polypropylen

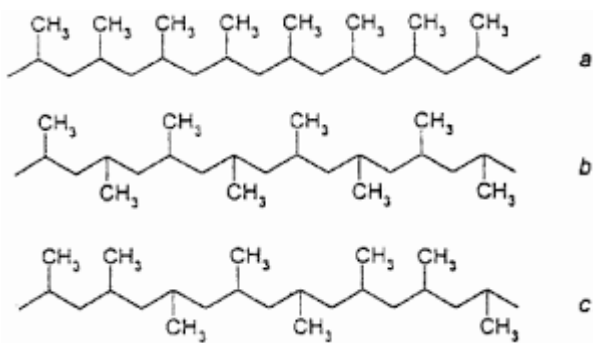
U syndiotaktické struktury se metylové skupiny – CH_3 pravidelně střídají nad a pod rovinou hlavního uhlovodíkového řetězce. Jde o nejméně využívanou strukturu pro jeho vlastnosti, jenž jsou o něco horší než vlastnosti v izotaktickém stavu. [7, 8, 9]

2.1.3 Ataktický polypropylen

Tato struktura nemá žádné pravidelné uspořádání metylových skupin – CH_3 . Ovšem v řetězcích se nachází i části, kde se nějaká uspořádanost objevuje. Ataktický polypropylen je velmi podobný kaučukovému stavu. Teplota tání ataktického polypropylenu je velmi nízká a pohybuje se kolem 80 °C, jeho hustota je 0,85 g/cm³. Je velmi dobře rozpustný v éterech a studeném n-heptaně. Má horší mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti, než má izotaktická struktura. [7, 8, 9]

2.1.4 Stereoblokový polypropylen

Stereoblokový struktura polypropylenu je mezním přechodem mezi izotaktickou a ataktickou strukturou. Je charakteristická tím, že se v ní střídají kratší nebo delší úseky izotaktické struktury s kratšími či delšími úseky struktury ataktické. Přechody mezi těmito úseky jsou plynulé [7, 8, 9]



Obrázek 1. Stereoizomerie PP - izotaktický PP (a), syndiotaktický PP (b), ataktický PP (c)

2.2 Struktury polypropylenu

Polypropylen vlivem uspořádání svých řetězců získává několik nadmolekulárních struktur. Mezi které patří lineární, rozvětvený a síťovaný polypropylen. Nejběžnější je lineární struktura, zatímco struktura síťovaná není skoro vůbec využívána skrze obtížnost výroby.

2.2.1 Lineární polypropylen

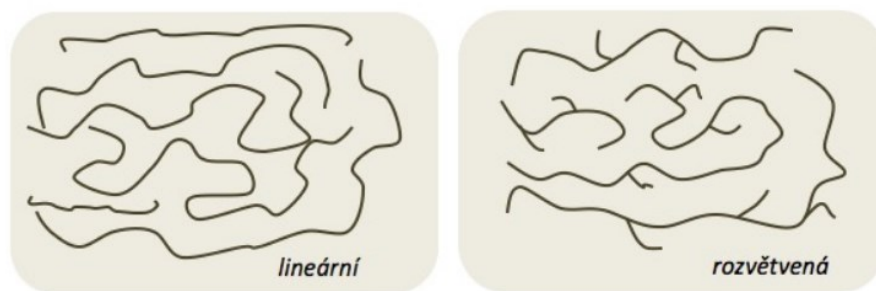
Lineární polypropylen (L-PP) je jediným z nejčastěji používaným termoplastickým polymerem. Svou pozici ve světě polymerní technologie si lineární polypropylen získal díky svému strukturnímu chování, vysokému bodu tání, vysoké pevnosti v tahu, tuhosti a chemické odolnosti. Také se dá snadno zpracovávat a recyklovat. Ovšem v tavenině takovou pevnost nemá, proto se nehodí v aplikacích, kde je třeba vysoká pevnost v tavenině, jako je například pění. [15, 18]

Jde o semikrystalický termický polymer. Od určité teploty se stává velmi tvárným, po ochlazení se stane pevným beze změny vlastností. Semikrystalita polypropylenu byla popsána třemi základními krystalickými fázemi alfa (α -), beta (β -) a gama (γ -). Při běžných podmínkách zpracování nabývá nejvíce α -monokrystalické fáze a mírně β -trigonální fáze. Morfologická struktura a konečné vlastnosti lineárního polypropylenu jsou značně ovlivněny podmínkami zpracování. Při běžných podmínkách zpracování vzniká α -fáze, která se vyznačuje nejvyšší teplotou tání, modulem pružnosti a pevností v tahu ze všech fází.

β -fáze vzniká za specifických podmínek. Nejefektivnější pro vznik β -fáze je přidáním specifického beta nukleačního činidla, které mohou ovlivnit kinetiku krystalizace, velikost sférolitu a výsledné vlastnosti. Pokud v struktuře převládá β -fáze, polypropylen získává vyšší rázovou houževnatost, ale sníží se tuhost a modul pružnosti, než byl u α -fáze. Polypropylen obsahující výrazné množství β -fáze může být méně citlivý k UV degradaci. Kromě alfa a beta fáze může polypropylen krystalizovat ještě do γ -ortorombické fáze. Ta je však nejméně popsána. Díky nepolárním řetězcům se γ -fáze vyznačuje vynikajícím modulem pružnosti závislým na podmínkách krystalizace. [18]

2.2.2 Rozvětvený polypropylen

Rozvětvený polypropylen řeší problém špatné pevnosti v tavenině lineárního polypropyleny. Rozvětvený polypropylen se může připravovat různými způsoby. Jedním ze způsobů je metoda reaktoru, kdy dojde k rozbití hlavního řetězce a pak pomocí katalyzátorů jsou roubovány větve na hlavní řetězec. Druhá metoda zahrnuje větvení pomocí techniky in situ, které probíhá během polymerace. Rozvětvený polypropylen má vyšší elasticitu v tavenině ve srovnání s lineárním polypropylenem. Zavedení větví podporuje i rychlejší krystalizaci, než je u lineárního polypropyleny. [12, 18]



Obrázek 2. Nadmolekulární struktury polypropyleny

2.3 Vlastnosti polypropyleny

Polypropylen se v některých vlastnostech podobá polyetyleny, nejvíce svými elektrickými vlastnostmi a chováním v roztoku. Vlastnosti polypropyleny závisí na molekulové hmotnosti a stereoizomerii. Methylová skupina vázaná na hlavním řetězci zlepšuje mechanické vlastnosti a tepelnou odolnost.

Vlastnosti PP jsou ovlivněny stereoizomerií. Polypropylen se vyznačuje nejnižší hustotou mezi polyolefiny, hustota se pohybuje v rozmezí 0,895 – 0,930 g/cm³. PP je velmi pružný a

houževnatý, což umožňuje velké rozmezí aplikace. Vyznačuje se svou vysokou pevností, tvrdostí, pružností a chemickou odolností. Polypropylen je velice odolný vůči různým typům rozpouštědel. Podléhá však nepolárním rozpouštědlům. Jeho teplota tání se pohybuje v rozmezí 130–170 °C, kdy je teplota tání ovlivněna uspořádáním methylových skupin. Polypropylen je znám také díky svým izolačním vlastnostem, nepropouští vodní páry. Také je znám pro svou nenasákavost a vysokou prodyšnost. Podléhá degradaci vlivem působení vysokých teplot (nad 270 °C) a UV záření. [11, 14, 16]

2.4 Aplikace polypropylenu

Polypropylen se díky svým vlastnostem využívá v mnoho odvětví výrobního průmyslu. Mezi hlavní oblasti použití spadá potravinářský průmysl, chemický a farmaceutický průmysl, textilní průmysl a automobilový průmysl. [11]

V potravinářském průmyslu jsou z něj vyráběny obaly k ochraně potravin. V chemickém průmyslu se zaměřují na jeho využití pro výrobu vodního potrubí, výrobě nádob a filtrů. Polypropylenové nádoby často složí k uskladňování polárních sloučenin. Pro lékařský průmysl je jedním z nejdůležitějších materiálů na výrobu jednorázových kelímků, injekčních stříkaček a dalšího vybavení pro lékaře. Polypropylen je také významný v technickém průmyslu při výrobě aut a letadel, kdy tyto dopravní prostředky v dnešní době obsahují značné množství plastů. V tomto průmyslu je využíván pro výrobu ovládacích desek, sedadel, potahů na sedadla a další.

Jak už bylo zmíněno, aplikace polypropylenu je velká od velkých dílů do aut a letadel až po malé zkumavky a obalové materiály. Tyto výrobky jsou většinou tvořeny kompozity polypropylenu s přidáním dalšími složkami. [11,14]

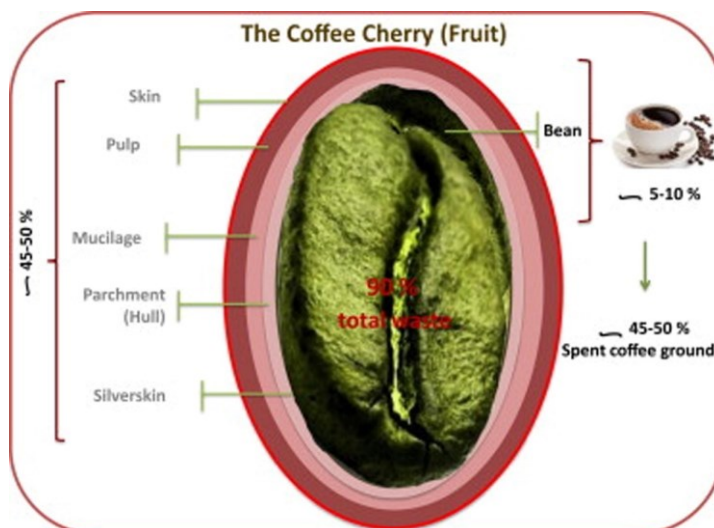
3 KÁVA

V Káva je jedním z nejoblíbenějších nápojů. Její spotřeba je vysoká, podle studií na přelomu roku 2018/ 2019 byla její spotřeba 165 milionů kg pytlů kávových zrn. Podle průzkumů se každoročně spotřeba zvedne o 1,7 až 2,5 %. Největší mi producenti kávy jsou Jižní Amerika, Asie, Afrika a střední Amerika. Tyto kontinenty se také podílejí na největším podílu vedlejších produktu při zpracování kávových bobů na zelená zrna. Tyto že zelená kávová zrna jsou často rovnou exportovány do zemí, kde se dále zpracovávají. Největším odběratelem je Evropské Unie, kde se zelená zrna dále zpracovávají a vznikají další vedlejší produkty. Země Evropské Unie jsou taktéž největší mi spotřebiteli pražených kávových zrn. Kdy po spotřebě vzniká další odpad.

Z procesu vyplývá, že od počátku zpracování až po spotřebu vzniká velké množství vedlejších produktů. Je nutné podle předpisů ekologicky odstranit. Nastává tedy otázka, jak šetrně využít vedlejší odpadní produkty z kávy. Z technologického hlediska by se tyto produkty mohli zařadit do současných výrobních procesů. Mohlo by to snížit náklady na výrobu a zlepšit vlastnost produktů, především v polymerní technologii. [20]

3.1 Složení kávy

Z Káva se připravuje s kávových zrn, jež jsou semenem v kávových třešních. Ty jsou plody rostliny *Coffea*, kterých existuje několik druhů. Avšak dva druhy představují téměř 100% produkci kávy na světě, a to *Coffea arabica* (Arabica) a *Coffea canephora* (Robusta). *Coffea arabica* se podílí na více jak 50 % produkci kávy. Jeden druh kávy může být však rozdílný v závislosti na klimatických podmínkách, půdě či nadmořské výšce, které mohou ovlivnit morfologii a vlastnosti plodu rostliny. [20, 21]



Obrázek 3. Kávová třešeň

Kávové zrno jsou pokryty několika vrstvami, které shrnu chrání. Vnější vrstva zvaná epikarp chrání celý plot před poškozením, pod ní se nachází vrstva zvaná mezokarp, která tvoří dužinu kávové třešně. Pod touto vrstvou jsou ještě dvě vrstvy, které chrání přímo semeno plodu (kávové zrno) a to pergamen a stříbrná slupka. [20, 21]

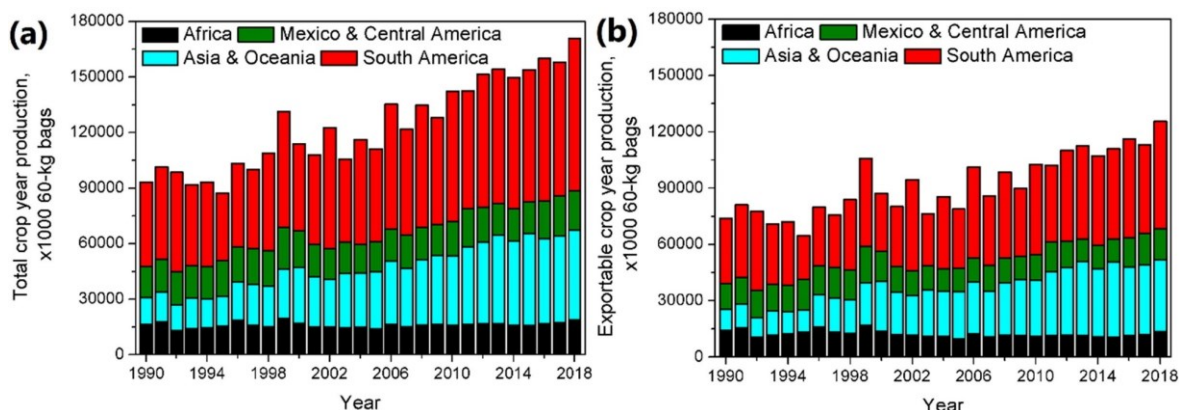
Chemické složení kávových třešní je velice rozmanité a je podobné ostatním druhům ovoce. Obsahují velké množství polysacharidu (celulóza, hemicelulóza), ale také rozpuštěné sacharidy – monosacharidy (glukóza, fruktóza), oligosacharidy (sacharóza, stachyóza) a polymerní sacharidy (manóza, galaktóza). Kávový plod obsahuje (i v sušině) bílkoviny a lipidy. Chemické složení kávové třešně bylo prozkoumáno v několika publikacích, a je popsáno v příložené Tabulce 1. Vody obsahující také značné množství kofeinu a filmů, jenž dělají kávový nápoj kávovým nápoje. Tyto látky jsou antioxidanty, které jsou obsaženy v kávových zrnech patří i tanniny a skupina esterů, nazývaný jako chlorogenové kyseliny, mezi které patří například kofeoychinové kyseliny, dikofeoychinové kyseliny a další. [21]

Tabulka 1. Chemické složení kávových zrn [20]

Sloučenina	Obsah sušiny					
	Druh kávy					
	Arabica	Robusta	Arabica	Robusta	Arabica	Robusta
Celkový počet polysacharidů	–	–	50,8	56,4	38,0	41,5
Nerozpustné polysacharidy	46–53	34–44	–	–	–	–
Celulóza	41–43	32–40	–	–	–	–
Hemicelulóza	5–10	3–4	–	–	–	–
Rozpustné sacharidy	9,0–12,5	6,0–11,5	–	–	–	–
Monosacharidy	0,2–0,5	0,2–0,5	–	–	–	–
Oligosacharidy	6–9	3–7	–	–	–	–
Polysacharidy	3–4	3–4	–	–	–	–
Lipidy	15–18	8–12	16	10	17	11
Bílkoviny	8,5–12,0	8,5–12,0	9,8	9,5	10,0	10,0
Minerály	3,0–5,4	3,0–5,4	4,2	4,4	4,5	4,7
Kofein	0,8–1,4	1,7–4,0	1,2	2,2	1,3	1,4
Kyseliny chlorogenové	6,7–9,2	7,1–12,1	6,9	10,4	2,7	3,1

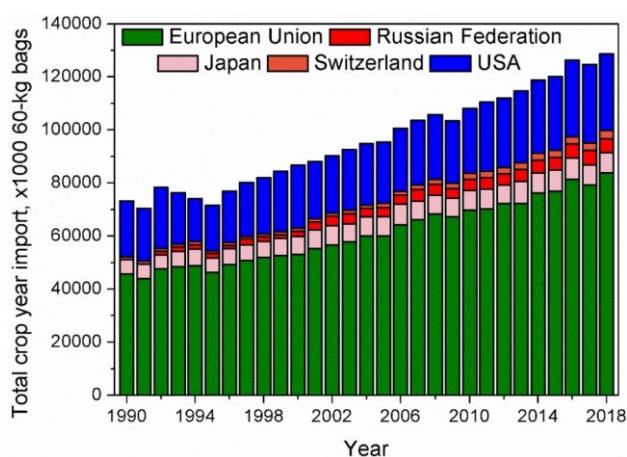
3.2 Produkce kávy

Celosvětové produkce kávy v roce 2018 překročila 10,2 miliard kg, což bylo o 720 milionů kg více než v roce 2017. Celosvětová produkce kávy roste od roku 1990, kdy produkce kávových zrn byla kolem 3,6 miliard kg. Produkce kávy je spjata s klimatickými podmínkami proto jejich pěstitelství je směřováno do Jižní Ameriky, Asie a Oceánie. Největšími světovými producenty jsou Brazílie, Vietnam, Kolumbie a Indonésie. Brazílie je však světovou jedničkou v produkci kávy, její produkce činí 25 až 40 % z celkového množství vyprodukované kávy, záleží na hojnosti roku. Brazílie se vyjímá perfektními klimatickými podmínkami pro pěstitelství Coffey a proto je zde i velká plocha věnována právě jí. V roce 2018 vyprodukovala Brazílie 62,93 milionů pytlů kávy (1 pytel váží 60 kg), zatímco Vietnam jako druhý největší producent měl výtěžnost o polovinu menší. Významné množství kávy je produkováno také v Africe, Mexiku a Střední Americe. Na obrázku 2.a je pozorovatelná produkce vybraných zemí za několik let. [20, 23]



Obrázek 4. Celková produkce a export zelených kávových zrn

Velké množství sklizené kávy je exportováno do jiných zemí, kde se zpracovává. Na obrázku 2.b je znázorněno množství vyprodukované kávy, kterou vybrané země exportují do jiných zemí. Exportovaná káva je zejména dovážena do Evropské Unie, USA, Japonska a Ruska. Množství kávy dovážené do těchto zemí je zachyceno na obrázku 3, který ukazuje kolik pytlů bylo za určité léta dovezeny do zmíněných zemí. Největším odběratelem je samozřejmě Evropská Unie, které je přítomno mnoho firem zaměřujících se na zpracování zelených zrn, jako je Nestlé, Jacobs Douwe Egberts a další. Většina dovezené kávy směřuje do Německa a Itálie, kde se dováží více jak 50 % celkového dovozu do EU. Dalšími významnými zeměmi pro dovoz jsou Belgie, Španělsko, Francie, Nizozemsko, Polsko a Velká Británie.



Obrázek 5. Dovoz zelené kávy do jednotlivých zemí

Produkce a dovoz kávy ukazuje na to, kde se bude pracovat z vedlejšími produkty, které vzniknou pak po zpracování na určitých místech. Nejvíce vedlejšího produktu vzniká přímo na plantážích. [20]

3.3 Zpracování kávy

Existuje několik typů zpracování kávy, ale nejdůležitějšími jsou: suchá, mokrá, medová. Tyto metody se používají v závislosti na profilu konečného produktu. Suchá metoda zpracování zrn dodává kávě jako nápoji plnější chuť a větší tělo zrna, mokrá metoda zajišťuje čistější profil zrn kávy. Suchá metoda zpracování kávy je nejstarší a je velmi jednoduchá. Není třeba využití vody ani další energeticky nákladné procesy. Metoda spočívá ve sušení kávového bobu na slunci. Nejprve se suší celý kávový bob, po několika dnech dužina zkřehne a oddělí se od kávového zrna. Poté se zrno dále nechává sušit na slunci, dokud nedosáhne správné úrovně vlhkosti. [20, 24]

Mokrá metoda je o něco složitější, zahrnuje několik navazujících operací. Nejprve se oddělí mechanicky slupka a dužina od zrna. Vrstva pergamenu, která slizovitá, se odstraňuje mechanicky velmi špatně, proto se zrna pokrytá touto vrstvou fermentují v nádržích, aby se odstranila. Fermentace je velmi důležitým krokem, při této metodě, jelikož ovlivňuje kvalitu nápoje. Po fermentaci se zrna opět suší. [24]

Medová metoda je kombinací suché a mokré metody. Vnější slupka a dřev plodu se oddělí mechanicky jako u mokré metody. Následně se zrna suší na slunci i s vrstvou slizu. Opět se zrna vysouší do požadované vlhkosti. Také takovou zajímavou metodou zpracování je metoda založená na průchodu kávových plodů trávicím traktem zvířat. Tato metoda se používá jen drahých káv. V trávicí soustavě zvířat se díky různým enzymům a kyselinám rozleptají vrstvy chránící zrno před poškozením. Zrno však není pro tvory stravitelné a vychází z těla živočichů ven. Co nejsou pak vybírány a zpracovávají dále. Touto metodou je vyráběna například káva Kopí Luwak, která prošla trávicím traktem cibetek. Dalším příkladem je Black Ivory, která prošla trávicím traktem slonů. Existuje však několik dalších mi to zpracování, ale ty jsou méně rozšířená a používají se jen na některých firmách. [20, 24]

Konečným zpracováním každé metody je sušení zrn na požadovanou vlhkost, která se pohybuje mezi 10-12 hmotnostními %. Sušení lze provést několika způsoby, nejčastěji se rozděluje na přirozené a mechanické. Přirozené sušení kávových zrn probíhá na slunci. Jde o nejméně nákladné sušení, který je však ovlivněno klimatickými podmínkami a ročním obdobím. Aby se zrna vysušili správně je třeba jim věnovat zvláštní péči provádět časté kontroly. Mechanické sušení je založeno na průchodu teplého vzduchu zrny v sušárnách. Po

sušení se odstraňuje již zmíněná vrstva pergamenu. Ta se odstraňuje loupáním, buď třením nebo řezem. Po tomto kroku se zrna rozdělí dle velikosti. [20]

Nejdůležitějším krokem při zpracování je pražení. Během pražení probíhají chemické reakce, jenž dodávají zrnům barvu, chuť a aroma. Tyto reakce lze rozdělit na karamelizaci a Maillardovy reakce. Karamelizace je proces pyrolýzy cukru, zahrnující dehydrataci, kondenzaci, fragmentaci, izomeraci nebo polymerační reakce cukrů, které vytváří karamelanty, karameleny nebo karameliny. Maillardovy reakce zahrnují reakce mezi aminokyselinami a karbonylovými skupinami cukrů. Konečné směsi reakcí jsou zodpovědné za chuť a barvu kávového zrna.

Konečně vlastnosti kávových zrn jsou ovlivněny pražicími metodami. Ty ovlivňují výsledný profil, chuť a aroma kávy. [20]

3.4 Vedlejší produkty

Hlavními vedlejšími služkami celého kávového průmyslu jsou: kávová slupka, kávová dřev, kávový sliz, pergamen, kávová stříbrná slupka, upotřebovaná kávová sedlina, odpadní voda z kávy. Na vzniku vedlejších produktů se nejvíce podílí zpracování kávy. Kdy podle metody zpracování získáme více nebo méně odpadu. Suchá metoda produkuje zejména slupky, mokrá metoda produkuje dřev, pergamen a odpadní vodu.

Tabulka 2. Množství vedlejších produktů při zpracování kávy [20]

Vedlejší produkt	Výtěžek, g/kg čerstvých kávových bobů	Obsah vlhkosti, hmotnostní %
Kávová slupka	120-180	7-18
Kávová dřev	400-423	75-90
Kávový sliz	118	80-94
Kávový pergamen	35-61	4-9
Kávová stříbrná kůže	42	5-7
Použitá kávová sedlina	650	80-85
Odpadní voda z kávy	1-20 l/kg	>99

Vedlejší produkty můžeme rozdělit do dvou kategorií, a to na produkty před pražením, kterými jsou kávové slupky, dřev, pergamen, sliz, a po pražení, které zahrnuje kávovou šupinu a kávovou sedlinu. Metody zpracování ovlivňují vlastnosti vedlejších produktů před pražením, které tvoří téměř 50% hmotnosti kávového plodu. Při suché metodě se kávové slupky a dřev stávají jedním vedlejším produktem, zatím co mokrá metoda je od sebe

separuje. V závislosti na typu mokré metody vznikají další vedlejší produkty jako je sliz, jenž je součástí kávové dřeně. [20, 22, 25]

3.4.1 Kávové slupky

Jde o vedlejší produkt ze suché metody. Tvoří 12-18% suché hmotnosti kávové třešně. Vlivem zpracování obsahují 7-18 hmotnostních % vlhkosti. Slupky obsahují značné množství sacharidů a vlákniny (celulóza, hemicelulóza, liknin). Tyto složky bývají často přítomny v liknocelulózových plnivech používaných v kompozitních materiálech polymerní technologie. Jejich obsah bílkovin by mohl působit při výrobě kompozitů jako změkčovadlo polymerní matrice. Kávové slupky vznikají ve velkém množství, proto se často klade otázka, jak s tímto produktem nakládat. Jednou s možností využití kávových slupek je v polymerní technologii. Dalším zkoumaným využitím je v odvětví zemědělství jako krmivo pro krávy, prasata, nebo ryby, avšak pro tento účel by neměli být využívány pro obsah malého množství stravitelných bílkovin. Kávové slupky se osvědčily jako přídavky do siláží, kompostů a také jako přídatné látky do půdy. Další aplikací kávových slupek je extrakce bioaktivních sloučenin jako jsou kyseliny chlorogenové. Ty vykazují antioxidační aktivitu, která by mohla být výhodná pro polymerní materiály. [20, 22, 25]

3.4.2 Kávová dřev

Představuje 40% hmotnosti kávového plodu. Její složení se může lišit v závislosti na původu zrn, pěstitelských podmínkách nebo typu půdy. Složení dřev je však velice podobné jak složení slupky. Vzhledem k obsahu celulózy, hemicelulózy a likninu lze kávová dřev obdobně jako slupka využít jako plnivo polymerních kompozitů, ale pro jejich obsah vlhkosti se více používají slupky. Mohla by však být využívána pro zkapalňovací syntézu mezi produktu pro výrobu polyuretanu či pryskyřic. Kávová dřev obsahuje také kofein, taniny a kyseliny chlorogenové, které vykazují antioxidační aktivitu. Mohla by být dobrou surovinou pro komposty či hnojiva, nebo výrobu palet či bio paliv. Polymerním průmyslu se nad využitím této části kávového bobu neuvažuje, kvůli její nadměrné vlhkosti. [20]

3.4.3 Kávový sliz

Kávový sliz je součástí kávové dřev. Vzhledem k své viskozitě a pseudo plastickému chování bývá při loupaní kávových zrn často odstraněna, což má za následek vysoký obsah pektinů ve dřev. Složení slizu je velmi ovlivněno původem a odrůdou kávy. Pektinová složka kávového slizu je převážně složena z uronových kyselin. Pektidy nejsou rozpustné v

alkoholu, tudíž se během fermentace neodstraní odpadní vodou. Nejčastěji se kvůli svému složení používá pro fermentaci za účelem výroby ethanolu ne kyseliny mléčné. [20]

3.4.4 Kávový pergamen

Jde o vrstvu, jenž leží nejbližší kávovému zrn. Představuje 5,8-6,1 hmotnostních % kávové bobule. Často se od zrna odděluje loupáním a zůstává součástí slupky. Jeho funkcí je tok vlhkosti a sloučenin k semenu. Jeho přítomnost ovlivňuje sušení kávových třešní. Pergamen je velmi bohatý na vlákninu, která tvoří 90 % této vrstvy. Díky tomuto obsahu nerozpustitelné vlákniny a vzácných antioxidantů se uvažovalo nad využitím v potravinářském průmyslu. Dále byla zkoumána jeho účinnost pro polymerní materiály a pergamen by se dal přidávat do dřeva třískových desek, ale tato oblast není zcela prozkoumaná. [20,25]

3.4.5 Kávová stříbrná slupka

Tato slupka vzniká při pražení kávových zrn. Jedná se o slibný vedlejší produkt využitelný v průmyslu, díky svému nízkému obsahu vlhkosti. Její složení je velice ovlivněno druhem a původem kávy. Hlavní složkou stříbrné slupky jsou sacharidy, a je velmi bohatá na vlákninu. Obsahuje také značné množství kofeinu, polyfenolů a taniny, jenž vykazují antioxidační účinky. Využití stříbrné kávové slupky je obdobné předchozím vedlejším produktům. Lze ji využít k výrobě biopaliv, zajímavým využitím je regenerace fritovacího oleje. Kvůli vysokým antioxidačním účinkům se hlavní využití zaměřuje na potravinářství a kosmetiku. [20, 25]

3.4.6 Kávová sedlina

Kávová sedlina vzniká při vaření kávy. Jde o nejrozmanitější vedlejší produkt kávového průmyslu díky řadě faktorů ovlivňujících její složení. Mezi faktory ovlivňující složení patří: postup mletí, který složení může ovlivnit typem mlýnku, velikostí a tvarem částic mleté kávy, způsobem přípravy kávového nápoje. Kávu si doma i v kavárnách můžeme připravit několika způsoby, které mohou ovlivnit složení kávové sedliny. Mezi tyto metody přípravy patří: odkapávání, expreso, francouzský tisk, studená voda a jiné. Dalšími faktory jsou teplota a profil vody, které ovlivňují extrakci chemických sloučenin ze zrn, a následné ošetření po vaření kávy, zda se sedlina nejprve suší a teprve skladuje, či se skladuje mokrá.

Kávová sedlina je složena ze sacharidů, bílkovin a lipidů. Vzhledem k vaření kávy následná sedlina obsahuje jen malé množství kofeinu a antioxidantů nebo je neobsahuje vůbec.

Tabulka 3. Chemické složení kávové sedliny

Sloučení na	Obsah, % sušiny													
Vláknina	–	46,6 – 51,0	–	–	–	21, 4	–	–	–	47, 3	36, 9	–	–	–
Protein	13. 3	10,2 – 13,0	17, 4	13, 6	13, 6	14, 4	13,7 – 14,9	4,9	13, 8	11. 2	10. 3	10,0 – 18,0	15. 4	–
Tuk	10. 3	–	2,3	6,0	–	–	10,5 – 14,5	13, 0	13, 7	24, 3	–	2,0– 24,0	16. 2	–
Lignin	18, 3	–	23, 9	–	–	–	–	–	10, 7	–	–	0,0– 26,0	–	13, 5
Popel	2,2	7,0– 8,0	1,3	1,6	1,6	1,6	1,6– 2,8	–	1,7	0,5	0,5	1,0– 2,0	1,8	–
Sacharidy	74, 2	–	–	82, 0	–	–	–	65, 9	54, 1	–	–	–	–	–
Celulóza	23, 0	–	12. 4	8,6	8,6	–	–	–	–	–	–	7,0– 13,0	–	24, 3
Hemicelulóza	19, 4	–	31, 9	36, 7	36, 7	–	–	–	–	–	–	32,0 – 42,0	15. 4	24, 8
Kofein	–	–	–	0,4	–	–	0,2	–	–	0,2	–	0,0– 0,4	–	–

Antioxidační aktivita kávové sebe nemůže být spíše s přítomností melanoidinů, které vznikají při pražení kávy. Jejich přítomnost prodlužuje v potravinářských výrobcích trvanlivost výrobku. Kávová sedlina byla také zkoumána z pohledu elementárního složení. Obsahuje v sobě uhlík, vodík, kyslík a dusík. Většina prvků je však extrahována z kávy během vaření.

Kávová sedlina jako ostatní vedlejší produkty kávového průmyslu byla zkoumána jako krmivo pro zvířata, ale obsah fenolů a kofeinu omezuje její stravitelnost. Jako pergamen byla kávová sedlina podrobena analýze a bylo zjištěno, že je bohatá na antioxidační vlákninu, což by bylo možné využít v potravinářském průmyslu. Například v pekařství by se kávová sedlina mohla přidávat do sušenek, aby zlepšila obsah vlákniny, ale nezměnila jejich kvalitu. Dále je zkoumána v oblasti kompostování a hnojiv. Podle analýz by kávová sedlina jako součást kompostu omezila vznikání skleníkových plynů a udržovala kvalitu kompostu. V dnešní době probíhá několik analýz na využití kávové sedliny. [20, 25]

3.4.7 Odpadní voda z kávy

V závislosti na metodě zpracování vzniká různé množství odpadní vody. Během zpracování se voda používá hlavně k odloupání, fermentaci a promývání. Voda, jež odlupuje sloupky obsahuje velké množství organické hmoty z dřene a slizu. Po této úpravě je voda považována za velmi znečišťující látku. I po fermentaci je voda značně znečištěná. Tak to znečištěné vody zatěžující životní prostředí. Je snaha zachytat hrubé částice dřene a slizu, aby se snížila úroveň znečištění, ale i tak se nedojde na požadovanou hodnotu znečištění. Voda obsahuje také různé barevné sloučeniny flavonoidů a antioxidanty. Čištění vod je zaměřeno převážně na regeneraci organické hmoty.

Odpadní vodu z kávy lze použít na výrobu bioplynu nebo k zavlažování plodin. Také by mohla být zdrojem flavonoidů, fenolů a dalších antioxidantů, které by mohly býti značnými příměsi v plastikářské průmysl. [20]

3.5 Využití vedlejších produktů v polymerní technologii

Potenciální aplikace vedlejších produktu z kávového průmyslu je s polymerní technologií spojeno s chemickou strukturou a složením. Obecně lze aplikace rozdělit do dvou skupin, na přímé aplikace a nepřímé. Přijme aplikaci souvisí se zavedením vedlejšího kávového produktu či jeho úpravy bez změny charakteru do Polymerní ho materiálu. Zabývá se tedy výrobou kompozitních materiálů na bázi polymeru a vedlejšího produktu kávového průmyslu.

Nejoblíbenějšími polymerními matricemi dnešní doby jsou polyolefiny, které představují 85–89 % trhu. Mezi polyolefiny a lignocelulóзовými látkami, které obsahují právě vedlejší produkty zpracování kávy, jsou značné rozdíly v chemické struktuře, a hlavně v hydrofilnosti. Z tohoto důvodu je kompatibilita těchto materiálů nedostatečná. Je tedy kladen důraz na výzkum, jak by šla kompatibilita těchto materiálů vylepšit. V současné době byla vyvinuta řada cest, jak vylepšit mezifázové interakce, které jsou založeny na modifikaci povrchu polymerní matrice nebo plniva, či je zlepšena přidáním katalyzátorů. Jedním z činidel využívaných pro napojování těchto látek je maleinhydrid, který je roubovaný buď na polyetylen nebo polypropylen, ten pak vytváří vazby s hydroxylovými skupinami lignocelulóзовých plniv. V případě, že se v polymerním řetězci vyskytují funkční skupiny, lze použít kompatibilizační činidla, které lépe navážou matici a plnivo k sobě.

Nepřímé aplikace vedlejších produktů kávového průmyslu v polymerní technologii je založena na sdílení určitých chemických sloučenin z kávového produktu. Ty mohou být zavedeny do matrice a poskytnout lepší vlastnosti polymeru, například stabilitu proti oxidaci. [20, 22]

3.5.1 Využití kávových slupek

Díky vysokému obsahu celulózy a ligninu lze kávové slupky využít jako plnivo dřevopolymerních kompozitů. Kávové slupky obsahují také značné množství proteinů, které mohou působit na matrice jako změkčovadla a usnadňovat tak zpracování kompozitů. Avšak mohou také snižovat kompatibilitu s matricemi, jsou-li nepolární. To může naopak zhoršovat vlastnosti kompozitního materiálu, a proto jsou přidávány další kompatibilní materiály.

Bylo provedeno několik výzkumů, kde se kávová slupka zaváděla jako plnivo pro různé typy polymerních matric. Mezi prvními, kteří připravili kompozity na bázi kávových slupek byl Urrego Yepes a kolektiv. Ti připravili kompozity z lineárního nízkohustotního polyetyleny s 20 a 40 hmotnostními % kávových slupek. Do kompozitu zaváděli docela velké částice, které měly mnohdy až 2 mm. To vedlo k narušení růstu krystalů v polyetyleny, a tak snížení krystalické fáze. V obou případech bylo ale pozorování značné zvýšení pevnosti tahu. To bylo způsobeno ztužením materiálu, díky tomu kleslo i prodloužení při přetržení o více jak 75 %. Na tuto práci navazovali Huang a jeho kolektiv, kteří obdobně připravili kompozity, ale s vysokohustotním polyetylenem, 40-70 hm.% kávových slupek a 1 hm.% nespecifikovaného maziva. Pevnost v tahu a ohybu a modul pružnosti se s množstvím přidaného plniva zvyšovaly. Tyto kompozity byly velmi podobné mechanickými vlastnostmi kompozitům s dřevěnou moučkou. Elektronová mikroskopie potvrdila vyšší kompatibilitu mezi matricí a plnivem. Podobné výsledky měl Leal s kolektivem při zavedení maleinového polypropylenu jako kompatibilizátoru do kompozitů na bázi polypropylenu a kávových slupek.

Jiní výzkumníci zaváděli kávové slupky do biologicky odbouratelných polymerních matric. Reis a kolektiv použili jako matrici polyhydroxybutyrát a plnily kompozity 10 a 20 hm.% kávových slupek. Obsah tohoto plniva způsobil nejprve mírný posun teploty rozkladu o 6 °C. Malé částice neměly žádný vliv na krystalinitu polymerní fáze, ale kompatibilita matrice a plniva byla velmi slabá. Částice kávových slupek šly snadno z kompozitu odstranit. Pozorování aglomerátů následně prokázalo zhoršení mechanických vlastností od čistého

polyhydroxybutyrátu. Kompozity na bázi poly(epsilon-kaprolaktanu) s obsahem 1 a 5 hm.% kávových slupek vytvořil Borghessi s kolektivem. Tyto kompozity byly využity pro přípravu kompozitních filmů. Kávové slupky zapříčinili změnu vzhledu, zatmavená a zvýšení neprůhlednosti filmů. Díky tomu byla zvýšena i krystalinita polymerní matrice. Vědci také zkoumali bioodbouratelnost vzorků, kdy zakopali filmy po dobu 120 dnů a po uplynulé době zjistili, že se úbytek hmotnosti výrazně zvýšil. Naznačili tedy, že kávové slupky by mohly sloužit jako podpora pro mikroorganismy během degradace.

Z těchto prací vyplývá, že kávové slupky mají dobrý vliv na bioodbouratelné polymerní matrice, avšak v oblasti polyolefinů je lze použít jen po patřičné úpravě a s přidáním kompatibilizátorů. Nicméně kávové slupky jsou také dobrým zdrojem antioxidantů, které by mohly být zaváděny do polymerních materiálů. Slupky obsahují přibližně 1 hm.% kofeinu, 2,5 hm.% kyseliny chlorogenové a až 5 hm.% tatinů. Collazo-Bigliardis s kolektivem provedli několik extrakcí antioxidačních sloučenin přítomných ve slupkách, izolovali tak celulóзовá vlákna, které byly využity pro přípravu celulóзовých nanokrystalů. Tahle frakce přidali do termoplastického škrobu a polymerních filmů na bázi poly(kyseliny mléčné). Zavedení celulóзовých nanokrystalů zlepšilo mechanické vlastnosti filmů. [20, 22]

3.5.2 Využití kávové dřeně

Kávová dřeň je velice podobná složením kávové slupce. Vlivem zpracování však obsahuje více vlhkosti, což ovlivňuje polaritu v polymerních materiálech. Jedinou práci, která využívá kávové dřeně, formulovali Jaisan a Punbusay a kolektiv. Ti připravili extrakci z kávové dřeně a zavedli ji do filmů na bázi chitosanu. Extrakce byla v poměru kávová dřeň:destilovaná voda 1:2. Přidávání extraktů z kávové dřeně zvýšilo antioxidační účinky filmů, žal zvýšení můžou přítomné kyseliny chlorogenové v extraktu. Přidání kávové dřeně také omezilo propustnost vodní páry filmem, což mělo vliv na stabilitu. [20]

3.5.3 Využití kávového pergamenu

Kávový pergamen se skládá převážně z vláknina. Obsahuje menší množství proteinu a lipidů, což by mohlo zvýšit zpevňující účinky u nepolárních matric. Částice kávového pergamenu mají tvar vlákna, to je prospěšné pro přenos napětí v kompozitu a vede ke zlepšení mechanických vlastností polymerního materiálu.

První práci týkající se využití kávového pergamenu publikovali Hata Keyama s kolektivem, kteří připravili kompozity s částečnou substitucí polyolu na bázi melasy s kávovým

pergamenem. Kompozity však měly podobné vlastnosti jako čistý polyol, vlastnosti se změnily až když obsah kávového pergamenu byl vyšší jak 60 hm.%. Tento obsah kávového pergamenu však značně ovlivnil hustotu a snížil tepelnou stabilitu kompozitů. Další práce se zaměřovaly na použití pergamenu jako plniva pro polymerní materiály. Wang a kolektiv připravili kompozity na bázi vysokohustotního polyetyleny a popsali vliv metody kompatibilizace na jejich výkon. Připravili několik modifikací vzorků a analyzovali jejich mechanické vlastnosti. Plniva modifikovali různými metodami, nejlepší modifikací, která měla zvýšit vliv na vlastnosti, bylo alkalické ošetření plniva. Reis se svým kolektivem analyzovali vliv metody zpracování pergamenových vláken, které by mohly plnit funkci výstuže v kompozitních materiálech. Výsledky naznačují, že extrakty z kávového pergamenu by mohly být účinně použity jako modifikátor polymerních povlaků na potraviny, což by prodloužilo jejich trvanlivost. [20]

3.5.4 Využití kávové stříbrné slupky

Z technického hlediska by měla kávová stříbrná slupka být nejslibnějším vedlejším produktem kávového průmyslu. Díky malému obsahu vlhkosti nepodléhá zkáze a nevyžaduje náročné procesy pro sušení. Stříbrná slupka obsahuje 60-70 % vlákniny, která je však nerozpustná. Vyznačuje se také vysokým obsahem proteinů, které se pohybují mezi 17-18 hm.%, ty mohou působit jako změkčovadla.

Zarribakhsh a kolektiv vytvořili kompozity na bázi 25 hm.% stříbrné slupky a mleté kávy do polypropylenové matrice. Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma kompozity byl, že mletá káva obsahovala dvojnásobné množství lipidů. Pod mikroskopem byla odhalena morfologie plniv, které ovlivnily vlastnosti kompozitů. Stříbrná slupka měla vločkový tvar částic, zatímco namletá kávová zrna měly nepravidelný tvar částic. Vlastnosti kompozitů polypropyleny byly silně ovlivněny rozdíly plniv. Kompatibilita mezi plnivem a matricí byla velmi slabá díky nepolární matrici, to způsobovalo spíše zhoršení mechanických vlastností. Stříbrná slupka v polypropyleny však zvýšila modul pružnosti v tahu, než má samotný polypropylen. Dominici a kolektiv ve své práci ošetřili stříbrnou vrstvu esterifikací palmitoyl chloridem. Takto modifikované plnivo zvýšilo kompatibilitu mezi stříbrnou slupkou a polypropylenem. [20]

3.5.5 Využití kávové sedliny

Struktura kávové sedliny je různorodá, proto se využívá jako plnivo polymerních matric, které jsou analyzovány. Kávová sedlina je nejdostupnějším vedlejším produktem na světě, vzniká při vaření kávy v kavárnách i doma. [20, 22]

3.5.6 Polymerní kompozity s kávovou sedlinou

Obdobně jako ostatní vedlejší produkty kávového průmyslu i kávová sedlina obsahuje značné množství vláken. To umožňuje její aplikaci v polymerních technologiích. Sedlina obsahuje také množství proteinů a lipidů, které by mohly působit jako změkčovadla. Ovšem u nepolárních matric jako jsou polyolefiny, by mohly mít špatný vliv na mezifázovou adhezi. U matric obsahujících boční skupiny je adheze mezi maticí a plnivem značně posílena.

Cestari s kolektivem využili recyklovaný vysokohustotní polyetylen a jako jeho plnivo využili kávovou sedlinu, která představovala 60 hm.% kompozitu. Pomocí skenovací elektronové mikroskopie na první pohled uvažili, že adheze mezi maticí a plnivem je velice dobrá, ale další zvětšení tuto teorii vyvrátilo. Mezi plnivem a maticí vznikaly značné dutiny. To způsobovalo menší tahovou odolnost a zhoršenou teplotní stabilitu. Časem vědci analyzovali krystalizaci kompozitu, kdy zjistili, že kávová sedlina nemá vliv na krystalinitu ani teplotu tání. Avramiho analýza ukázala nárůst sférolitických krystalů, které byly podporovány vyšším obsahem plniva. Ty samé kompozity zkoumali také vědci Sibebe Paiedade a Luis Claudio, kteří se věnovali vlivu úpravy plniva na celý kompozit. Ti rozdělili zrna kávové sedliny na frakce a odstranili z nich extrakcí rozpustné látky, které měly mírný vliv na morfologii povrchu kávové sedliny. Zjistili, že lignin může v kompozitech působit jako ochranný materiál. Všechny vytvořené kompozity byly stabilní v teplotním rozmezí, ve kterém se vysokohustotní polyetylen používá. Obdobně jako u Cestari nebyly zjištěny žádné vlivy na teplotu tání a krystalinitu. U frakce vyšší jak 814 μm byl zaznamenán pokles krystalinity, což bylo způsobeno brzděním krystalizace velkými částicemi. Úpravě kávové sedliny a jejího vlivu na vysokohustotní polyetylen se věnoval také Tanem s kolektivem. Ti využili kávovou sedlinu z kaváren Starbuck a sušili ji, dokud nedosáhla obsahu vlhkosti 1-2 hm.%. Sedlinu následně rozdělili na tři frakce podle velikosti a podrobili je úpravám. Zrna kávové sedliny extrahovali n-hexanem, namáčeli ji v 1 % roztoku NaOH nebo využili obou metod najednou. Matici následně plnili 5,5 hm.% plniva. Skenovací elektronová mikroskopie následně ukázala, že metody úpravy měly vliv na snížení olejovité vrstvy zrn.

Tím se změnil i povrch plniva. Veškeré metody úprav vedly ke zlepšení modelu pružnosti a pevnosti v tahu.

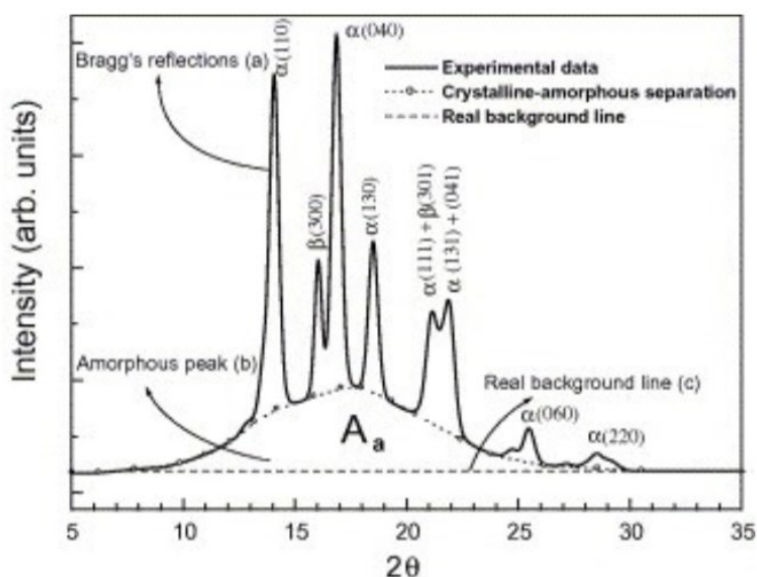
Jaya Chitra a kolektiv analyzovali vliv typu polymerní matrice polypropylenu a obsahu kompatibilizátoru na kompozit plněný 15 hm.% kávové sedliny. Jako matrici využili čistý polypropylen a kopolymer polypropylenu s polyetylenem. Kompatibilizátorem byl polypropylen roubovaný maleinovým anhydridem. Kompatibilizátor vylepšil mezifázové adheze a tím se zlepšila rázová houževnatost a prodloužení před přetržením u obou kompozitů. Pevnost v tahu však nebyla nijak ovlivněna. Mikroskopická analýza potvrdila navázání hydroxylových skupin na maleinový anhydrid. Se stejnými matricemi pracoval i Wu se svým kolektivem. To zavedli ještě kyselinu stěrkovou, která odstranila z kávové sedliny lipidy. Modifikované plnivo bylo zavedeno do matrice v množství 40 hm.% s kompatibilizátory 2,5 hm.% polypropylenu roubovaného maleinovým anhydridem a kyselinou stereovou. Dále modifikovali kávovou sedlinu pomocí n-hexanu, který odstranil olejovitou vrstvu sedliny, to bylo potvrzeno i infračervenou spektroskopií. Absence lipidů usnadnila interakci s kompatibilizátory. Modifikace kávové sedliny výrazně zlepšila mechanické vlastnosti kompozitů. Zvýšila se pevnost v tahu i ohybu, dále i modul pružnosti v tahu i v ohybu. Autoři také provedli zkoušku zrychleného stárnutí kompozitů. To prováděli pomocí vody a vodní páry a cyklickým zmrazováním a zahříváním. Mohlo být prokázáno, zda kávová sedlina káv kompozitu svůj antioxidační charakter. Vlivem tohoto pokusu se mechanické vlastnosti kompozitů značně snížili. Výše uvedené analýzy ukazují, že po úpravě kávové sedliny je možné ji zavádět do matric na bázi polyolefinů. [20]

4 ANALITICKÉ METODY

Vlastnosti kompozitů na bázi polypropylen/kávová sedlina mohou být studovány několika možnými metodami. Pro popis struktury kompozitů je vhodná širokoúhlá rentgenová difrakce a diferenciální snímací kalorimetrie. Pro studium mechanických vlastností jsou vhodné metody normovaná tahová zkouška a rázová houževnatost metodou Charpy.

4.1 Širokoúhlá rentgenová difrakce

Širokoúhlá rentgenová difrakce se zařazuje mezi konvenční metodu, která se využívá pro charakterizaci krystalické struktury polymerů, jejich krystalinitu a zjištění obsahu jednotlivých fází krystalizace. Nejdůležitějším krokem, pro výpočet krystalinity semikrystalického polymeru, je separace amorfní a krystalické části. Metoda WAXD je založena na dopadu monochromatického rentgenového záření na materiál. Při dopadu rentgenového záření dochází k interakci s elektrony, které následně začnou kmitat na stejné frekvenci jako elektrony v dopadajícím paprsku. Mohou nastat dvě situace. První situace nastane v amorfním materiálu, kde dojde ke vzájemné oscilaci elektronů, které se destruktivně narušují a nastane tzv. destruktivní interference. Amorfní oblast vytvoří velmi široké píky pod křivkou v důsledku difrakce. Druhá situace nastane v krystalických materiálech, ve kterých lze očekávat pravidelné uspořádání. Dochází ke konstruktivní interferenci a rentgenový paprsek vzorek rozdělí v definovaných směrech. Krystalická oblast vytvoří ostré píky.



Obrázek 6. Standartní obrazec iPP

Braggovy difrakční odrazy při 14,20 °, 17,00 °, 18,80 ° odpovídají indexovaným rovinám monoklinické α -fáze iPP, pro trigonální β -fázi odpovídá úhel 16,20 °. Pro γ -fázi odpovídají úhly 20,05 °, současně i difrakční úhly 14,20 ° a 17,00 °, u kterých však dochází k překryvu γ -fáze s α -fází. [18, 19, 27]

4.2 Diferenciální snímací kalorimetrie

DSC je nejpoužívanější metodou termických analýz pro charakterizaci polymerů. Tato metoda umožňuje měřit endotermní a exotermní změny látek jako funkci teploty. Studovaný vzorek je vystavován lineárnímu ohřevu nebo chlazení, a přitom se plynule mění rychlost tepelného toku ve vzorku, který je úměrný okamžitému měrnému teplu. Výsledná křivka vykresluje množství uvolněného, nebo absorbovaného tepla v závislosti na teplotě. Pomocí této křivky lze odhalit fázové přechody, polymorfismus, krystalografické změny, ale třeba i charakteristické teploty jako je teplota skelného přechodu, tání a krystalizace. [17,19]

4.3 Rázová houževnatost

Houževnatost je jedna ze základních charakteristik materiálu a může být definována jako odolnost materiálu vůči poruše lomem. Mluvíme tedy o schopnosti absorpce energie při iniciaci a šíření trhliny neboli schopnosti materiálu se plasticky deformovat. Zkouška vrubové houževnatosti se řadí mezi dynamické rázové zkoušky, která se provádí na kyvadlovém kladivu – Charpyho kladivo dle stanovené normy ČSN EN ISO 179-1. Vrubová houževnatost se získává na zkušebních tělesech, které jsou zeslabeny vrubem různého tvaru. Účelem vrubu na zkušebním tělese je, aby lom proběhl ideálně uprostřed a kolmo podélně na osu vzorku. Vzorky se pokládají na podpěry tak, aby vrub ležel na protilehlé straně, než na kterou dochází k rázové deformaci. Vrubová houževnatost je výrazně ovlivněna tvarem vzorku a jeho rozměry. Vruby se mohou vytvořit frézováním nebo pilováním. Nejčastěji se používá V-vrub o šířce 2 mm definovaný normou ČSN EN ISO 179-1. [18]

4.4 Tahová zkouška

Zkouška tahem se řadí mezi základní mechanické zkoušky, charakterizuje chování a odolnost výrobku při působení statických, nebo dynamických vnějších mechanických sil. Statická zkouška tahem udává závislost napětí na deformaci materiálu. Zkušební těleso je zatěžováno pomalu vzrůstající zátěžnou silou v jednom směru neboli jednoosým namáháním za pokojové teploty. Tato zkouška probíhá až do úplného porušení soudržnosti materiálu. Z

průběhu zkoušky lze stanovit celou řadu mechanických vlastností, které jsou charakteristikou zkoumaného materiálu.

Pro tahovou zkoušku jsou normalizovaná tělíska kruhového nebo obdélníkového průřezu. Tyto tělesa jsou stanoveny normou ČSN EN ISO – 527-1. Tělíska jsou do trhacího stroje upínány pomocí čelistí. [18,29]

II PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRÁCE

Bakalářská práce si bere za cíl přípravu a charakterizaci kompozitních materiálů na bázi lineárního polypropylenu s obsahem kávové sedliny jako přírodního plniva. Kávová sedlina bude do polymerní matrice zaváděna v koncentracích 2, 4, 6 a 8 hm.%. Také budou připraveny vzorky se stejnou matricí a obsahem kávové sedliny, kdy navíc budou přidány 2 hm.% kompatibilizátoru MAH, který podporuje kompatibilitu mezi matricí a plnivem, a tím i kvalitu disperze plniva. Cílem je vyhodnotit vliv obsahu kávové sedliny a přítomnosti adhezního činidla na mechanické a fyzikální vlastnosti připravených kompozitů. Vlastnosti budou hodnoceny pomocí krátkodobé tahové zkoušky, rázové houževnatosti, diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC), rentgenové difrakce a síťové analýzy velikosti zrn.

6 MATERIÁLY

Jako výchozí materiál byl využit polypropylen od firmy Borealis. Konkrétně lineární polypropylen Borealis Borclen HC300BF. Index toku taveniny L-PP (230 °C; 2,16 kg; ISO 1133-1) je 3,3 g/10 min. Jako plnivo kompozitů byla použita vysušená kávová sedlina, která je dále označována jako SCG. A pro zlepšení adheze mezi matricí a plnivem bude využit kompatibilizátor SCONA TPPP 8112 v obsahu 2 hm.%. dále bude označováno jako MAH. Index toku taveniny MAH (190 °C; 2,16 kg) je > 80 g/10 min.

7 SLOŽENÍ A MÍCHÁNÍ SMĚSÍ

7.1 Složení směsí

Byly připravovány směsi o celkové hmotnosti 1500 g. Složení směsí je popsáno v příložené Tabulce 4. Ta udává procentuální i hmotnostní zastoupení SCG a hmotnostní zastoupení MAH a L-PP. Tyto směsi byly dále zpracovávány.

Tabulka 4. Složení směsí

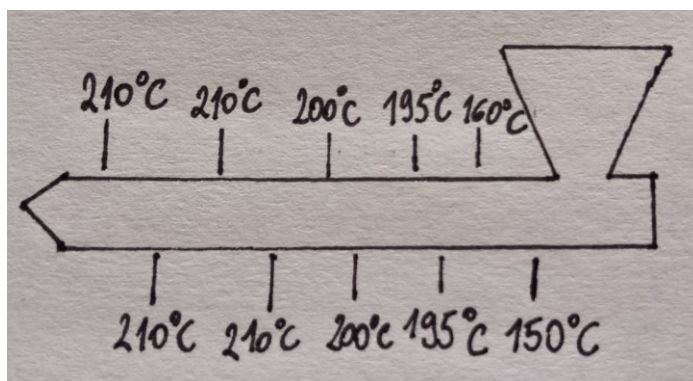
označení	SCG		MAH	L-PP
	hm.%	[g]	[g]	[g]
L-PP	0	0	0	1500
L-PP+2 %SCG	2	30	0	1470
L-PP+4 %SCG	4	60	0	1440
L-PP+6 %SCG	6	90	0	1410
L-PP+8 %SCG	8	120	0	1380
L-PP-MAH	0	0	30	1470
L-PP+2 %SCG +MAH	2	30	30	1440
L-PP+4 %SCG +MAH	4	60	30	1410
L-PP+6 %SCG +MAH	6	90	30	1380
L-PP+8 %SCG +MAH	8	120	30	1350

7.2 Míchání směsí

Směsi byly míchány na vytlačovacím stroji SCIENTIFIC od společnosti RB TECH ENGINEERING COMPANY (Obrázek 6). Jedná se o dvoušnekový vytlačovací stroj, ze kterého je vytlačena struna materiálu. Struna vycházející z vytlačovacího stroje byla nárazově chlazena ve vodní lázni. A poté byla granulována. Granulát byl před dalším zpracováním řádně vysušen. Teploty jednotlivých pásem na vytlačovacím stroji byly v rozmezí od 150 °C do 210 °C (Obrázek 7), jelikož teplota tání lineárního polypropyleny se pohybuje kolem 165-170 °C.



Obrázek 7. Vytlačovací stroj



Obrázek 8. Teplotní zóny na dvoušnekovém vstřikovacím stroji

8 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Tělesa pro tahovou zkoušku, rázovou houževnatost, diferenciální skenovací kalorimetrii a rentgenovou difrakci byly připraveny z připravených granulátů metodou vstřikování na vstřikovacím stroji DEMAG Ergotech 50-200 system (Obrázek 8). Vstřikováním bylo připraveno 15 lopatek pro tahovou zkoušku typu 1A (Obrázek 9) a 15 trámečků (Obrázek 9) o rozměrech 80 x 10 x 4 mm, které byly použity pro rázovou zkoušku, diferenciální skenovací kalorimetrii a rentgenovou difrakci, pro každou připravenou směs. Tyto vzorky odpovídají normě ČSN EN ISO 294-1. V Tabulkách 5 a 6 jsou uvedeny parametry vstřikování a teploty jednotlivých zón.

Tabulka 5. Parametry vstřikování

Čas cyklu [s]	85
Vstřikovací tlak [bar]	900
Vstřikovací rychlost [mm/s]	60
Dotlak [bar]	250
Čas dotlaku [s]	30
Čas chlazení [s]	30

Tabulka 6. Teploty jednotlivých zón vstřikovacího stroje

Tryska [°C]	MH3 [°C]	MH2 [°C]	MH1 [°C]	Plnění [°C]	Olej [°C]
220	210	195	170	50	50



Obrázek 9. Vstřikovací stroj DEMAG



Obrázek 10. Vstříkované tělíska

Pro tahovou zkoušku byly využity tělíska tvaru lopatky. Pro rentgenovou širokoúhlou difrakci a rázovou houževnatost byly použity tělíska tvaru trámečků. A pro diferenciální skenovací kalorimetrii byly využity malé kousky trámečkových tělísek.

9 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A METODY

9.1 Sítová analýza

Velikosti částic mají vliv na vlastnosti materiálu. Distribuce velikosti částic jde stanovit několika metodami, nejznámější a nepoužívanější je sítová analýza (obrázek č. 11). Sítová analýza je důležitou metodou pro posouzení distribuce velikosti částic materiálu a je také nejjednodušší. Tato analýza je založena na prosévání materiálu několika síty o různých velikostech ok. Síta jsou seskládána tak, aby dole bylo síto s nejmenšími oky a nahoře síto s největšími oky. Následně se síty prosévá materiál, u kterého potřebujeme znát distribuci velikosti částic. Částice s větším průměrem, než má síto oka zůstává v sítu. Tyto frakce se následně váží, aby se zjistila nejvíce zastoupená velikost částic. [26]



Obrázek 11. Průběh sítové analýzy

9.2 Širokoúhlá rentgenová difrakce

Širokoúhlá rentgenová difrakce určuje strukturu krystalických látek. Jednotlivé vzorky byly testovány na přístroji XRDynamic 500 od firmy Anton Paar, Austria (Obrázek 12). Měření probíhalo v odrazovém módu s Bragg-Bretano paprskovou geometrií. Bylo využito monochromatické záření $\text{CuK}\alpha$ a niklový filtr s průchodem vlnové délky $\lambda = 0,154 \text{ nm}$.

Celková krystalinita jednotlivých směsí byla odečtena z difraktogramů. Pro stanovení krystalinity (X) byl použit poměr plochy píků krystalické fáze I_K a amorfní fáze I_A podle rovnice (1).

$$X = \frac{I_K}{I_K + I_A} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

Jednotlivé píky systému zastupují jednotlivých fází α , β a γ . Obsah β -fáze (B), která odpovídá úhlu $2\theta = 16,20^\circ$ se vypočítá v krystalickém systému α/β podle rovnice (2).

$$B = \frac{H_\beta}{H_{\alpha1} + H_{\alpha2} + H_{\alpha3} + H_\beta} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

Kde $H_{\alpha1}$ je intenzita píku první α fáze, $H_{\alpha2}$ je intenzita píku druhé α fáze, $H_{\alpha3}$ je intenzita píku třetí α fáze a H_β je intenzita píku β fáze. [19]



Obrázek 12. rentgenový difrakcimetr XRDynamic 500

9.3 Diferenciální snímací kalorimetrie

Pro určení teplot tání a krystalizace jednotlivých kompozitů byl využit diferenciální skenovací kalorimetr Mettler Toledo DSC 1. Měření probíhalo v inertní dusíkové atmosféře. Teplotní režim celého procesu každého vzorku začíná zahřáním z 50°C na 220°C při rychlosti zahřívání $10^\circ\text{C}/\text{min}$. následně je vzorek udržován po dobu 5 min. na teplotě 220°C , aby se vymazaly předchozí tepelné historie vzorku. Po tomto kroku následuje chlazení na 50°C při rychlosti chlazení

10 °C/min. Opět se vzorek nechal 5 minut na této teplotě. Posledním důležitým krokem byl ohřev z 50 °C na 190 °C rychlostí 10 °C/min. Měření končí chlazením na 50 °C rychlostí 50 °C/min. [19]

9.4 Tahová zkouška

Pro tahovou zkoušku byl využit univerzální zkušební stroj Galdabini Quaser 25, jenž slouží pro zkoušky v tahu, ohybu a tlaku.



Obrázek 13. Přístroj pro měření tahové zkoušky

Parametry zkoušky: 1. fáze – rychlost zkoušení 1 mm/min, frekvence ukládání 10 ms

2. fáze – rychlost zkoušení 50 mm/min, frekvence ukládání 50 ms

Pomocí tahové zkoušky byl zjišťován modul pružnosti (E), pevnost v tahu (σ) a tažnost (ϵ). Modul pružnosti v tahu je nazýván také jako Youngův modul. Lze definovat jako podíl napětí (σ) a tažnosti (ϵ), jak ukazuje rovnice (3). [28]

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} [Pa] \quad (3)$$

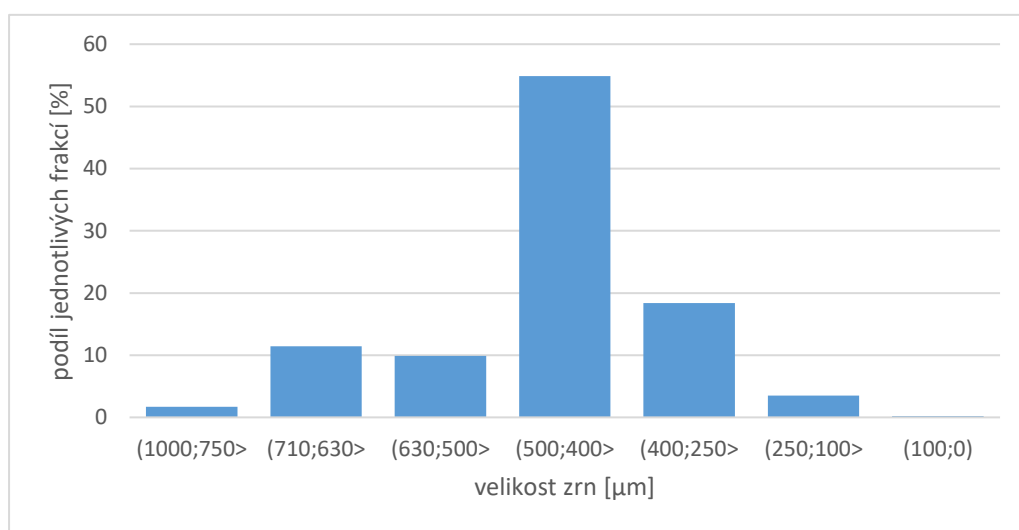
9.5 Vrubová rázová houževnatost

Rázová houževnatost byla provedena metodou Charpy, která je popsána normou ČSN EN ISO – 179-1. Tato metoda spočívá v nárazu kladiva na vzorek. Jako rázové kladivo bylo použito kladivo Olsen. Nárazová práce činila 2,7959 J.

10 ANALÝZA VÝSLEDKŮ

10.1 Sítová analýza

Pomocí sítové analýzy byla zjišťována velikost částic kávové sedliny. Použitá síta měly velikosti ok 710 μm , 630 μm , 500 μm , 400 μm , 250 μm a 100 μm . Hmotnost jednotlivých frakcí jsem vážila na analytických vahách s přesností $\pm 0,00001$ g. Procentuální podíl velikosti částic je znázorněno na obrázku 9. Tabulka 7 udává hmotnosti frakcí a jejich procentuální podíl.



Obrázek 14. Distribuce velikosti částic kávové sedliny

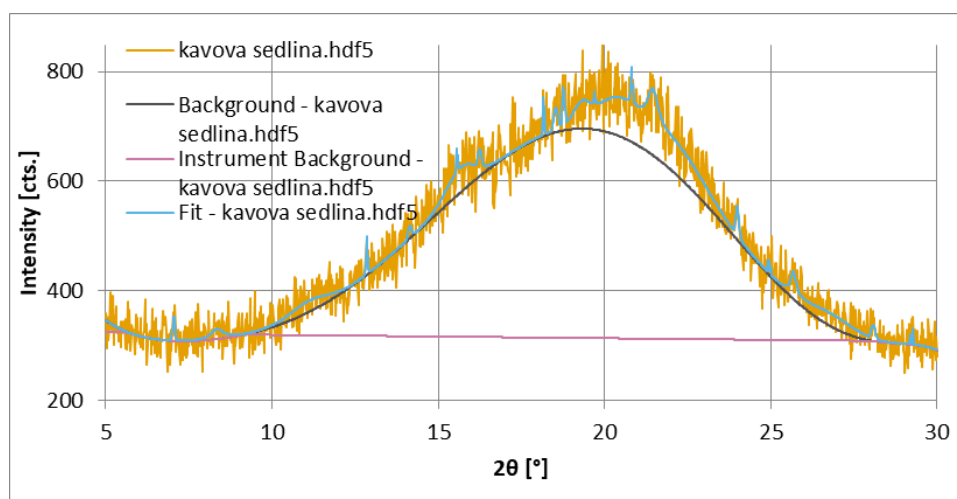
Tabulka 7. Hodnoty distribuce velikosti částic

velikost zrn kávové sedliny [μm]	hmotnost zrn [g]	podíl frakcí [%]
> 710	1,94051	1,70
> 630	13,01344	11,41
> 500	11,28989	9,90
> 400	62,60105	54,89
> 250	20,95814	18,38
> 100	3,98295	3,49
< 100	0,25720	0,23
celková hmotnost:	114,04318	100,00

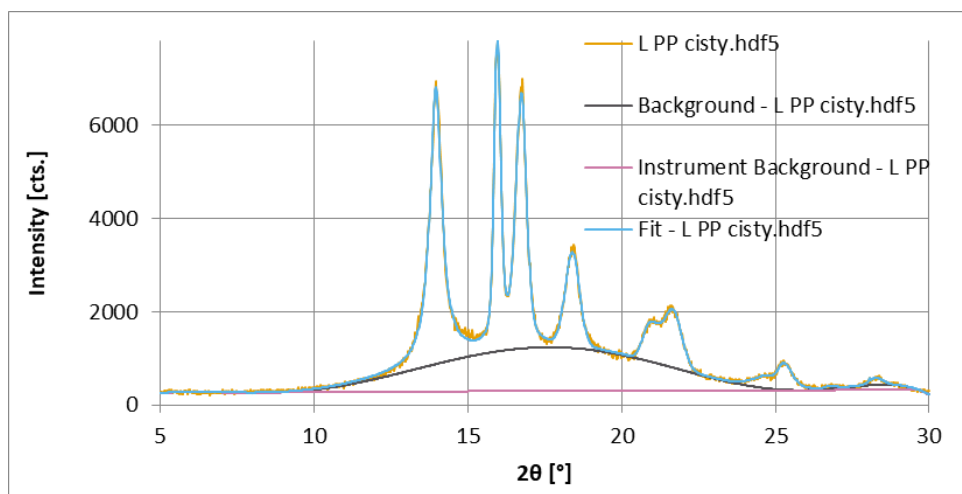
10.2 Širokoúhlá rentgenová difrakce

Z difraktogramů naměřených na širokoúhlé rentgenové difrakci se získaly informace o stupni krystalinity a krystalické struktuře povrchu vstřikovaných kompozitních materiálů. Pozoroval se vliv obsahu kávové sedliny na podíl celkového obsahu krystalinity a charakteristické spektrum β -fáze. Na obrázcích 13–23 můžeme vidět průběhy difraktogramů jednotlivých směsí, kdy na ose x je úhel mezi dopadajícím rentgenovým paprskem a detektorem, a na ose y je počet odražených paprsků ve směru tohoto úhlu.

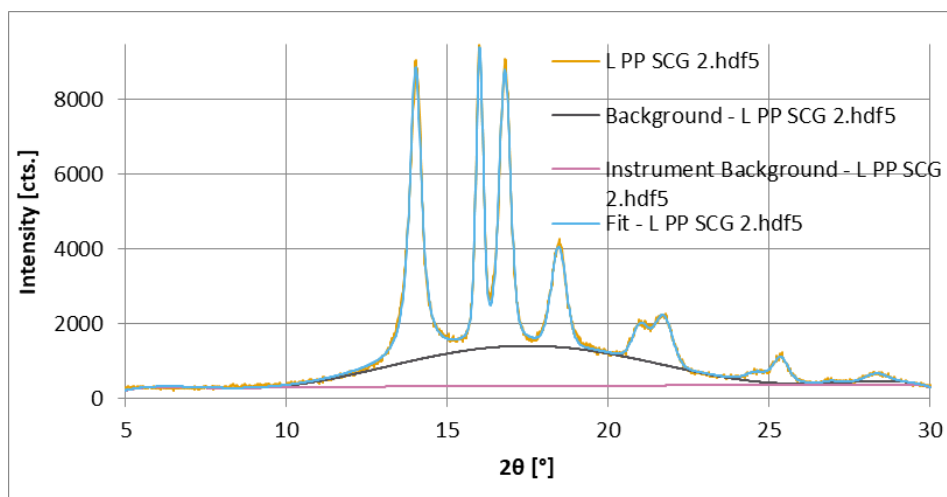
Intenzita odražených paprsků β -fáze je popsána píkem nacházejícím se u $2\theta = 16,20^\circ$, kdy u některých směsí je lehce posunuta. Z Obrázků 14-23 lze vidět, že β -fáze je představována třetím píkem a jeho intenzita u jednotlivých směsí kolísá lehce nahoru a dolů. Největší intenzitu odražených paprsků pod konkrétním úhlem u směsí typu L-PP + SCG měla směs obsahující 2 hm.% SCG. U směsí na bázi L-PP + 2 hm.% MAH + SCG měly podobné intenzity zastoupení odražených paprsků pod úhlem $2\theta = 16,20^\circ$ měly směsi obsahující 2 a 4 hm.% SCG. S porovnáním směsí, které neobsahovaly žádné procento SCG se intenzita lehce zvýšila, nebo byla podobná. U směsí se 6 a 8 hm.% kávové sedliny intenzita paprsků v konkrétním úhlu lehce od předchozích hodnot klesla, ale ne nijak výrazně.



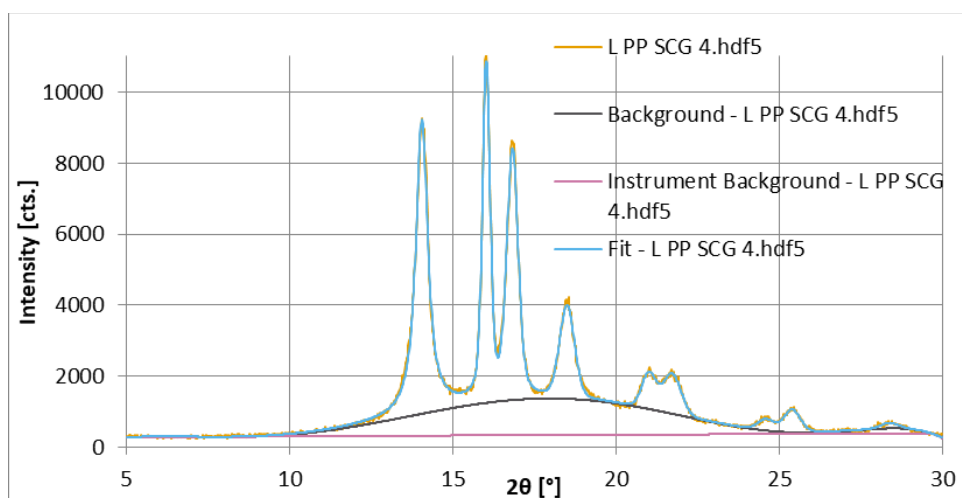
Obrázek 15. Difraktogram SCG



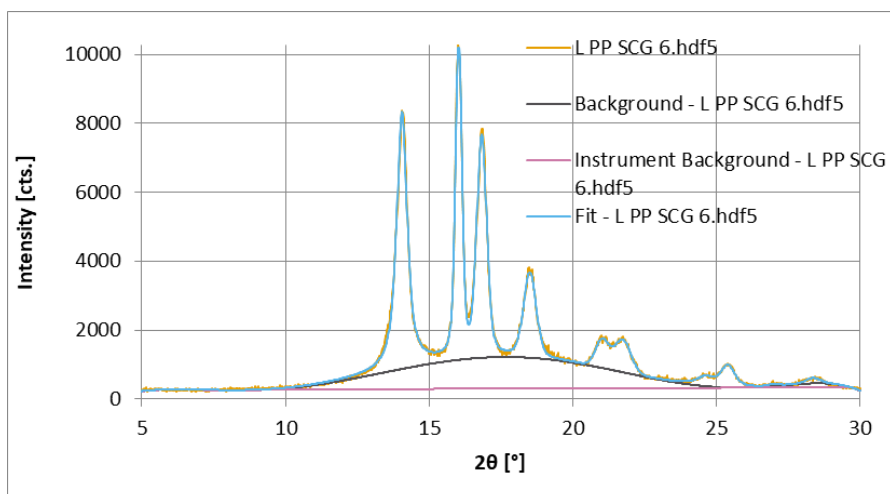
Obrázek 16. Difraktogram L-PP



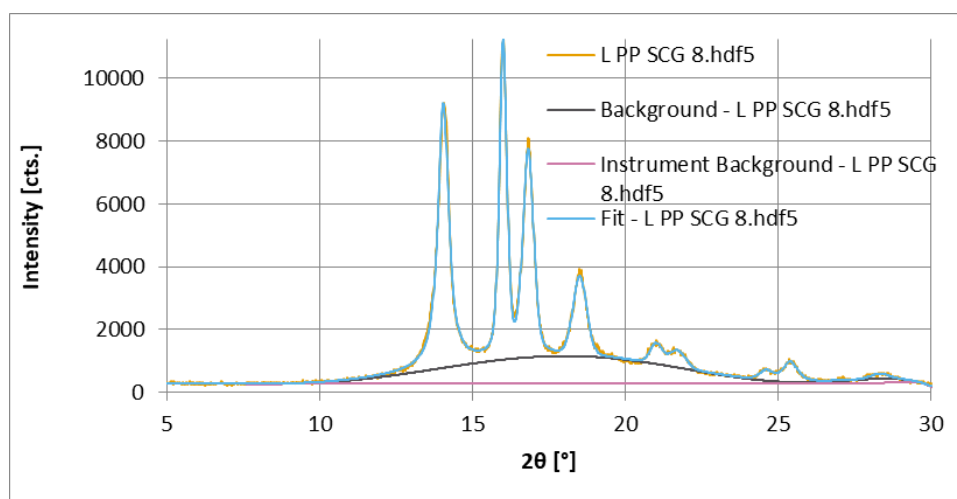
Obrázek 17. Difraktogram L-PP + 2 hm.% SCG



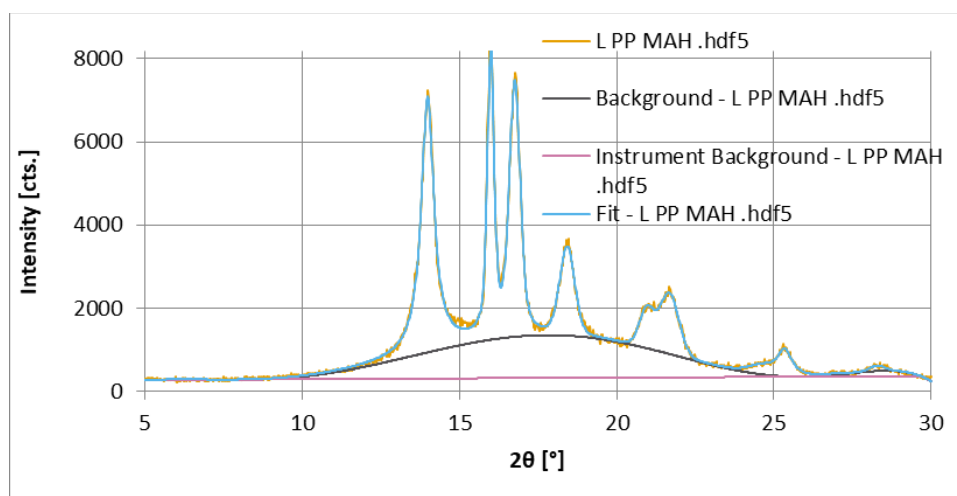
Obrázek 18. Difraktogram L-PP + 4 hm.% SCG



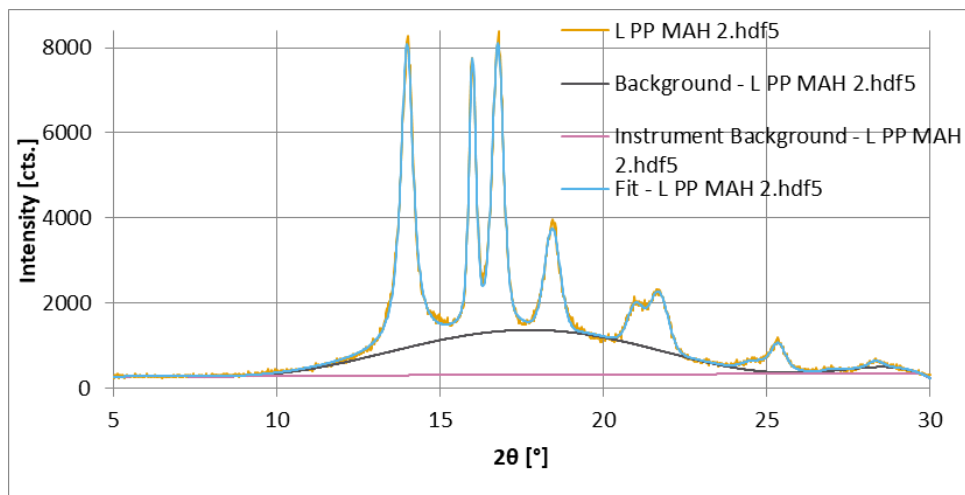
Obrázek 19. Difraktogram L-PP + 6 hm.% SCG



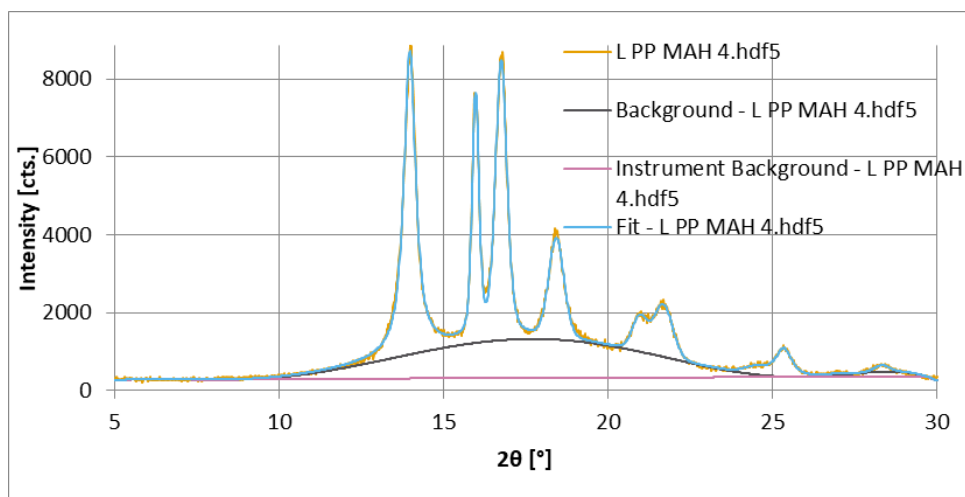
Obrázek 20. Difraktogram L-PP + 8 hm.% SCG



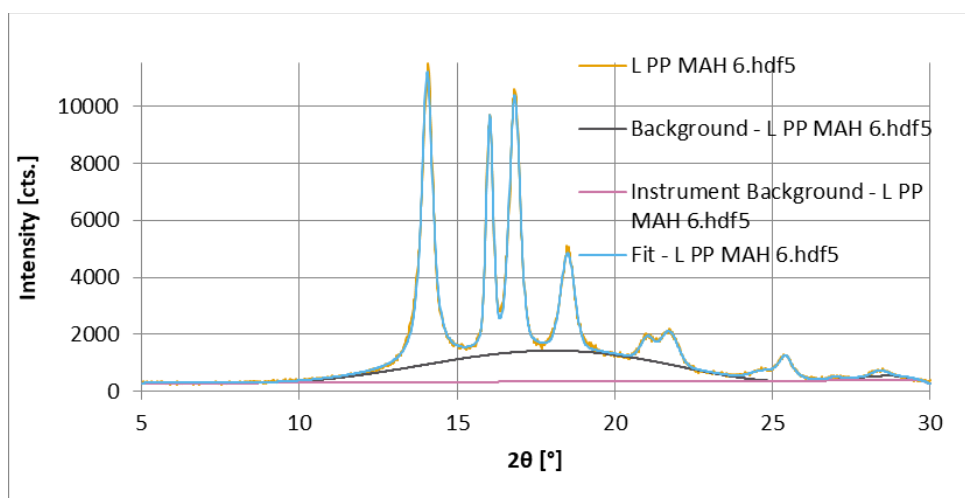
Obrázek 21. Difraktogram L-PP + 2 hm.% MAH



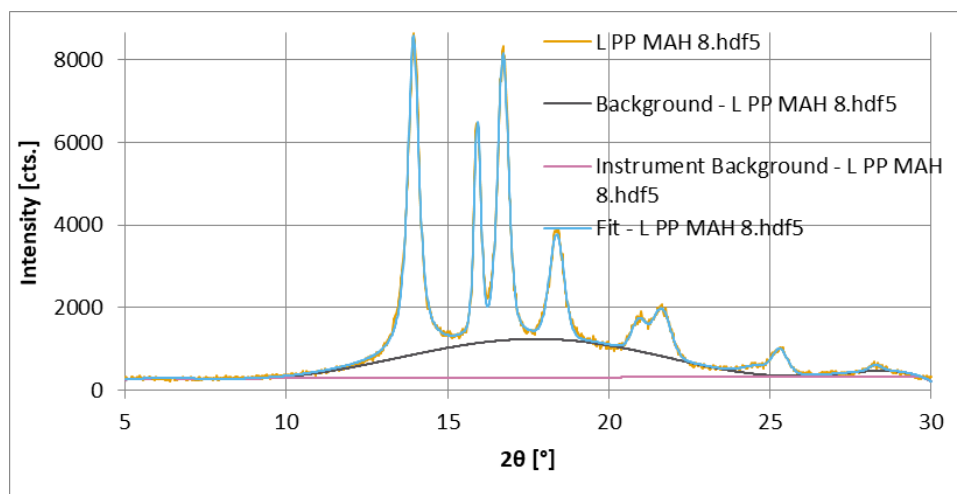
Obrázek 22. Difraktogram L-PP + 2 hm.% MAH + 2 hm.% SCG



Obrázek 23. Difraktogram L-PP + 2 hm.% MAH + 4 hm.% SCG

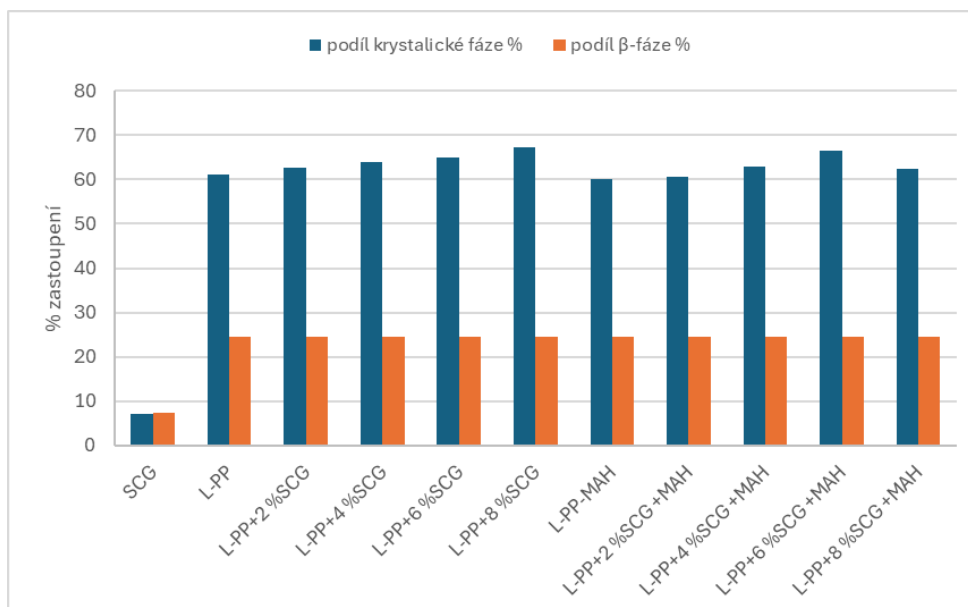


Obrázek 24. Difraktogram L-PP + 2 hm.% MAH + 6 hm.% SCG



Obrázek 25. Difraktogram L-PP + 2 hm.% MAH + 8 hm.% SCG

Procentuální zastoupení podílu krystalinity je zaznamenáno na obrázku 24, který jasně ukazuje že podíl krystalické fáze s rostoucím obsahem SCG u L-PP i L-PP + MAH roste. Tento jev je popsán i v Tabulce 8, která nese konkrétní procenta zastoupení krystalické fáze v jednotlivých směsích. Rentgenové difrakci byla podrobena i samotná kávová sedlina, která vykazuje amorfní charakter, avšak i malé procento krystalinity. Na obrázku i v tabulce je také zaznamenán podíl β -fáze. Její procentuální zastoupení se s vyšším obsahem kávové sedliny snižuje, avšak pokles je zanedbatelný, jak lze vidět v Tabulce 8.

Obrázek 26. Podíl krystalinity a β -fáze v závislosti na složení směsi

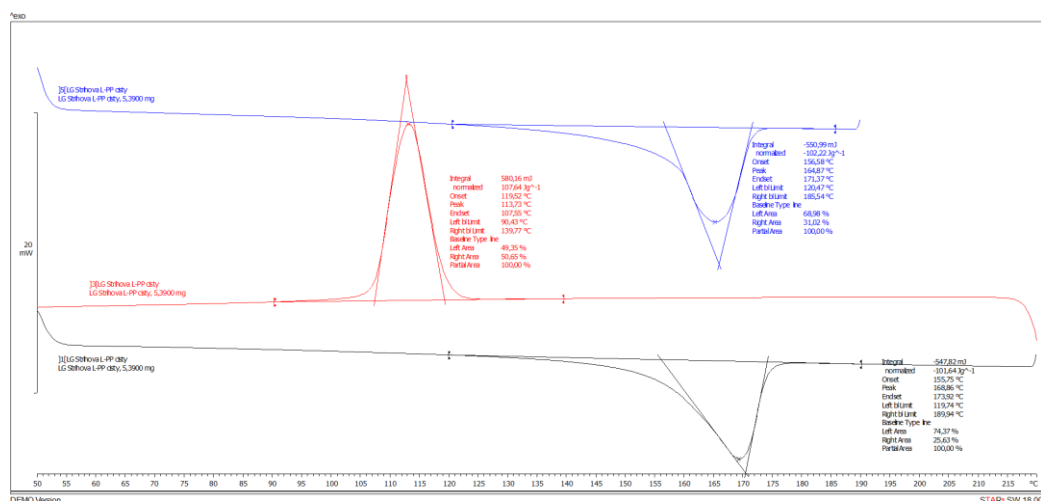
Tabulka 8. Hodnoty podílu krystalické a β -fáze

Vzorek	podíl krystalické fáze	podíl β - fáze
	%	%
SCG	7,2	7,44
L-PP	61,11	24,53
L-PP+2 %SCG	62,56	24,52
L-PP+4 %SCG	63,83	24,50
L-PP+6 %SCG	64,96	24,50
L-PP+8 %SCG	67,30	24,48
L-PP-MAH	60,20	24,55
L-PP+2 %SCG +MAH	60,60	24,54
L-PP+4 %SCG +MAH	62,96	24,53
L-PP+6 %SCG +MAH	66,55	24,51
L-PP+8 %SCG +MAH	62,46	24,52

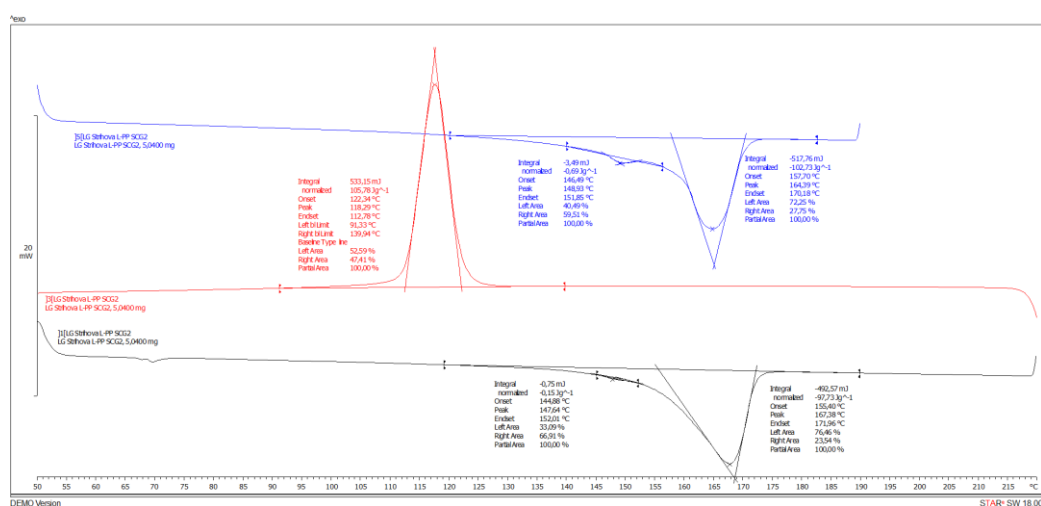
10.3 Diferenciální snímací kalorimetrie

DSC určuje teploty tání a krystalizace v závislosti na hmotnosti vzorku. Pomocí DSC jsem zjišťovala, zda má zvolené množství SCG vliv na teploty tání a krystalizace. Průběh teplot je zaznamenán termogramy, které znázorňují průběh tepelného toku směsí. Počátky píků značí počátek tavení malých krystalů, konec znázorňuje roztavení velkých krystalů. Při chlazení je to naopak, nejprve je zaznamenán počátek vzniku krystalů, ty budou s časem růst, konec značí dokončení vzniku krystalů. Teploty tání a krystalizace jsou brány jako hodnoty, kdy 50% fáze bylo zkrystalizováno nebo roztaveno.

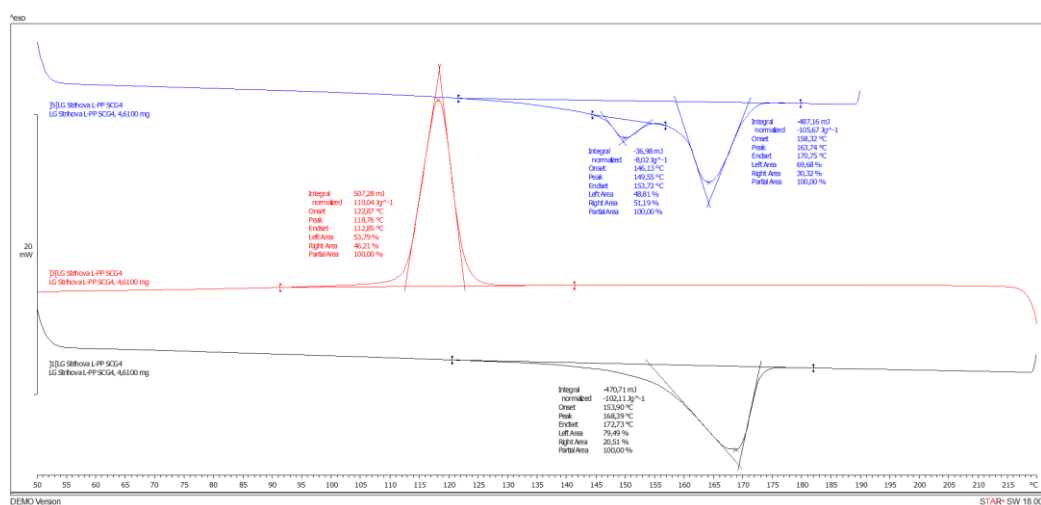
Termogramy jednotlivých směsí (Obrázky 26-35) obsahují tři křivky různých barev. Černá křivka je křivka prvního ohřevu, kdy se směs zahřívá na 220 °C, aby se odstranily vlastnosti dané typem zpracování. Modrá křivka je zaznamenána při druhém ohřevu a uvádí teplotu tání jednotlivých krystalických fází. Červená křivka popisuje první chlazení, pík nacházející se na této křivce popisuje teplotu krystalizace.



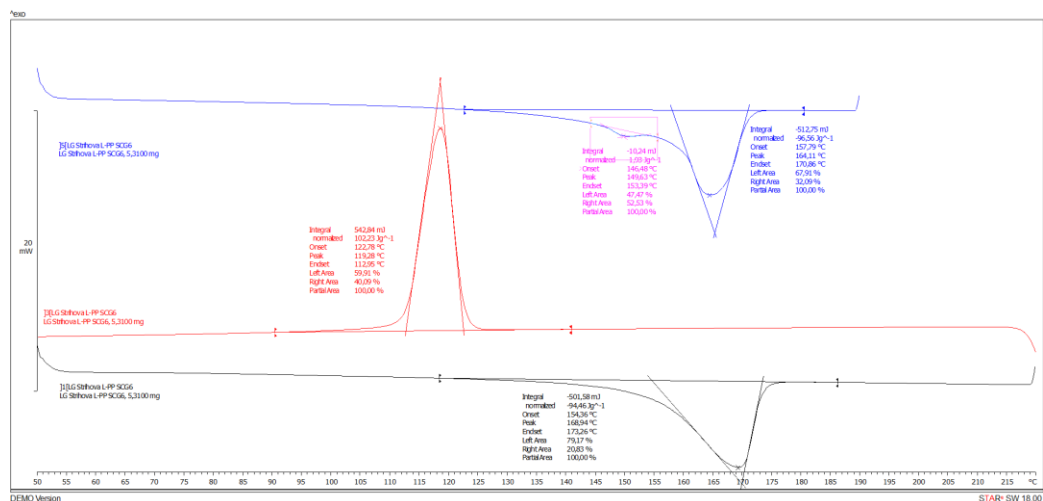
Obrázek 27. Termogram L-PP



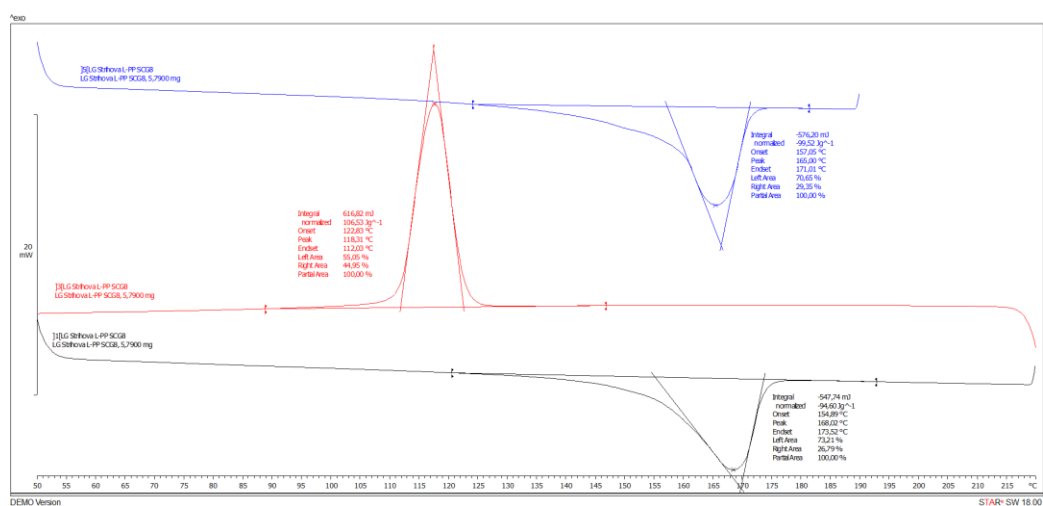
Obrázek 28. Termogram L-PP 2 hm.% SCG



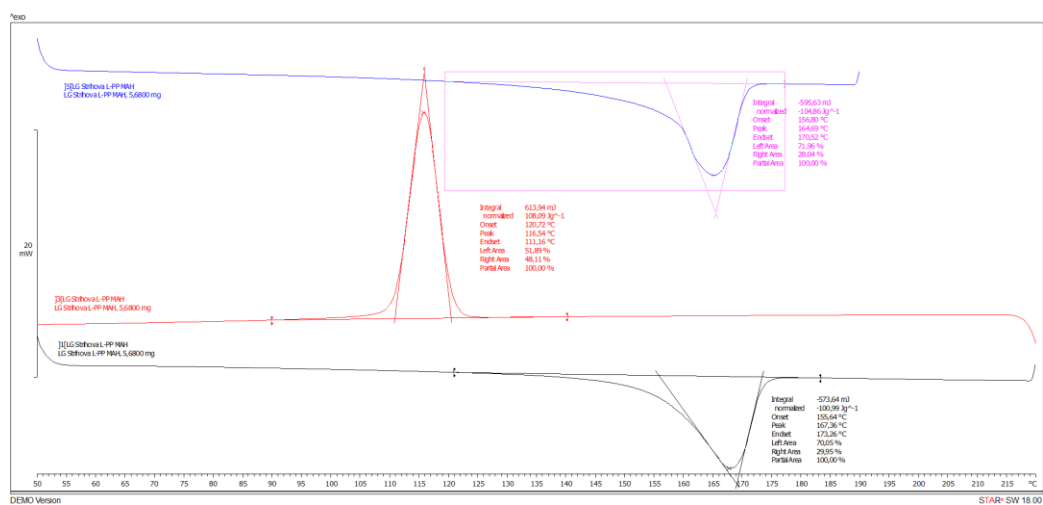
Obrázek 29. Termogram L-PP 4 hm.% SCG



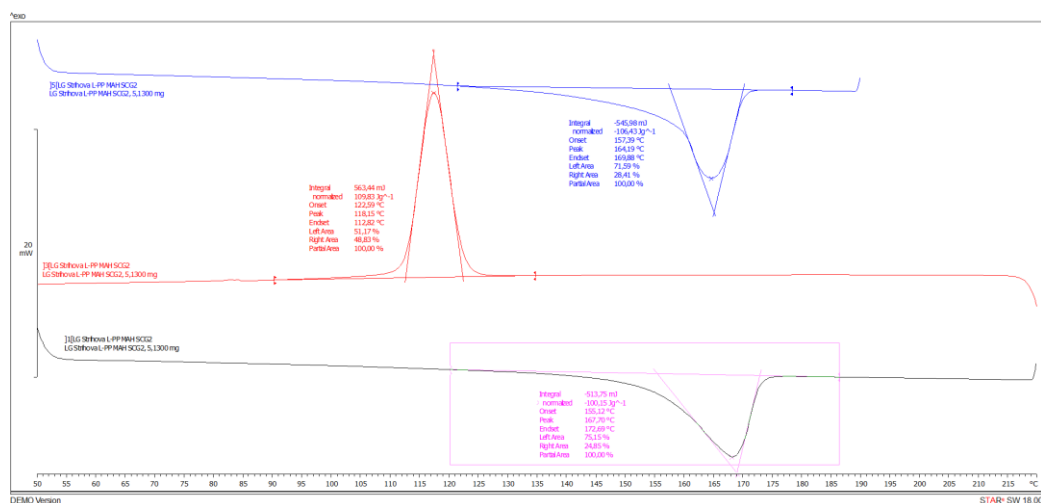
Obrázek 30. Termogram L-PP 6 hm.% SCG



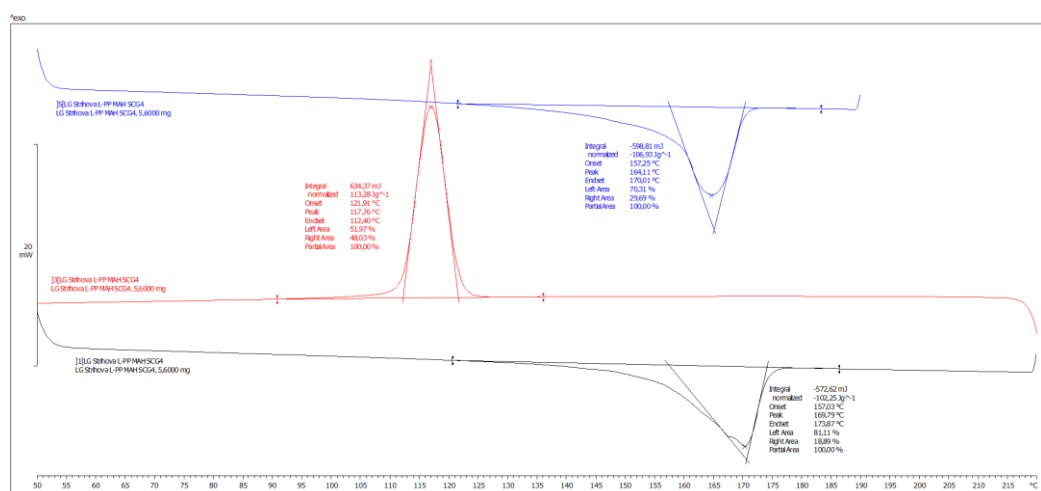
Obrázek 31. Termogram L-PP 8 hm.% SCG



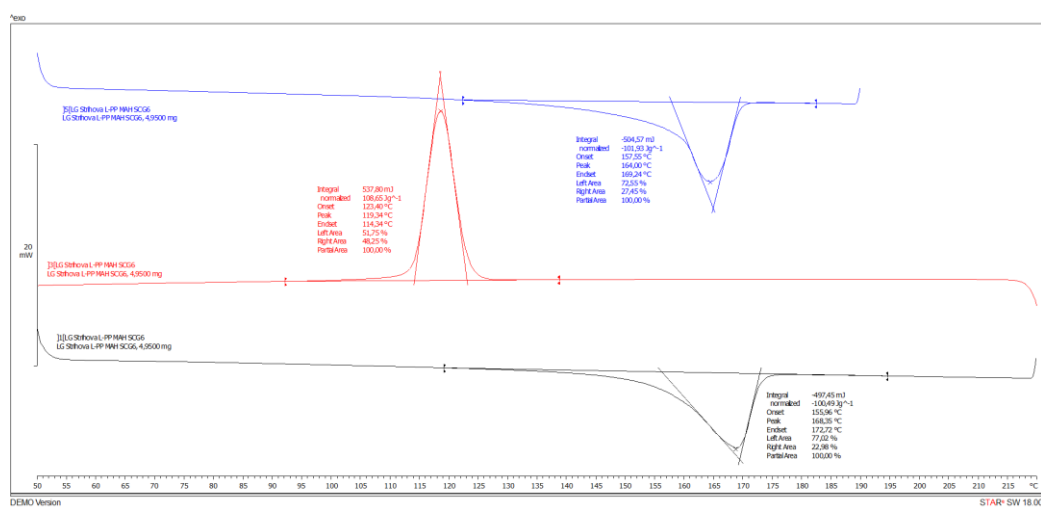
Obrázek 32. Termograf L-PP + 2 hm.% MAH



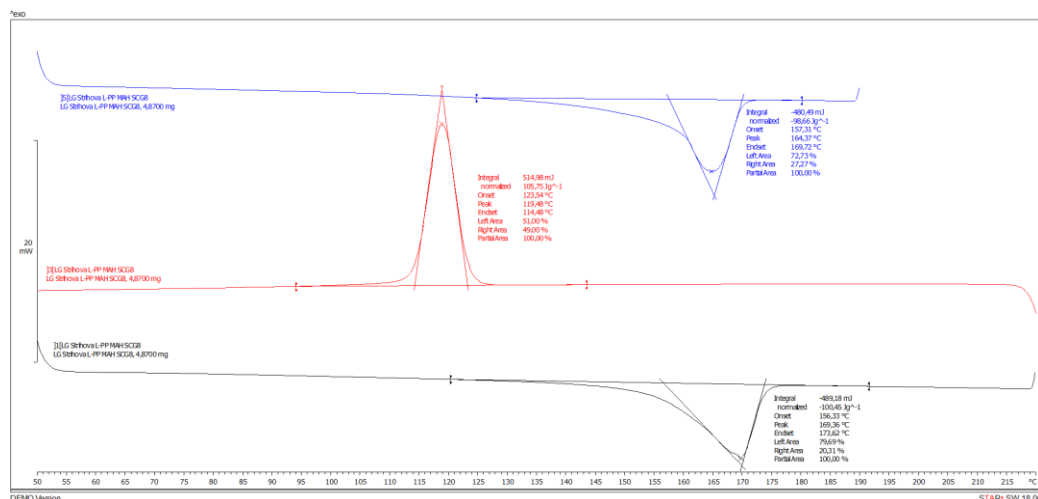
Obrázek 33. Termograf L-PP + 2 hm.% MAH + 2 hm.% SCG



Obrázek 34. Termograf L-PP + 2 hm.% MAH + 4 hm.% SCG

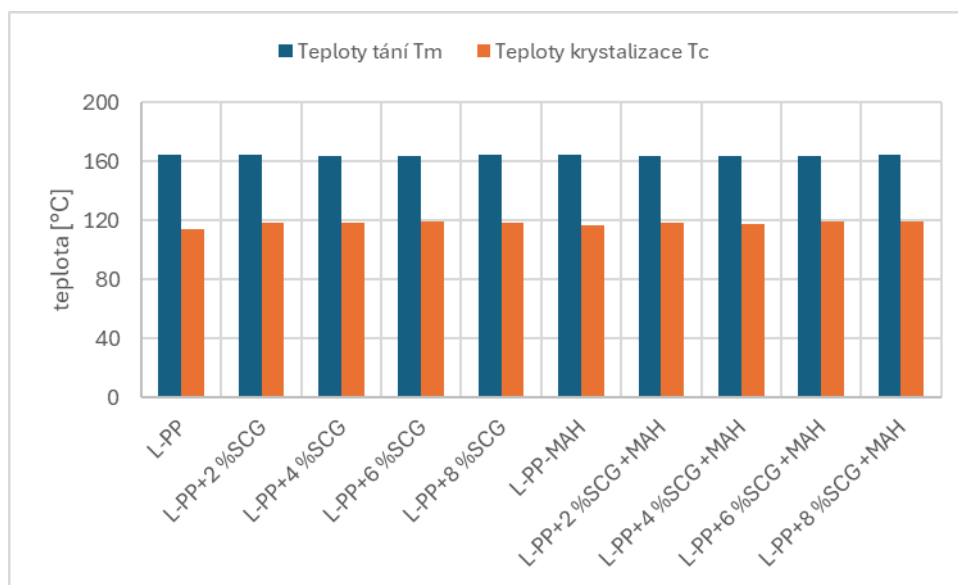


Obrázek 35. Termograf L-PP + 2 hm.% MAH + 6 hm.% SCG



Obrázek 36. Termograf L-PP + 2 hm.% MAH + 8 hm.% SCG

Vyhodnocení vlivu obsahu kávové sedliny na teplotu tání a krystalizace L-PP a L-PP + MAH jsou zaznamenána na Obrázku 36. Z obrázku vyplývá, že teplota tání T_m se s obsahem kávové sedliny značně nemění, spíše zůstává konstantní. Obsah SCG ovlivňuje ale teplotu krystalizace T_c . Teploty krystalizace s obsahem kávové sedliny roste. Z toho plyne, že se polovina taveniny přemění na tuhou látku dříve. Zrna kávové sedliny tvoří zárodky krystalů, které tak snáze vznikají. Čím více je zrn ve směsi, tím více je zárodků pro krystaly.

Obrázek 37. Závislosti teplot T_m a T_c na složení směsi

Tabulka 9 obsahuje konkrétní naměřené teploty tání a krystalizace metodou DSC. Jak už bylo zmíněno, teploty tání se s přidáním množstvím SCG značně nemění. Pohybují se kolem $164 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$. Avšak u vzorků L-PP s obsahem 2, 4 a 6 hm.% se vyskytuje ještě jedna teplota tání pohybující se kolem 146-149 °C. tyto teploty by mohly naznačovat rozdílnost

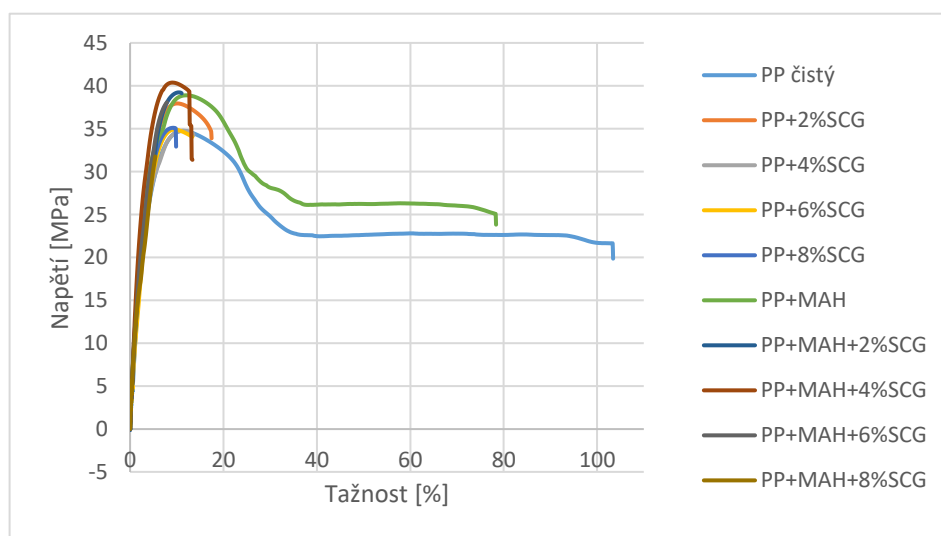
teplot tání u různých krystalizačních fází. Ve většině případech je teplota tání určena pouze teplotou tání α -fáze. V těchto zmiňovaných směsích se ale objevuje teplota ještě nižší, která by mohla poukazovat na obsah β -fáze, který ovlivňuje teplotu tání.

Tabulka 9. Získané teploty T_m a T_c pomocí metody DSC

vzorek	Tm		Tc
	[°C]		
	peak 1	peak 2	[°C]
L-PP	-	164,87	113,73
L-PP+2 %SCG	148,93	164,39	118,29
L-PP+4 %SCG	146,13	163,74	118,76
L-PP+6 %SCG	146,48	164,11	119,28
L-PP+8 %SCG	-	165,00	118,31
L-PP-MAH	-	164,69	116,54
L-PP+2 %SCG +MAH	-	164,19	118,15
L-PP+4 %SCG +MAH	-	164,11	117,76
L-PP+6 %SCG +MAH	-	164,00	119,34
L-PP+8 %SCG +MAH	-	164,37	119,48

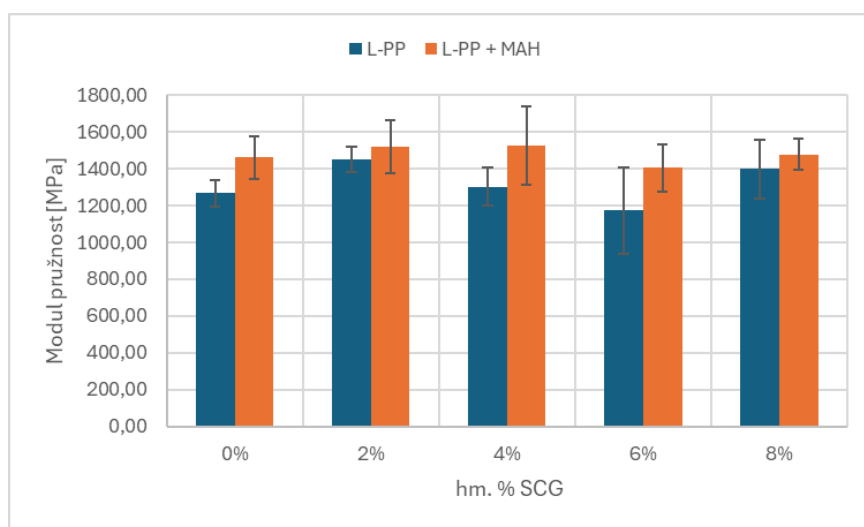
10.4 Tahová zkouška

Tahová zkouška pojednává o zatížení materiálu v tahu. Pro každou směs bylo použito 8–10 vzorků podle průběhu zkoušek, pomocí kterých byly zjištěny mechanické vlastnosti jednotlivých směsí – modul pružnosti (E), mez pevnosti (R_m) a tažnost (ϵ). [28, 29]



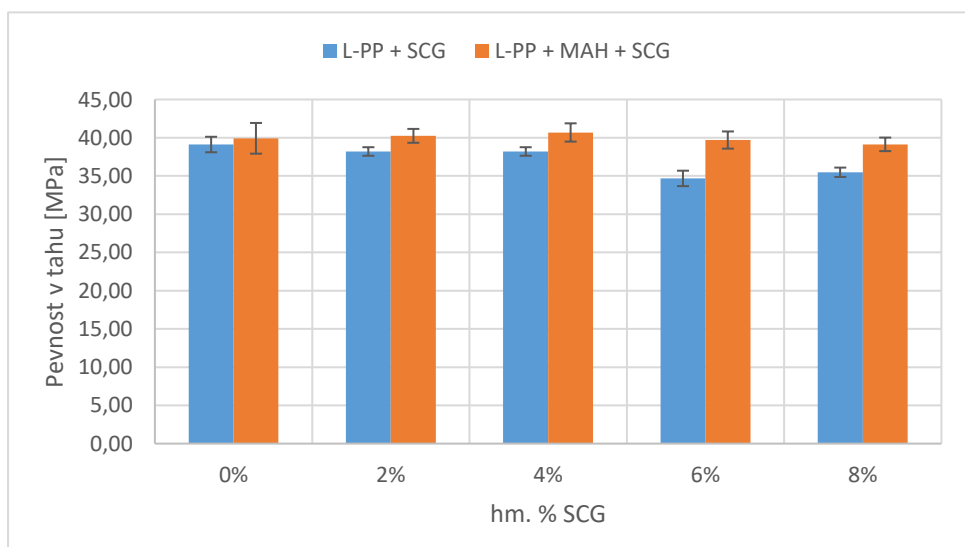
Obrázek 38. Průběhy jednotlivých tahových zkoušek vzorků

Obrázek 39 ukazuje srovnání modulu pružnosti L-PP a L-PP + MAH v závislosti na hm.% obsahu kávové sedliny SCG. Výsledky ukazují, že u obou druhů směsí s malým obsahem SCG – 2 hm.% a 4 hm.%, modul pružnosti roste, naopak s vyšším obsahem SCG – 6 hm.% a 8 hm. %, modul pružnosti mírně klesá. Ve srovnání vzorků s obsahem 2 hm.% MAH a bez něj, mají lepší tahové vlastnosti vzorky s MAH. To je způsobeno tím, že MAH zlepšuje adhezní účinky mezi polypropylenem a kávovou sedlinou. Modul pružnosti je dán poměrem napětí a tažnosti. Jeho výpočet je popsán v rovnici (3).



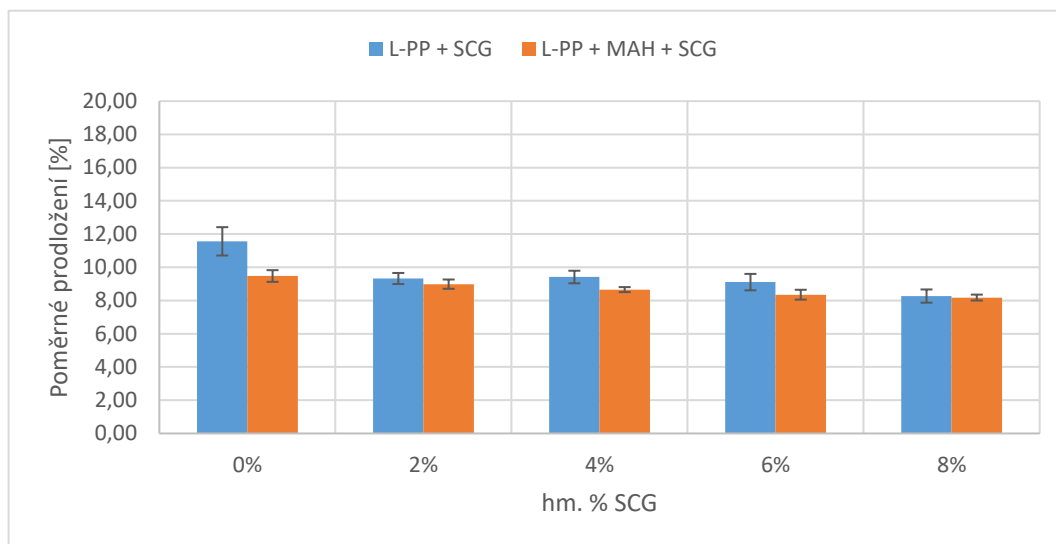
Obrázek 39. Závislost modulu pružnosti v tahu na složení směsi

Závislost pevnosti v tahu na složení směsí je zobrazena na Obrázku 40. Opět můžeme usoudit, že mají lepší pevnost v tahu směsi obsahující 2 hm.% MAH. Nejvyšší pevnost v tahu mají vzorky obsahující 2 a 4 hm.% SCG.



Obrázek 40. Závislost pevnosti v tahu na složení

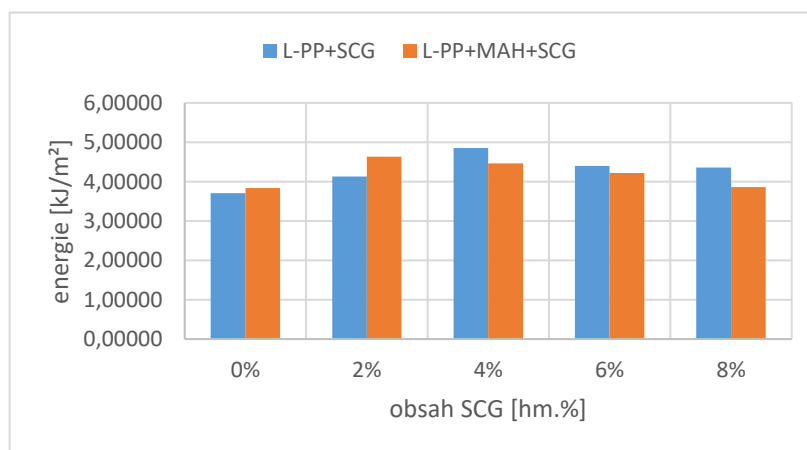
Poslední zkoumanou vlastností tahové zkoušky je tažnost neboli poměrné prodloužení během zkoušky. To je popsáno na obrázku 41, nejvyšší prodloužení vykazují směsi bez přidané kávové sedliny čili lineární polypropylen a lineární polypropylen s MAH. Tažnost vzorků klesá s přidaným množstvím kávové sedliny.



Obrázek 41. Závislost poměrného protažení na složení směsi

10.5 Vrubová rázová houževnatost

Vrubová rázová houževnatost spočívá v nárazu kladiva na vzorky opatřené vrubem o velikosti 2 mm. Pomocí této metody byl zjištěn vliv obsahu SCG na L-PP a L-PP + MAH. Na obrázku 42 lze pozorovat podobný fenomén jako u tahové zkoušky modulu pružnosti. Vzorky s adhezivním činidlem MAH mají opět lepší rázovou houževnatost než vzorky bez něj. Co se týče obsahu kávové sedliny, tak opět s malým množstvím 2–4 hm.% rázová houževnatost vzorků roste. A s vyšším obsahem SCG 6–8 hm.% mírně klesá.



Obrázek 42. Závislost rázové houževnatosti na složení vzorků

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala vlivem přídatku kávové sedliny do L-PP a L-PP + MAH na mechanické vlastnosti lineárního polypropylenu. Kávová sedlina se přidávala v 2, 4, 6 a 8 hm. %.

V praktické části se pomocí metody vstřikování připravily dva druhy tělísek, prvním typem byly lopatky a druhým typem trámečky. Z lopatek byly připraveny vzorky pro tahovou zkoušku, trámečky byly následně využity pro rázovou houževnatost, DSC a WAXD.

Krystalinita vzorků s nárůstem obsahu kávové sedliny roste jak pro vzorky obsahující jen L-PP a SCG, tak pro vzorky obsahující L-PP + MAH a kávovou sedlinu. Podíl β -fáze se téměř nemění, spíše s přidavkem SCG zanedbatelně klesá.

Studium tepelného chování pomocí metody DSC se ukázalo, že obsah kávové sedliny v kompozitech nemá skoro žádný vliv na teploty tání a krystalizace. S přidavkem SCG teploty tání i krystalizace mírně rostou nebo klesají v malém rozmezí °C. U vzorků na bázi L-PP a SCG se projevíly různosti mezi α a β fázemi, kdy byly vyhodnoceny i teploty tání pro β -fáze.

Modul pružnosti a pevnost v tahu s nižším přírůstek SCG (2 a 4 hm.%) vzrůstaly pro směsi obsahující L-PP a SCG i směsi obsahující L-PP + MAH a SCG. Vyšší obsah SCG již tyto vlastnosti zhoršoval. Tažnost u obou se zvyšujícím obsahem kávové sedliny značně snižovala.

Nejvyšší vliv na rázovou houževnatost přídatku kávové sedliny byl pozorován u směsi obsahující 2 a 4 hm.% SCG. V tomto případě u L-PP bylo dosaženo nejvyšší houževnatosti přidáním 4 hm.% SCG, u kompozitů s MAH bylo dosaženo nejvyšší houževnatosti přidáním 2 hm.% SCG.

Byly charakterizovány vlastnosti kompozitů na bázi polypropylenu a kávové sedliny, kdy byly tvořeny kompozity s obsahem 2, 4, 6 a 8 hm.% SCG a kompozity se stejným množstvím SCG a přidáním MAH. Značné zlepšení vlastností čistého L-PP se dosáhly přidáním 2 a 4 hm.% kávové sedliny. Stejně tomu bylo i u kompozitů s příměsí 2 hm.% MAH. Jako nejlepší směsi pro budoucí využití se jeví L-PP + 4 hm.% SCG a v případě L-PP + MAH je nejlepší směsí L-PP + MAH + 2 hm.% SCG. Tyto dvě směsi projevily nejlepší vlastnosti v tahu a houževnatosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BAREŠ, Richard A., 1988. *KOMPOZITNÍ MATERIÁLY*. Spálená 51, 113 02 Praha 1: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 328 s.
- [2] EHRENSTEIN, Gottfried W., 2009. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [3] TREJTNAR, Josef, 2018. Kompozitní materiály. Online. In: *TECHPORTÁL.CZ*. Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/kompozitni-materialy-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Env0lKMNaIwWuBSmJfT8Ta8/>. [cit. 2025-04-29].
- [4] SOUSEDÍK, Jan, 2021. *LEHČENÉ KOMPOZITNÍ MATERIÁLY PRO APLIKACE V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU*. Online, Bakalářská práce. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Dostupné z: <https://dspace.vut.cz/server/api/core/bitstreams/79622a63-c100-448c-96a3-72e16e791f59/content>. [cit. 2025-05-02].
- [5] TENCOM LIMITED. *Pochopení polymerní matrice: Komplexní průvodce*. Online. Dostupné z: https://www.tencom.com/blog/understanding-the-polymer-matrix-a-comprehensive-guide?srsltid=AfmBOoqrJWKDPCqEfVAqVJsm_b4F4X7VEQlJywY3aqCYhfTtFIj50QE_W. [cit. 2025-04-29].
- [6] SOLAŘÍK, Tomáš. Možnosti využití PUR odpadu jako plniva v polymerní matrici. Vedoucí Měřinská, Dagmar. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství, 2022. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/51030>
- [7] KOLEKTIV AUTORŮ, 1965. *Plypropylén*. Hurbanovo nám. 6, Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 364 s.
- [8] MLEZIVA, Josef, 1993. *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Praha: Sobotáles. ISBN 80-901-5704-1.
- [9] VESELÝ, Karel, 1993. *Polymery*. Brno: ČSPCH – pobočka Uniplast Brno, 178 s. ISBN 80-02-00951-7.
- [10] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Polypropylen, 2024. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2025-03-20]. Dostupné z: https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Polypropylen?utm_source=chatgpt.com

- [11] Redaktoři blogu PCC Group Product Portal. PCC GROUP PRODUCT. *Polypropylen – vlastnosti, použití a vše, co o něm potřebujete vědět* [online]. 2021, 30.10.2021 [cit. 2025-03-20]. Dostupné z: <https://www.products.pcc.eu/cs/blog/polypropylen-vlastnosti-pouziti-a-vse-co-o-nem-potrebuje-vedet/>
- [12] ZENZINGEROVÁ, Soňa. *Polymeric blends based on linear and branched polypropylene: crystallization, polymorphism and properties* [online]. Zlín, 2025 [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/56827/zenzingerova_2025_teze.pdf?sequence=6&isAllowed=y. Doctoral Thesis Summary. Tomas Bata University in Zlín. Vedoucí práce Roman Čermák.
- [13] MÁŠEK, Karel a Karel MAZUREK, 2014. Struktura polymerů a její vliv na vlastnosti. In: *Plasty - vlastnosti, technologie, použití* [online]. Praha SPŠŠ [cit. 2025-04-16]. ISBN 978-80-87804-00-3. Dostupné z: https://publi.cz/books/180/03.html?utm_source=chatgpt.com
- [14] Polypropylene. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>
- [15] *Termoplast*, 2001-. Online. In: *Wikipedia: the free encyclopedia*. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2025-01-10. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Termoplast>. [cit. 2025-04-16].
- [16] SAMOSEBOU.CZ. *Encyklopedie plastů: polypropylen (PP)* [online]. 2019 [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2019/10/25/encyklopedie-plastu-polypropylen-pp/>
- [17] KVAPIL, Jakub. LCB-PP jako nukleační činidlo pro L-PP. Vedoucí Gajzlerová, Lenka. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav inženýrství polymerů, 2024. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/56463>.
- [18] SLABĚŇÁKOVÁ, Tereza. Vliv větvení a specifické nukleace na morfologii, mechanické a tepelné vlastnosti vstřikovaných produktů ze směsí polypropylenu. Vedoucí Gajzlerová, Lenka. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství, 2022. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/51963>.

- [19] SLABĚŇÁKOVÁ, Tereza. *Směsi lineárního a rozvětveného polypropylenu*. Vedoucí Gajzlerová, Lenka. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav fyziky a mater. inženýrství, 2020. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/49072>.
- [20] HEJNA, Alexander, 2021. Potential applications of by-products from the coffee industry in polymer technology – Current state and perspectives. *Elsevier* [online]. [cit. 2025-03-13]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20307078>
- [21] Kávové zrno. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: https://cs.m.wikipedia.org/wiki/K%C3%A1vov%C3%A9_zrno#Reference
- [22] GIL-GÓMEZ, Julie Andrea; FLOREZ-PARDO, Luz Marina a LEGUIZAMÓN-VARGAS, Yuly Camila, 2024. Zhodnocení vedlejších produktů z kávy v průmyslu, víze směrem k oběhovému hospodářství. Online. *Springer Nature Link*. Článek 480. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42452-024-06085-9>. [cit. 2025-03-28].
- [23] LÁZEŇSKÁ KÁVA. *O PĚSTOVÁNÍ KÁVY VE SVĚTĚ* [online]. 2021 [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://www.lazenskakava.cz/kde-se-pestuje-kava/>
- [24] DALIA. *Metody zpracování kávy a co od nich čekat* [online]. [cit. 2025-03-28]. Dostupné z: <https://www.daliacoffee.cz/rubriky/clanky-zelena-kava/metody-zpracovani-kavy-a-co-od-nich-cekat/>
- [25] P-LAB. *Využití vedlejších produktů zpracování kávy* [online]. 2022 [cit. 2025-04-11]. Dostupné z: <https://nas.p-lab.cz/news/vyuziti-vedlejsich-produktu-zpracovani-kavy>
- [26] METTLER TOLEDO. Sieve analysis – reliable analysis of grain size distributions. *Mettler Toledo* [online]. [cit. 2025-04-15]. Dostupné z: https://www.mt.com/cz/cs/home/applications/Laboratory_weighing/sieve-analysis.html
- [27] WIKISKRIPTA. *Rentgenová difrakční analýza*. Online. Wikiskripta. 2018-06-29. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Rentgenov%C3%A1_difrak%C4%8Dn%C3%AD_anal%C3%BDza. [cit. 2025-04-29].

[28] *Modul pružnosti v tahu*, 2001-. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023-02-07. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Modul_pru%C5%BEnosti_v_tahu. [cit. 2025-04-29].

[29] *Zkouška tahem*, 2001-. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023-09-20. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Zkou%C5%A1ka_tahem. [cit. 2025-04-29].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Stereoizomerie PP - izotaktický PP (a), syndiotaktický PP (b), ataktický PP (c)	17
Obrázek 2. Nadmolekulární struktury polypropylenu	18
Obrázek 3. Kávová třešeň	21
Obrázek 4. Celková produkce a export zelených kávových zrn	23
Obrázek 5. Dovoz zelené kávy do jednotlivých zemí	23
Obrázek 6. Standartní obrazec iPP	35
Obrázek 7. Vytlačovací stroj	42
Obrázek 8. Teplotní zóny na dvoušnekovém vstřikovacím stroji	42
Obrázek 9. Vstřikovací stroj DEMAG	43
Obrázek 10. Vstřikované tělíska	44
Obrázek 11. Průběh síťové analýzy	45
Obrázek 12. rentgenový difrakcimetr XRDynamic 500	46
Obrázek 13. Přístroj pro měření tahové zkoušky	47
Obrázek 14. Distribuce velikosti částic kávové sedliny	48
Obrázek 15. Difraktogram SCG	49
Obrázek 16. Difraktogram L-PP	50
Obrázek 17. Difraktogram L-PP + 2 hm.% SCG	50
Obrázek 18. Difraktogram L-PP + 4 hm.% SCG	50
Obrázek 19. Difraktogram L-PP + 6 hm.% SCG	51
Obrázek 20. Difraktogram L-PP + 8 hm.% SCG	51
Obrázek 21. Difraktogram L-PP + 2 hm.% MAH	51
Obrázek 22. Difraktogram L-PP + 2 hm.% MAH + 2 hm.% SCG	52
Obrázek 23. Difraktogram L-PP + 2 hm.% MAH + 4 hm.% SCG	52
Obrázek 24. Difraktogram L-PP + 2 hm.% MAH + 6 hm.% SCG	52
Obrázek 25. Difraktogram L-PP + 2 hm.% MAH + 8 hm.% SCG	53
Obrázek 26. Podíl krystalinity a β -fáze v závislosti na složení směsi	53
Obrázek 27. Termogram L-PP	55
Obrázek 28. Termogram L-PP 2 hm.% SCG	55
Obrázek 29. Termogram L-PP 4 hm.% SCG	55
Obrázek 30. Termogram L-PP 6 hm.% SCG	56
Obrázek 31. Termogram L-PP 8 hm.% SCG	56
Obrázek 32. Termograf L-PP + 2 hm.% MAH	56
Obrázek 33. Termograf L-PP + 2 hm.% MAH + 2 hm.% SCG	57

Obrázek 34. Termograf L-PP + 2 hm.% MAH + 4 hm.% SCG	57
Obrázek 35. Termograf L-PP + 2 hm.% MAH + 6 hm.% SCG	57
Obrázek 36. Termograf L-PP + 2 hm.% MAH + 8 hm.% SCG	58
Obrázek 37. Závislosti teplot T_m a T_c na složení směsi	58
Obrázek 38. Průběhy jednotlivých tahových zkoušek vzorků	59
Obrázek 39. Závislost modulu pružnosti v tahu na složení směsi	60
Obrázek 40. Závislost pevnosti v tahu na složení	60
Obrázek 41. Závislost poměrného protažení na složení směsi	61
Obrázek 42. Závislost rázové houževnatosti na složení vzorků	61

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Chemické složení kávových zrn [20]	22
Tabulka 2. Množství vedlejších produktů při zpracování kávy [20]	25
Tabulka 3. Chemické složení kávové sedliny	28
Tabulka 4. Složení směsí	41
Tabulka 5. Parametry vstřikování	43
Tabulka 6. Teploty jednotlivých zón vstřikovacího stroje	43
Tabulka 7. Hodnoty distribuce velikosti částic	48
Tabulka 8. Hodnoty podílu krystalické a β -fáze	54
Tabulka 9. Získané teploty T_m a T_c pomocí metody DSC	59

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

L-PP	lineární polypropylen
PP	polypropylen
MAH	čínidlo SCONA TPPP 8112
SCG	kávová sedlina
hm. %	hmotnostní procento
M _w	střední molární hmotnost
DSC	diferenciální skenovací kalorimetrie
WAXD	širokoúhlá rentgenová difrakce
X	Obsah krystalické fáze [%]
B	Obsah beta krystalické fáze [%]
G	Obsah gama krystalické fáze [%]
H _{α1}	Intenzita píků první alfa fáze
H _{α2}	Intenzita píků druhé alfa fáze
H _{α1}	Intenzita píků třetí alfa fáze
H _β	Intenzita píků beta fáze
H _γ	Intenzita píků gama fáze
α	Alfa fáze
β	Beta fáze
γ	Gama fáze
iPP	Izotaktický polypropylen
I _c	Plocha pod píky krystalické fáze
I _A	Plocha pod píky amorfní fáze

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list Borclean HC300BF (L-PP)

Příloha P II: Materiálový list SCONA TPPP 8112 GA (MAH)

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST BORCLEAN HC300BF (L-PP)

PRODUCT DATA SHEET

28.02.2023 Ed.4

Polypropylene
Borclean™ HC300BF
Polypropylene Homopolymer

Description

Borclean™ HC300BF is a high crystalline propylene homopolymer designed for usage as BOPP dielectric film in capacitor application.
Borclean™ HC300BF does not contain slip, antiblock or antistatic additives.

Cas No. 9003-07-0
Borclean™ HC300BF contains:

Typical characteristics

Borclean™ HC300BF can be described with following typical characteristics:

Super high purity	High field strength (BDV) at high temperatures
Low dissipation factor	Low shrinkage film
Very low ash content	High film stiffness
Metallisable	

Applications

Borclean™ HC300BF is intended for following applications:
BOPP dielectrical film for capacitors Metallisable films

Physical properties

Property	Typical value *	Unit	Test method
Melt flow rate (230 °C/2.16 kg)	3.3	g/10min	ISO 1133-1
Ash content	< 20	ppm	ISO 3451-1
Aluminium content	< 3	ppm	Borealis test method
Titanium content	< 3	ppm	Borealis test method
Chloride content	< 3	ppm	Borealis test method
Molecular weight distribution	Broad	-	Borealis test method

* Data should not be used for specification work

Electrical properties

Property	Typical value *	Unit	Test method
Relative permittivity (1MHz)	2.25		IEC 62631-2-1

* Data should not be used for specification work

Processing techniques

The product is suitable for recycling using modern methods of shredding and cleaning. In-house production waste should be kept clean to facilitate subsequent recycling. Reprocessed and recycled Borclean material cannot be used for the production of capacitor film.

Borclean™ is a trademark of the Borealis Group



PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST SCONA TPPP 8112 GA (MAH)



SCONA TPPP 8112 GA

Data Sheet
Issue 06/2013

SCONA TPPP 8112 GA

Adhesion promoter for TPE-S overmolding compounds and coupling agent for natural fiber compounds in polypropylene.

Product Data

Composition

Polypropylene highly functionalized with maleic anhydride

Typical Properties

The values indicated in this data sheet describe typical properties and do not constitute specification limits.

MFR (190 °C, 2.16 kg): > 80 g/10 min

Drying loss (3 h, 110 °C): < 0.5 %

MAH content: 1.4 %

Supplied as: Granulate

Food Contact Legal Status

For the current food contact legal status, please contact our product safety department or visit www.byk.com for further information.

Storage and Transportation

Storage temperature max. 35 °C, relative humidity < 80 %. Avoid direct sunlight and contact with water.

Special Note

The modifier is also available as a powder under the name SCONA TPPP 8112 FA.

Applications

Thermoplastics

Special Features and Benefits

In TPE-S overmolding compounds, the modifier improves adhesion on hard substrates (such as PC, PA, ABS).

Due to the high grafting level, only part of the PP in the TPE compound must be replaced with the modifier.

In PP natural fiber compounds, the product significantly improves the mechanical properties and reduces water absorption.