


Směsi lineárního a rozvětveného polypropylenu

Tereza Slaběňáková

Bakalářská práce
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav fyziky a mater. inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tereza Slaběňáková**
Osobní číslo: **T17047**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Materiálové inženýrství**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Směsi lineárního a rozvětveného polypropylenu**

Zásady pro vypracování

Lineární polypropylen (L-PP) je jedním z nejpoužívanějších polymerů a to díky jeho výborným vlastnostem, např. vysoká teplota tání, vysoká pevnost a nízká hustota. Na druhou stranu se vyznačuje nízkou pevností taveniny, což je dáno jeho vysoce lineárním řetězcem a relativně úzkou distribucí molekulové hmotnosti. To přináší jistá omezení v aplikacích, kde při procesu zpracování jsou elongační vlastnosti dominantní, např. vyfukování, tvarování. Přítomnost větvení zlepšuje fyzikální vlastnosti těchto polyolefinů. Proto je vhodné přidávat do L-PP rozvětvený polypropylen (LCB-PP). Vypracujte literární rešerši na dané téma. V experimentální části připravte směsi těchto materiálů o různých koncentracích, zhotovte zkušební tělesa a charakterizujte jejich vlastnosti.

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

Seznam doporučené literatury:

1. Nam, G. J., Yoo, J. H., Lee, J. W. Effect of long-chain branches of polypropylene on rheological properties and foam-extrusion performances. *J Appl Polym Sci*, (2005) 96:1793-1800.
2. Stange, J., Uhl, C., Münstedt, H. Rheological behavior of blends from a linear and a long-chain branched polypropylene. *J Rheol*, (2005) 49:1059-1079.
3. Nwabunma, D., Kyu, T., *Polyolefin Blends* Wiley: New Jersey, 2008, ISBN 978-0-471-79058-7.

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

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

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 17. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem větvení polypropylenu a specifické nukleace na polymorfismus a schopnost krystalizace směsí polypropylenu. Pro přípravu směsí byly použity lineární polypropylen (L-PP) a polypropylen s dlouhými větvemi (LCB-PP) v různých poměrech. Do připravených směsí byl zaveden N, N'-dicyklohexylnaftalen-2,6-dikarboxamid (0 nebo 0,03 hmot. %), jako β -nukleační činidlo. Struktura směsí byla zkoumaná pomocí širokoúhlé rentgenové difrakce, diferenciální snímací kalorimetrie a polarizační mikroskopie.

Bylo zjištěno, že LCB-PP zvyšuje celkovou rychlost krystalizace, značně podporuje formaci γ -fáze, a naopak potlačuje nukleační aktivitu β -nukleačního činidla ve směsi. Směsi obsahující převážně α - a γ - fázi vykazují ve srovnání se vzorky bohatými na β -fázi vyšší termodynamickou stabilitu během tání.

Klíčová slova: polypropylen, nukleační činidlo, polymorfismus, větvení, specifická nukleace

ABSTRACT

This Bachelor thesis deals with the influence of branching and specific β -nucleation on polymorphism and ability of polypropylene blends to crystallize. Linear polypropylene (L-PP) and long-chain branched (LCB-PP) polypropylene were used for the preparation of blends in various proportions. N, N'-dicyclohexyl-naphthalen-2,6-dicarboxamide (0 or 0.03 wt%) was introduced as a β -specific nucleating agent into prepared blends. Morphology of polypropylene blends was investigated by wide-angle X-ray diffraction, differential scanning calorimetry and polarized light microscopy.

It has been found that LCB-PP increases the overall crystallization rate, greatly promotes the formation of γ -phase and suppresses the nucleation activity of the β -nucleating agent in the blend. The blends containing mainly α - a γ -phases show higher thermodynamic stability during melting compared with samples rich in β -phase.

Keywords: polypropylene, nucleating agent, polymorphism, branching, specific nucleation

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Lence Gajzlerové, Ph.D. za cenné rady a čas, který mi věnovala.

Mé poděkování také patří mé rodině za trpělivost a podporu během mého studia.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně

.....

Tereza Slaběňáková

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYPROPYLEN	12
1.1 VÝROBA.....	12
1.1.1 Výroba lineárního polypropyleny	12
1.1.2 Výroba polypropyleny s dlouhými větvemi.....	13
1.2 STEREOIZOMERIE	13
1.2.1 Izotaktický polypropylen	14
1.2.2 Syndiotaktický polypropylen	14
1.2.3 Ataktický polypropylen.....	14
1.3 NADMOLEKULÁRNÍ STRUKTURA IZOTAKTICKÉHO POLYPROPYLENU	14
1.3.1 α -modifikace	15
1.3.2 β -modifikace	15
1.3.3 γ -modifikace.....	15
1.3.4 Smektická fáze	15
1.4 VLASTNOSTI POLYPROPYLENU	15
1.5 ZPRACOVÁNÍ.....	16
2 NUKLEAČNÍ ČINIDLA	17
2.1 A-NUKLEAČNÍ ČINIDLA	17
2.2 B-NUKLEAČNÍ ČINIDLA	17
3 METODY ANALÝZY	19
3.1 DIFERENCIÁLNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE – DSC	19
3.2 ŠIROKOUHLÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE – WAXD.....	19
3.3 POLARIZAČNÍ MIKROSKOP	20
II PRAKTICKÁ ČÁST	21
4 MATERIÁLY	22
5 PŘÍPRAVA SMĚSÍ	23
6 PŘÍPRAVA VZORKŮ	25
6.1 ŠIROKOUHLÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE	25
6.2 DIFERENCIÁLNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE	25
6.3 POLARIZAČNÍ MIKROSKOP	25
7 ANALYTICKÉ METODY	26
7.1 ŠIROKOUHLÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE	26
7.2 DIFERENCIÁLNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE	27
7.3 POLARIZAČNÍ MIKROSKOP	27

III VÝSLEDKY A DISKUSE	28
8 ŠIROKOUHLÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE	29
9 DIFERENCIÁLNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE	36
9.1 TEPLOTA TÁNÍ.....	36
9.2 TEPLOTA KRYSTALIZACE.....	40
10 POLARIZAČNÍ MIKROSKOP	45
ZÁVĚR	48
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	49
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	53
SEZNAM OBRÁZKŮ	54
SEZNAM TABULEK.....	56
SEZNAM PŘÍLOH.....	57

ÚVOD

Lineární polypropylen zaujímá přední místo mezi semi-krystalickými polymery, a to hlavně díky jeho specifickému strukturnímu chování. Komerčně se vyrábí pomocí Ziegler-Nattových katalyzátorů nebo katalyzátorů na bázi metalocenů, což vede k vysoce lineárním řetězcům s poměrně nízkou pevností taveniny a elongační viskozitou. Tyto vlastnosti představují komplikace při procesech zpracování, kde je nezbytná vysoká pevnost taveniny, jako je vyfukování, tvarování či výroba lehčených struktur [1–8]. Těmto problémům lze předcházet použitím polypropylenu s dlouhými větvemi a tím rozšířit aplikační pole.

Mezi hlavní metody zavedení dlouhých větví do lineárního polypropylenu patří přímá syntéza za použití metalocených katalyzátorů [10], použití elektronového paprsku nebo gama záření [11, 12]. Avšak vyšší cena větveného polypropylenu brání jeho širšímu využití. Proto použití směsí lineárního a větveného polypropylenu může přinést uspokojivé vlastnosti za příznivou cenu.

Izotaktický polypropylen se řadí mezi polymorfní polymery, který v důsledku různých podmínek krystalizace může krystalizovat do několika forem – alfa, beta, gama a smektická forma, která vzniká při prudkém zchlazení [15, 19–23].

Největší význam z praktického hlediska mají α - a β -fáze. Za běžných podmínek krystalizuje izotaktický polypropylen převážně do monoklinické α -fáze. Trigonální β -fáze je termodynamicky metastabilní a je těžké ji získat za běžných podmínek zpracování. Jednou z metod, jak získat β -fázi je specifická nukleace způsobená přidáním heterogenního β -nukleačního činidla. Tato krystalografická modifikace vykazuje ve srovnání s běžným polypropylenem vyšší rázovou houževnatost a tažnost, nižší citlivost k fotooxidaci, avšak nižší tuhost [6, 21–23].

Ortorombická γ -fáze vzniká při specifických krystalizačních podmínkách – vysoký tlak, či přidáním komonomeru [13]. Větvený polypropylen krystalizuje z taveniny do α - a γ -fáze [24].

Kombinace polypropylenu s dlouhými větvemi, lineárního polypropylenu a přídavku β -nukleačního činidla může přinést zajímavé výsledky – zvýšenou houževnatost a současně vyšší pevnost taveniny. [25].

Cílem této práce je prozkoumat vliv větvení a β -specifické nukleace na nadmolekulární strukturu a tepelné vlastnosti směsí polypropylenu. Pro tyto účely byly vybrány směsi

polypropylenu s různým množstvím LCB-PP a β -nukleačního činidla NJ Star NU 100. Krystalinita a obsah β - a γ -fáze byly stanoveny širokoúhlou rentgenovou difrakcí. Struktura vzorků byla zkoumána polarizační mikroskopií a jejich tepelné vlastnosti byly stanoveny pomocí diferenciatní snímací kalorimetrií.

I. TEORETICKÁ ČÁST

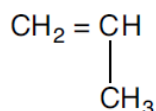
1 POLYPROPYLEN

Polypropylen (PP) se řadí mezi semi-krystalické termoplastické polymery ze skupiny polyolefinů a zaujímá přední místo mezi vyráběnými polymery, a to především díky jeho strukturnímu chování a vlastnostem [1]. Polypropylen se díky vysoce lineárním řetězcům vyznačuje nízkou pevností taveniny a elongační viskozitou [2]. Při zpracování PP může vzhledem k výše uvedeným vlastnostem docházet ke komplikacím např. při vyfukování, tvarování či výroby lehčených struktur [3, 4].

Mezi výhody PP patří dobré mechanické vlastnosti, chemická odolnost, tvarová stálost za vyšších teplot a též výborné elektroizolační vlastnosti. Mezi nevýhody PP na rozdíl od jiných polyolefinů je jeho náchylnost k vnitřnímu pnutí, citlivost vůči UV degradaci a křehkost při teplotách pod 0 °C, tudíž není vhodný pro venkovní aplikace bez použití vhodného stabilizátoru [5]. PP můžeme využít pro konstrukční plasty, trubky, fólie, domácí spotřebiče s vysokou teplotní odolností, vlákna, zdravotnické aplikace či pro kompozity plněné skleněnými vlákny [6].

1.1 Výroba

Monomerem pro výrobu polypropylenu je propylen (Obrázek 1), bezbarvý plyn bez zápachu, který se vyrábí pyrolýzou z uhlovodíků.



Obrázek 1 Chemická struktura propylenu

První komerční výroba vysokomolekulárního polypropylenu s pravidelnou strukturou začala roku 1954 po objevu Ziegler–Nattových katalyzátorů, protože dříve se získávaly jen nízkomolekulární produkty pomocí radikálové nebo kationtové polymerace [5, 7]. Řízenou polymerací za použití vhodného katalyzátoru lze připravit polypropylen s požadovanou linearitou, příp. stupněm větvení.

1.1.1 Výroba lineárního polypropylenu

Pro výrobu lineárního polypropylenu jsou používány dva různé typy polymerace, a to proces v plynné fázi a procesy v suspenzi. Při výrobě izotaktického polypropylenu (iPP) dominují

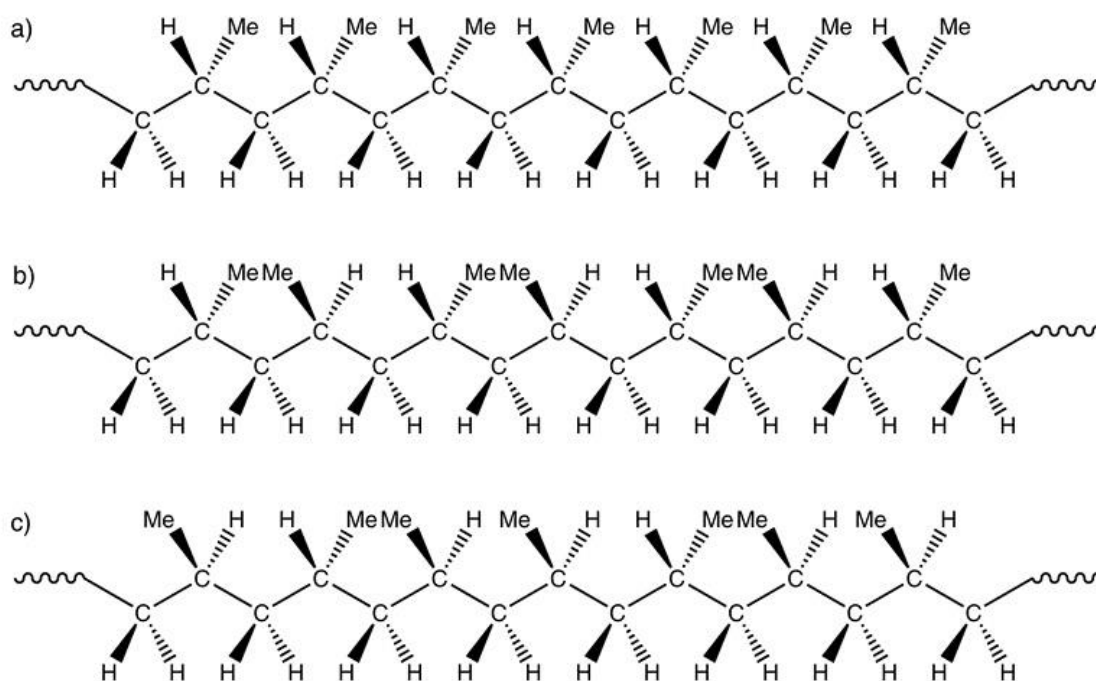
Ziegler-Nattovy katalyzátory, které jsou založené na kombinaci sloučenin přechodových kovů IV.–VIII. skupiny většinou halogenidů nebo oxyhalogenidů titanu, vanadia, chromu a organometalických sloučenin kovů I. až III. skupiny periodické tabulky prvků. K nejdůležitějším katalyzátorům patří kombinace $MgCl_2$, $TiCl_3$ a $TiCl_4$ [7–9].

1.1.2 Výroba polypropylenu s dlouhými větvemi

Jednou z metod, kterou se dá polypropylen s dlouhými větvemi vyrábět je zavádění větví s dlouhým řetězcem in situ polymerací propylenu a monomeru dienu za použití metallocenového katalyzátoru [10]. Další metodou zavedení dlouhých větví na izotaktický polypropylen je použití elektronového paprsku, gama záření nebo chemické modifikace až po polymeraci [11, 12].

1.2 Stereoizomerie

Monomer propylen obsahuje boční metylovou skupinu, která má vliv na schopnost tvorby krystalů, tvrdost, teplotu tání a též na rozpustnost, a záleží na podmínkách polymerace, jaká nastane orientace [13]. V přítomnosti Ziegler-Nattových katalyzátorů je polymerační reakce vysoce stereospecifická. Rozlišujeme tři možnosti umístění boční metylové skupiny na lineárním řetězci a to izotaktické, syndiotaktické a ataktické umístění (Obrázek 2) [14].



Obrázek 2 Tacticita polypropylenu: a) izotaktický polypropylen, b) syndiotaktický polypropylen c) ataktický polypropylen [13]

1.2.1 Izotaktický polypropylen

V izotaktickém polypropylenu (i-PP) jsou všechny metylové skupiny orientovány na stejné straně řetězce (Obrázek 2.a). Při pokojové teplotě je daný polymer tvrdý a tuhý [13]. Krystalinita se pohybuje mezi 40–70 % a teplota tání tohoto polymeru se pohybuje v rozmezí 160–180 °C a má nejvyšší hustotu v porovnání se syndioaktickým polypropylenem (s-PP) a ataktickým polypropylenem (a-PP) (Tabulka 1) [15]. Izotaktická forma je seskupena do helixové konfigurace a vyrábí se pomocí Ziegler-Nattových katalyzátorů [16]. V praxi nikdy nezískáme 100% izotaktický polypropylen v důsledku stérických defektů [13].

1.2.2 Syndiotaktický polypropylen

Metylové skupiny se pravidelně střídají po obou stranách hlavního řetězce (Obrázek 2.b). Syndiotaktický polypropylen je relativně mladá forma PP, kde komerčně dostupným se stal přibližně před 10 lety [13]. Má nižší teplotu tání než i-PP (Tabulka 1) a krystalizuje mnohem pomaleji, je měkký a pružný. Má vysokou pevnost taveniny, je houževnatý a průhledný [17]. Vyrábí se pomocí metallocených katalyzátorů.

1.2.3 Ataktický polypropylen

Čistě náhodná forma (Obrázek 2.c), která je nežádoucí, protože neumožňuje krystalizaci polymeru. To znamená, že daný produkt bude zcela amorfní, měkký s nízkou pevností a vysoce lepkavý (Tabulka 1). Ataktický polypropylen vzniká volnou radikálovou reakcí, kde metylové skupiny se náhodně orientují [15]. Aby došlo k jeho vymizení z materiálu, tak se následně musí vypírat hexanem. Ataktický polypropylen se používá do lepidel a jako plnivo do asfaltu [18].

Tabulka 1 Srovnání vlastností jednotlivých forem polypropylenu

Forma	Krystalinita [%]	Hustota ρ [g.cm ⁻³]	Teplota tání T_m [°C]	Teplota skelného přechodu T_g [°C]
i-PP	40–70	0,95	160–180	12
s-PP	20–30	0,90	138	-3
a-PP	0	0,85	–	-13

1.3 Nadmolekulární struktura izotaktického polypropylenu

Izotaktický polypropylen je polymorfní polymer, který může krystalizovat do různých forem: alfa, beta, gama a smektická forma. Každá z těchto fází se vytváří za specifických podmínek a definuje vlastnosti polypropylenu [19, 20].

1.3.1 α -modifikace

Nejběžnější a termodynamicky nejstabilnější fází, do které krystalizuje polypropylen je α -monoklinické fáze, která vzniká za běžných krystalizačních podmínek. Teplota tání u této fáze je přibližně 170 °C a její hustota 0,95 g.cm⁻³. Tato fáze vykazuje vysoký modul pružnosti a pevnosti v tahu [6, 21].

1.3.2 β -modifikace

Pro vznik trigonální termodynamicky metastabilní β -fáze jsou zapotřebí specifické krystalizační podmínky, např. přidavek β -nukleační činidla. Teplota tání β -fáze je asi 150 °C a její hustota je 0,92 g.cm⁻³ [6, 22].

Při modifikaci PP specifickým β -nukleačním činidlem, výsledný polymer vykazuje dobré prodloužení při přetržení a vysokou rázovou houževnatost, také vykazuje nižší citlivost k fotooxidaci ve srovnání s běžným PP [21, 23].

1.3.3 γ -modifikace

γ -fáze vzniká při specifických krystalizačních podmínkách – vysoký tlak, přidáním komonomeru [13]. Struktura γ -fáze je ortorombická a její teplota tání je 135 °C a hustota je stejná jako u α -fáze [6].

1.3.4 Smectická fáze

Smectická nebo mezomorfni fáze se vyskytuje v materiálech při prudkém zchlazení. Polymerní řetězce nemají potřebný čas na orientaci do velkých krystalických domén, a to znamená, že se vytvoří velmi malé krystalické útvary, které jsou obklopeny amorfními oblastmi. Chování smectické fáze spadá mezi α -krystalickou strukturu a ataktickou formu. Díky špatnému uspořádání krystalických útvarů, které velice dobře rozptylují světlo, je materiál transparentní. Smectická fáze je metastabilní – při zahřátí rekrystalizuje do α -modifikace [15].

1.4 Vlastnosti polypropylenu

Molekulární a nadmolekulární struktura je základním nositelem vlastností polymerů. Polypropylen obsahuje nepolární skupinu a má výborné elektroizolační vlastnosti. Níže jsou srovnány základní vlastnosti lineárního a rozvětveného PP.

Izotaktický polypropylen je semikrystalický polymer s teplotou tání 160–180 °C, krystalinitou 40 až 70 %. Dobře odolává vroucí vodě a sterilizaci vodní párou, ale má relativně nízkou odolnost proti povětrnosti a UV-záření [5].

V případě LCB-PP, dlouhé větve na řetězci mají vliv na změnu mechanicko-elastických vlastností, Youngův modul neboli mez pružnosti v tahu má hodnotu 2000 MPa (L-PP 1500 MPa). Dále LCB-PP vykazuje zlepšenou pevnost taveniny a vynikající houževnatost [10]. Dalším pozitivním projevem dlouhých větví na hlavním řetězci u lehčených struktur je vznik menších buněk, vyšší hustota buněk a širší zpracovatelské okno [12].

1.5 Zpracování

Samotný izotaktický polypropylen se zpracovává všemi běžnými technologiemi. Nejčastěji se zpracovává vstřikováním a vytlačováním při 205 až 280 °C. Desky a trubky můžeme lisovat při 180 až 250 °C a následně je svařovat polypropylenovým drátem při teplotě 200 až 220 °C [5].

Rozvětvený polypropylen se na rozdíl od izotaktického polypropylenu dá bez komplikací zpracovávat vyfukováním, vytlačováním (i lehčených struktur) a tvarováním [10].

2 NUKLEAČNÍ ČINIDLA

Nukleační činidla jsou chemické látky, které slouží jako heterogenní částice, kde po začlenění do polymeru umožní přednostní krystalizaci v tavenině a vznikají krystaly o stejné velikosti [26]. Nukleační činidla se používají v polymerech, které mají pomalou rychlost nukleace a krystalizace, či je žádoucí vyvolání krystalizace do konkrétních krystalických fází [27].

Nukleační činidla mají největší vliv na vlastnosti materiálů, a to především na krystalizaci, mechanické a optické vlastnosti [28].

Při přidavku daného β -nukleačního činidla do směsi dojde ke vzniku β -fáze a potlačení vzniku α -fáze a dojde k rychlejšímu tuhnutí nebo k lepší organizaci vnitřní struktury. Dále může směs vytvořit malé sférolity po přidavku α -nukleačního činidla, které při průchodu světla mezi amorfní a krystalickou částí nedochází k lomu a materiál i když je krystalický může se jevit jako transparentní [29].

2.1 α -nukleační činidla

α -fáze je termodynamicky stabilnější oproti β -fázi, která je metastabilní a může být vytvořena v přítomnosti speciálního nukleačního činidla. V přítomnosti α -nukleačních činidel dojde ke snížení zákalu, z důvodu vzniku malých krystalů, které jsou menší, než je index lomu světla [30].

Mezi nejběžnější α -nukleační činidla se řadí:

- 1,2,3,4-bis-dibenzyliden sorbitol
- 1,2,3,4-bis-(p-metoxybenzyliden) sorbitol
- 1,2,3,4-bis-(3,4-dimetylbenzyliden) sorbitol – Millad 3988 nevýhodou tohoto nukleačního činidla je jeho chemická struktura, která je na bázi cukru a podléhá termálnímu rozkladu při zpracování a může dojít k nežádoucímu zabarvení [31].

2.2 β -nukleační činidla

β -fáze je termodynamicky metastabilní a obtížně získatelná za normálních podmínek zpracování. Mezi metody k účinnému zisku β -fáze patří krystalizace v teplotním gradientu, krystalizace ve smykovém poli, prodloužení taveniny během krystalizace, nebo za použití

specifické nukleace, která je způsobená přidavkem heterogenního nukleačního činidla, tato metoda je účinným způsobem zavedení β -fáze do polypropylenu [32].

Vysoká přítomnost β -fáze ovlivňuje důležité vlastnosti materiálu. Například lepší odolnost vůči fotodegradaci [30], vyšší rázová houževnatost, nižší mez kluzu, vyšší prodloužení při přetržení.

Mezi nejběžnější β -nukleační činidla se řadí:

- Chinakridonové barvivo (červené E3B) – světle růžové zbarvení
- Hlinitá sůl kyseliny 6-chinazirin sulfonové
- Disodná sůl kyseliny o-ftalové
- NJ Star NU 100 – N,N'-dicyklohexyl-2,6-naftalen dikarboxamid: optimální koncentrace tohoto činidla byla stanovena na 0,03 hm. % [27].

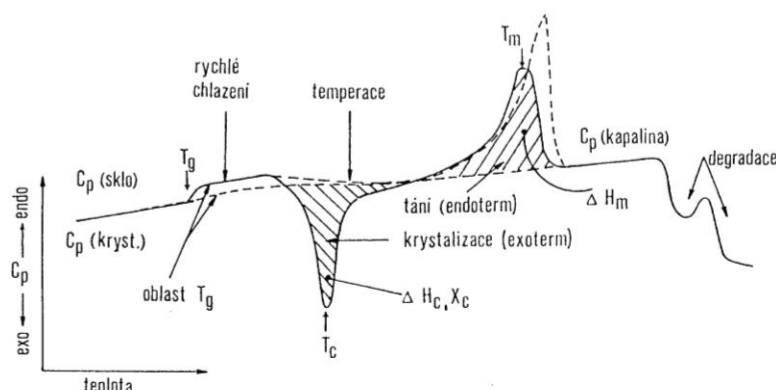
3 METODY ANALÝZY

Pro studium nadmolekulární struktury směsí byly použity experimentální metody diferenciální snímací kalorimetrie a širokoúhlá rentgenová difrakce a pro studium morfologie směsí byla použita polarizační mikroskopie.

3.1 Diferenciální snímací kalorimetrie – DSC

Tato metoda slouží k měření rozdílu tepelného toku mezi vzorkem a referencí při zachování nulového teplotního rozdílu mezi nimi v závislosti na teplotě nebo času podle definovaného programu. Vzorky jsou většinou umístěné v inertní atmosféře, nejčastěji dusík. U této metody je možné použít malé množství vzorku 1–20 mg a vyhodnotit teploty tání, skelného přechodu, krystalinity nebo k určení tepla chemických reakcí [33].

Typická DSC křivka je znázorněna na (Obrázku 3) teploty tání a krystalizace. Endotermní pík určuje teplotu tání a exotermní pík charakterizuje proces krystalizace.



Obrázek 3 Charakteristická křivka polymeru v DSC [34]

3.2 Širokoúhlá rentgenová difrakce – WAXD

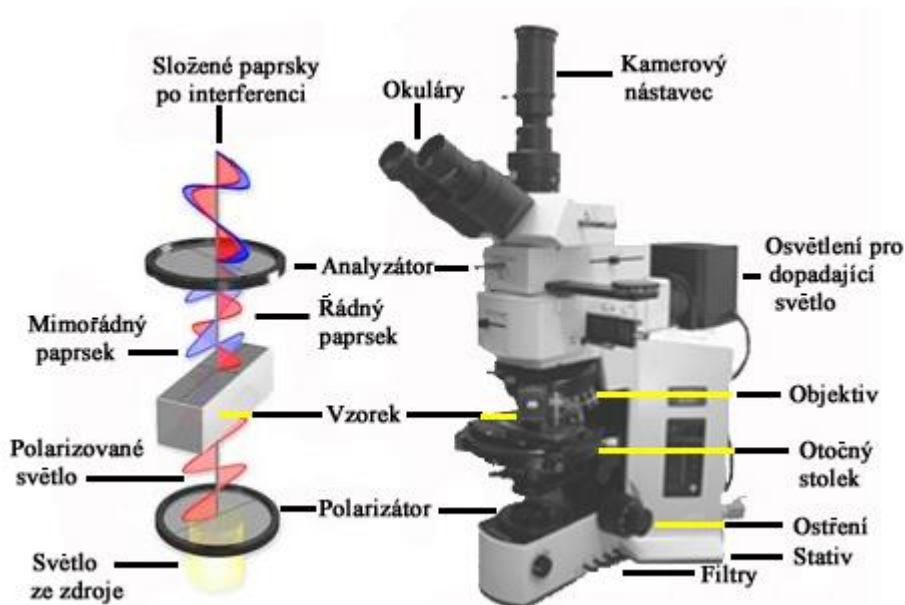
Rentgenová difrakce se řadí mezi tradiční metody pro stanovení krystalografické struktury, můžeme určit celkovou krystalinitu materiálu, velikost krystalu a relativní množství jednotlivých krystalických fází [35].

Nikdy nedojde k zisku čistého krystalického polymeru, tudíž polymer obsahuje i amorfni část. Proto při dopadu rentgenového záření na materiál dochází k interakci s elektrony, které začnou kmitat na stejné frekvenci jako v přichozím paprsku. V amorfním materiálu se vzájemné oscilace elektronů destruktivně narušují. Naopak v pravidelném uspořádání dojde ke konstruktivní interferenci a rentgenový paprsek vzorek rozdělí v definovaných směrech.

U polymerního vzorku amorfni oblast vytvoří velmi široké píky pod křivkou v důsledku difrakce a krystalické oblasti vytvoří ostré píky. Krystalinita vzorku lze spočítat porovnáním plochy pod křivkami [35, 36].

3.3 Polarizační mikroskop

Mikroskopie slouží k přímému zobrazení a analýze morfologie povrchu. Dochází k interakci polarizovaného světla se vzorkem, který vykazuje dvojlom. Původní paprsek po průchodu vzorkem se rozdělí na dva nové: řádný a mimořádný, které jsou fázově posunuté a kmitají v různých rovinách. Po průchodu analyzátoru (Obrázek 4) mikroskopu se oba paprsky složí a dojde ke vzniku interferenčních barev [35, 37].



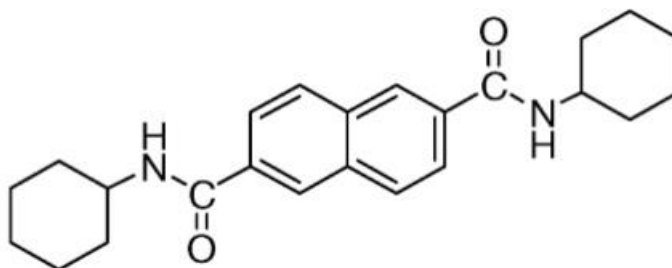
Obrázek 4 Schéma polarizačního mikroskopu Olympus [38]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 MATERIÁLY

V experimentální části byly použity dva polymery od firmy Borealis, Vídeň, Rakousko, protože oba polymery mají podobný index toku taveniny. A to izotaktický polypropylen Borelean HC310BF s indexem toku taveniny 3,3 g/10 min a polypropylen s dlouhými větvemi Daploy WB140HMS s indexem toku taveniny 2,1 g/10 min. Další vlastnosti těchto materiálů jsou uvedeny v materiálových listech od výrobce (Příloha P1 a Příloha P2).

Pro přípravu β -fáze v jednotlivých směsích bylo použito β -nukleační činidlo NJ Star NU 100 (NU 100) od firmy New Japan Chemicals co. Nukleační činidlo je založeno na N,N'-dicyklohexyl-2,6-naftalen dikarboxamid s chemickým vzorcem uvedeným na Obrázku 5. Další vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v materiálovém listě od výrobce (Příloha P3).



Obrázek 5 Chemický vzorec NJ Star NU 100

5 PŘÍPRAVA SMĚSÍ

Směsi lineárního PP a rozvětveného PP s a bez β -nukleačního činidla byly připraveny ve dvou krocích. Nejdříve byly připraveny předsměsi polypropylenu s nukleačním činidlem a pro lepší dispergaci nukleačního činidla s přídavkem 0,3 hm. % parafinového oleje (Tabulka 2). Vzniklé předsměsi byly nejdříve míchány ručně po dobu nejméně 10 min a následně byly zamíchány na dvoušnekovém vytlačovacím stroji Brabender PL-2000 Plasti-Corder. Procesní podmínky byly nastaveny: teploty jednotlivých zón $T_1 - 190\text{ }^\circ\text{C}$, $T_2 - 200\text{ }^\circ\text{C}$ a $T_3 - 210\text{ }^\circ\text{C}$, rychlost 60 otáček/min. Připravené předsměsi byly smíchány s odpovídajícím množstvím lineárního a větveného polypropylenu (viz Tabulky 3–5) a následně opět vytlačeny pomocí dvoušneku.

Tabulka 2 Složení předsměsi s hm. % β -nukleačního činidla v L-PP

Označení	Nukleační činidlo		L-PP		Parafinový olej			Suma
	hm. %	[g]	hm. %	[g]	hm. %	[g]	[ml]	[g]
beta L-PP	1	30	98,7	2 961	0,3	9	10,3	3 000

Tabulka 3 Složení směsí bez nukleačního činidla

Označení	LCB-PP		L-PP	Suma
	hm. %	[g]	[g]	[g]
L-PP	0	0	3000	3000
Směs 1	1	30	2970	3000
Směs 2	2	60	2940	3000
Směs 5	5	150	2850	3000
Směs 10	10	300	2700	3000
Směs 20	20	600	2400	3000
Směs 50	50	1500	1500	3000
LCB-PP	100	3000	3000	3000

Tabulka 4 Složení směsí s nukleačním činidlem (koncentrace 0,03 hm. % nukleačního činidla ve směsích – výpočet z 1% předsměsi)

Označení	LCB-PP		L-PP	Beta L-PP	Suma
	hm. %	[g]	[g]	[g]	[g]
L-PP-N	0	0	2910	90	3000
Směs 1-N	1	30	2880	90	3000
Směs 2-N	2	60	2850	90	3000
Směs 5-N	5	150	2760	90	3000
Směs 10-N	10	300	2610	90	3000
Směs 20-N	20	600	2310	90	3000
Směs 50-N	50	1500	1410	90	3000
LCB-PP-N	100	3000	3000	0	3000

Tabulka 5 Složení směsi LCB-PP-N

Označení	Nukleační činidlo		LCB-PP		Parafinový olej			Suma
	hm. %	[g]	hm. %	[g]	hm. %	[g]	[ml]	[g]
LCB-PP-N	0,03	0,9	99,67	2 990,1	0,3	9	10,3	3 000

6 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Vzorky pro WAXD, DSC a polarizační mikroskop byly připraveny z vyrobených směsí.

6.1 Širokoúhlá rentgenová difrakce

Vzorky pro WAXD byly připraveny z přichystaných směsí, byly lisovány za použití ručního lisu do tvaru destičky o rozměru 125x125x1 mm za následujících podmínek:

- Teplota lisování: 210 °C
 - Předehřev: 2 min
 - Zalisování: 3 min
- Teplota a čas chlazení v hydraulickém lisu: 60 °C/5 min

6.2 Diferenciální snímací kalorimetrie

Vzorky pro DSC byly připraveny stejnou metodou jako pro WAXD o stejných rozměrech a stejných teplotních podmínkách. Vzorek o hmotnosti přibližně 5 mg, byl vložen do hliníkové pánvičky a uzavřen pokličkou.

6.3 Polarizační mikroskop

Vzorky pro polarizační mikroskop byly připraveny stejnou metodou jako pro WAXD o stejných rozměrech a stejných teplotních podmínkách. Vzorky byly nařezány na rotačním mikrotomu Leica RM 2255 o tloušťce 30 μm a byly umístěny na podložním sklíčku, zakápnuté parafinovým olejem a zakryté krycím sklíčkem.

7 ANALYTICKÉ METODY

7.1 Širokoúhlá rentgenová difrakce

Pro zjištění celkové krystalinity a relativního množství jednotlivých fáze ve vzorcích byla použita širokoúhlá rentgenová difrakce. Data byla pořízena rentgenovým difraktometrem Panalytical X'Pert PRO v modu na odraz v rozsahu 5° až 30° při rychlosti skenování $6^\circ/\text{min}$.

Obsah krystalického podílu, krystalinita X , lze vypočítat podle rovnice (1):

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

kde I_k je plocha píků charakteristických pro krystalickou fázi a I_a je plocha pod píky pro amorfni fázi.

Pro výpočet obsahu jednotlivých fází se vychází z intenzit jednotlivých píků a z úhlů, které jsou charakteristické pro α , β a γ -fázi. Charakteristický úhel pro α -fázi v $2\theta = 14,20^\circ$, $17,00^\circ$ a $18,80^\circ$ pro β -fázi v $2\theta = 16,20^\circ$ a γ -fáze v $2\theta = 20,05^\circ$ [23,39].

Pokud systém obsahuje pouze dvě složky a to α/β fázi nebo α/γ fázi lze vypočítat hodnotu B , která přibližně poskytuje informaci o relativním obsahu β -fáze. Nebo zjistit hodnotu G neboli relativní obsah γ -fáze.

$$B = \frac{H_\beta}{H_{\alpha 1} + H_{\alpha 2} + H_{\alpha 3} + H_\beta} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

$$G = \frac{H_\gamma}{H_{\alpha 3} + H_\gamma} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

V případě, když se vyskytuje v systému α , β a γ -fáze lze jednotlivé obsahy vypočítat dle vzorců:

$$K_\beta = \frac{H_\beta}{H_{\alpha 1} + H_{\alpha 2} + H_{\alpha 3} + H_\gamma + H_\beta} \cdot 100 [\%] \quad (4)$$

$$K_{\alpha+\gamma} = 1 - K_\beta \quad (5)$$

K_β je relativní obsah β -fáze v třífázovém krystalickém systému, $K_{\alpha+\gamma}$ je společný obsah α i γ -fáze. Vzájemný přepočtový vztah pro zjištění relativního obsahu K_α a K_γ fáze se získá po úpravě rovnice (3) a (5):

$$K_\gamma = G \cdot K_{\alpha+\gamma} \quad (6)$$

$$K_{\alpha} = 1 - K_{\beta} - K_{\gamma} \quad (7)$$

7.2 Diferenciální snímací kalorimetrie

Pro termální analýzu jednotlivých vzorků byl použit diferenční snímací kalorimetr DSC1 Mettler Toledo. Jako proplachovací plyn byl použit dusík, který neustále procházel 20 ml/min.

Připravené vzorky byly v prvním kroku zahřívány z 50 °C na 220 °C při rychlosti zahřívání 10 °C/min, poté byly taveny při 220 °C po dobu 5 minut, kvůli vymazání předchozí tepelné historie. Následně byly vzorky ochlazeny z 220 °C na 50 °C při rychlosti 10 °C/min. Po 1 minutě při 50 °C byly vzorky zahřívány na 190 °C rychlostí 10 °C/min a poté hned zchlazeny na 50 °C rychlostí 50 °C/min.

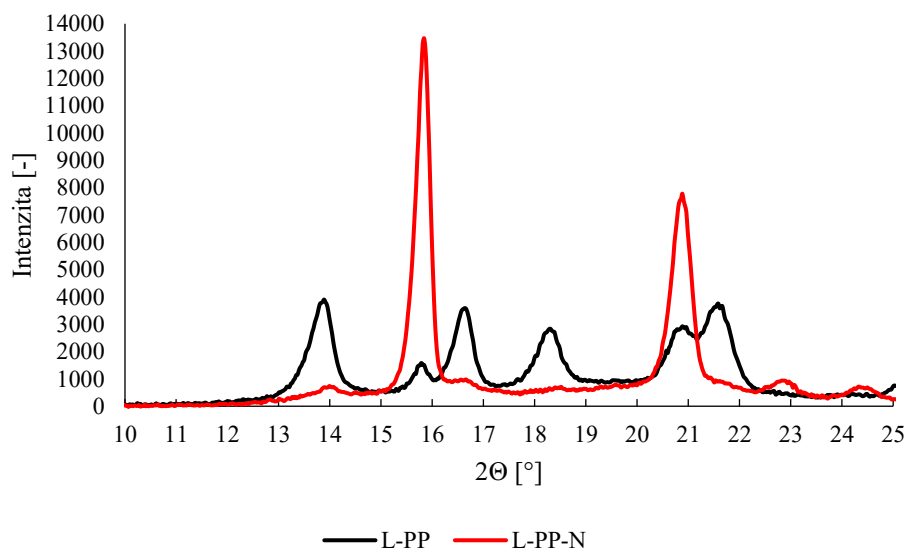
7.3 Polarizační mikroskop

Pro studium morfologie vzorků byl použit optický mikroskop Olympus BX41 se zabudovaným digitálním fotoaparátem.

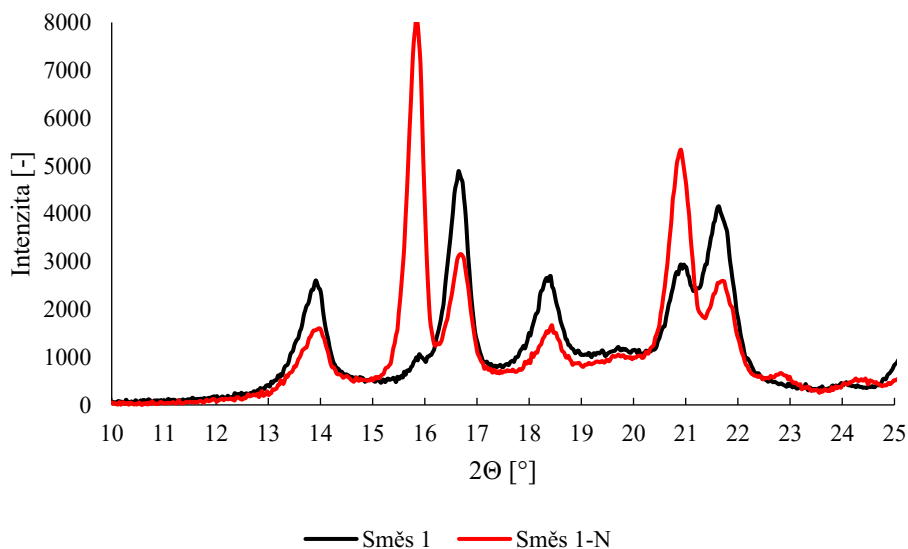
III. VÝSLEDKY A DISKUSE

8 ŠIROKOUHLÁ RENTGENOVÁ DIFRAKCE

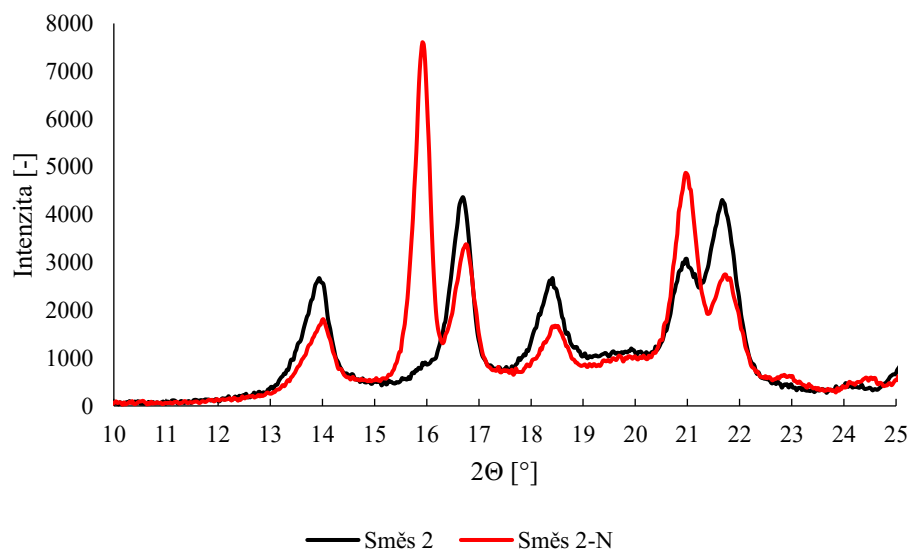
Pomocí širokouhlé rentgenové difrakce byly získány informace o stupni krystalizace a o krystalické struktuře zkoumaných vzorků. Rentgenové difraktogramy jednotlivých směsí s a bez nukleačního činidla jsou uvedeny na Obrázku 6-13. Můžeme vidět charakteristická difrakční spektra tří-fázových krystalických systémů prokázaná výskytem píků v hlavní rovině a to α -fáze – α_1 , α_2 a α_3 , dále β -fázi a γ -fázi.



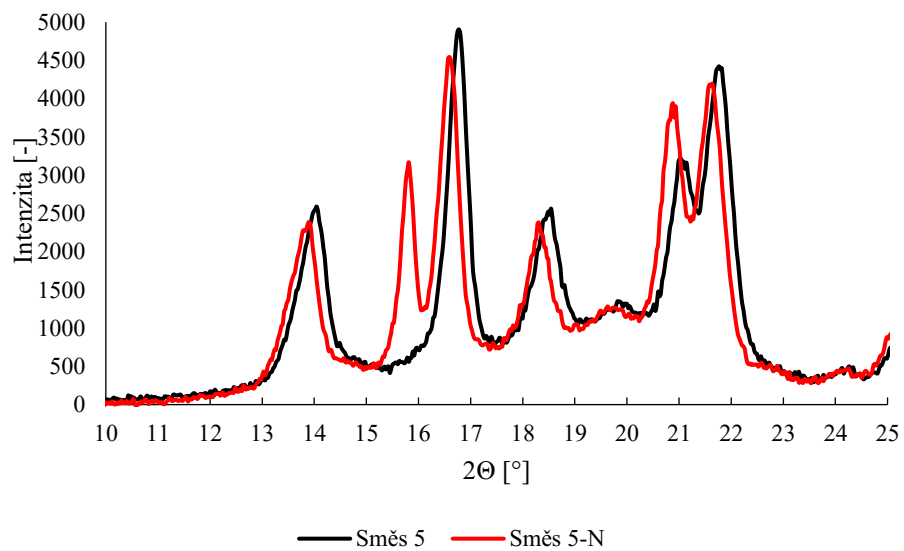
Obrázek 6 Difraktogramy směsí L-PP a L-PP-N



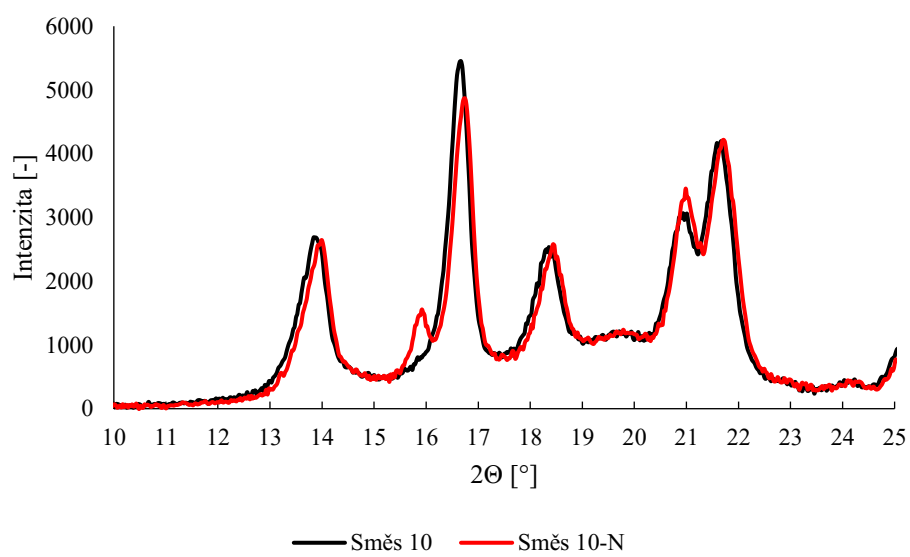
Obrázek 7 Difraktogramy směsí Směs 1 a Směs 1-N



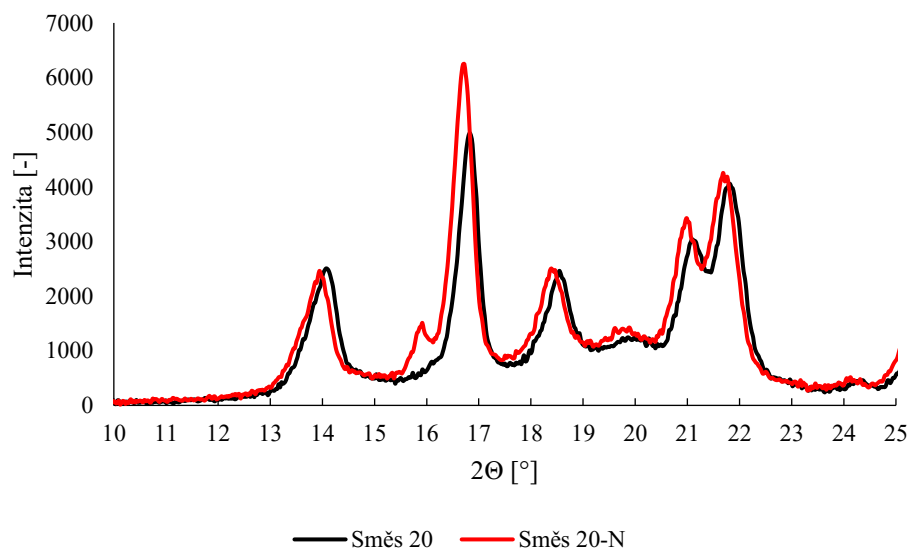
Obrázek 8 Difraktogramy směsí Směs 2 a Směs 2-N



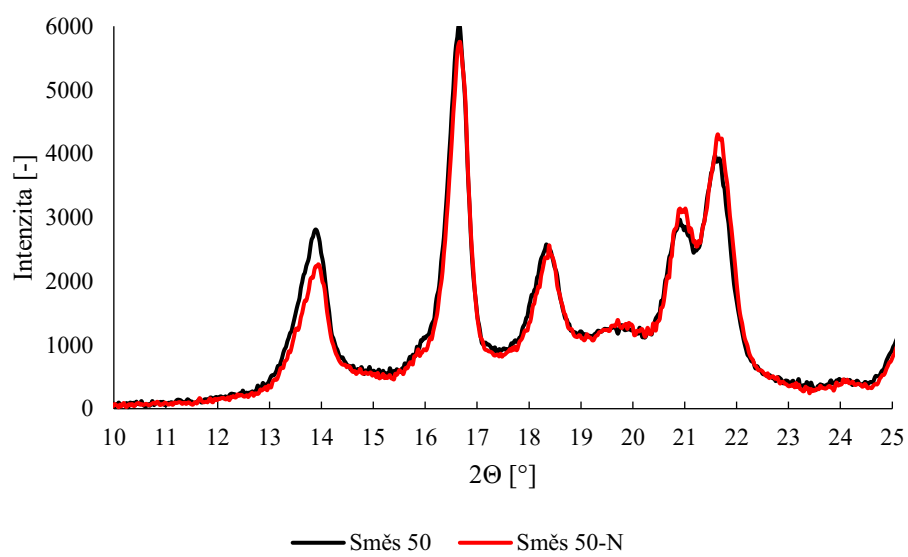
Obrázek 9 Difraktogramy směsí Směs 5 a Směs 5-N



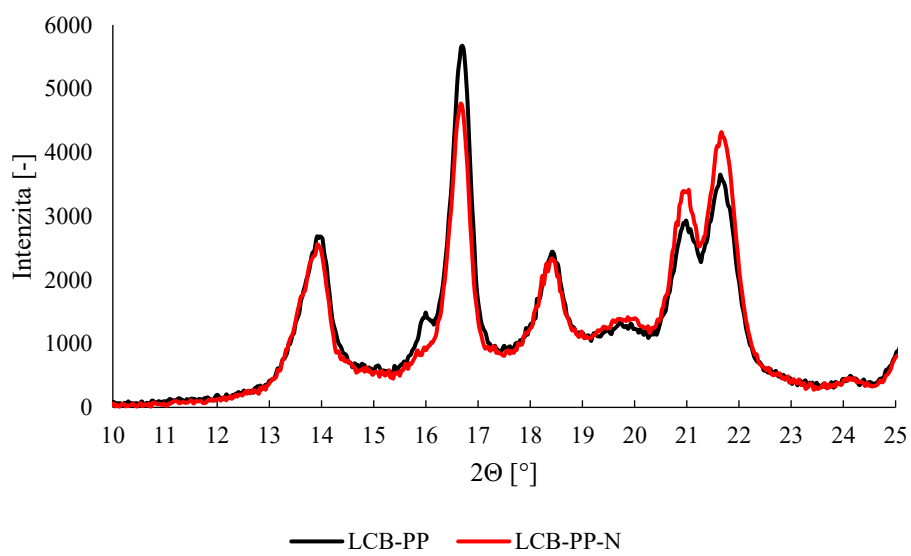
Obrázek 10 Difraktogramy směsí Směs 10 a Směs 10-N



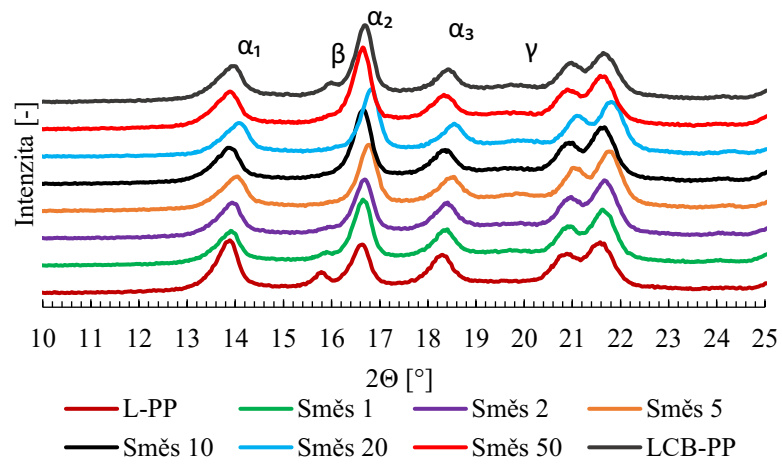
Obrázek 11 Difraktogramy směsí Směs 20 a Směs 20-N



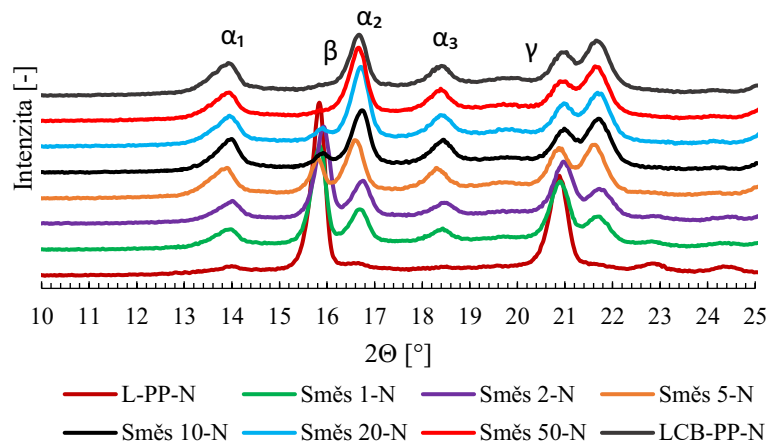
Obrázek 12 Difraktogramy směsí Směs 50 a Směs 50-N



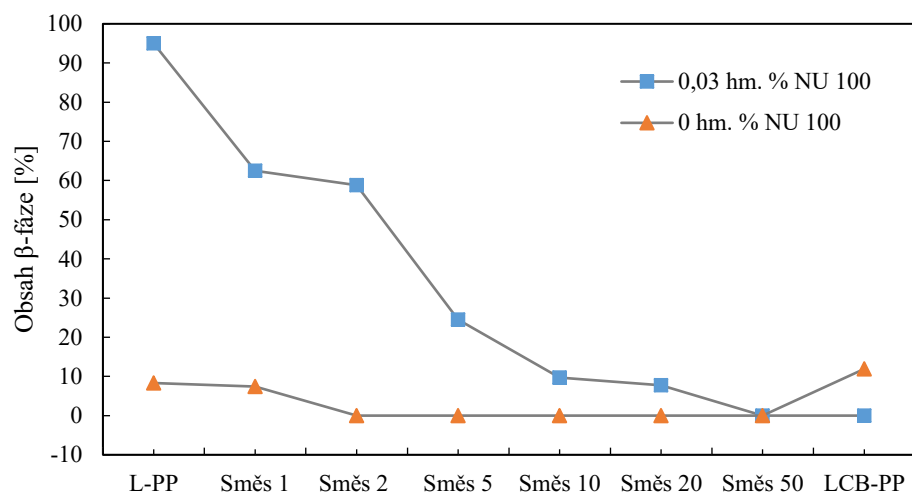
Obrázek 13 Difraktogramy směsí LCB-PP a LCB-PP-N



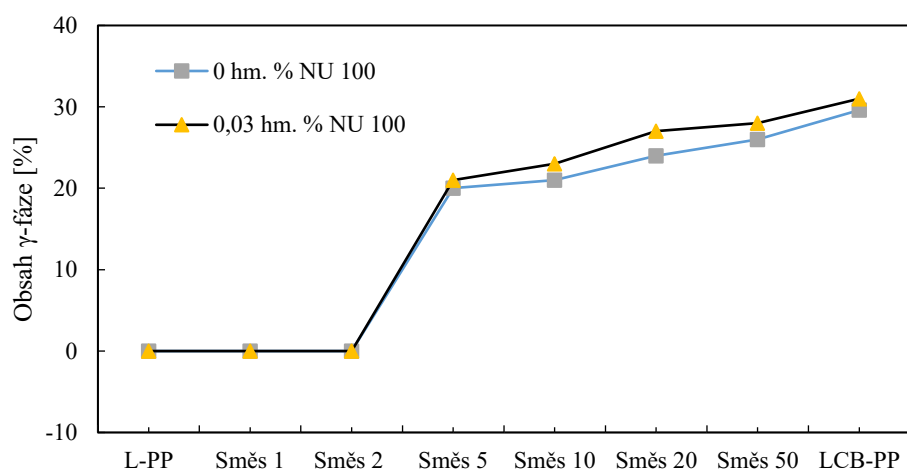
Obrázek 14 Difraktogramy směsí bez NU 100



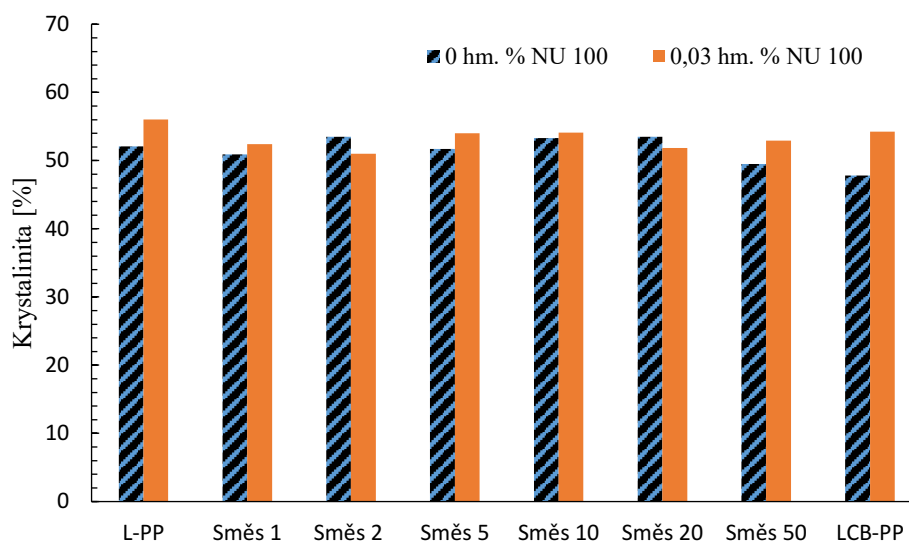
Obrázek 15 Difraktogramy směsí s NU 100



Obrázek 16 Závislost obsahu β -fáze na složení směsi



Obrázek 17 Závislost obsahu γ -fáze na složení směsi



Obrázek 18 Závislost krystalinity na složení směsi

Celková krystalinita (Obrázek 18) všech vzorků byla o něco vyšší než 50 %, nezávisle na složení směsi. Přidáním β -nukleačního činidla NU 100 se výrazněji mění krystalinita pouze u čistého LCB-PP, kde dojde ke zvýšení ze 48 % na 54 %. Nižší hodnota u čistého LCB-PP může být zapříčiněna tím, že dlouhé větve působí jako defekty omezující krystalizaci.

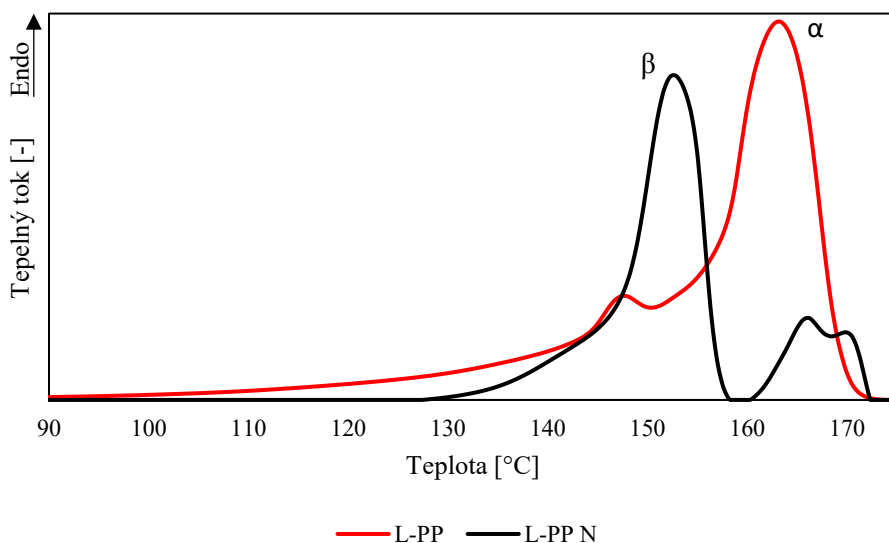
Pro popis obsahu jednotlivých fází byly vypočteny hodnoty K , které byly definovány rovnicemi (2)-(7). Z Obrázku 6 vyplývá, že čistý L-PP se skládá výhradně z α -fáze, ale přídavek 0,03 hm. % NU 100 vede ke krystalizaci L-PP výhradně do trigonální β -fáze ($K_{\beta}=92$ %). Na druhé straně, čistý LCB-PP (Obrázek 13) se skládá pouze z α a γ -fází a obsah β -fáze je pouhých 8 %. V případě přidání nukleačního činidla, β -fáze zcela vymizí u Směsi 50. Je tedy zřejmé, že účinnost nukleačního činidla klesá s rostoucím obsahem LCB-PP a narůstá obsah γ -fáze za daných podmínek viz Obrázek 17. V případě nukleovaných směsí L-PP/LCB-PP lze pozorovat významné snížení β -fáze se zvyšujícím se množstvím LCB-PP, kde po potlačení β -fáze ve směsi, dojde k úplnému převládnutí α a γ -fází (Obrázek 16).

9 DIFERENCIÁLNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE

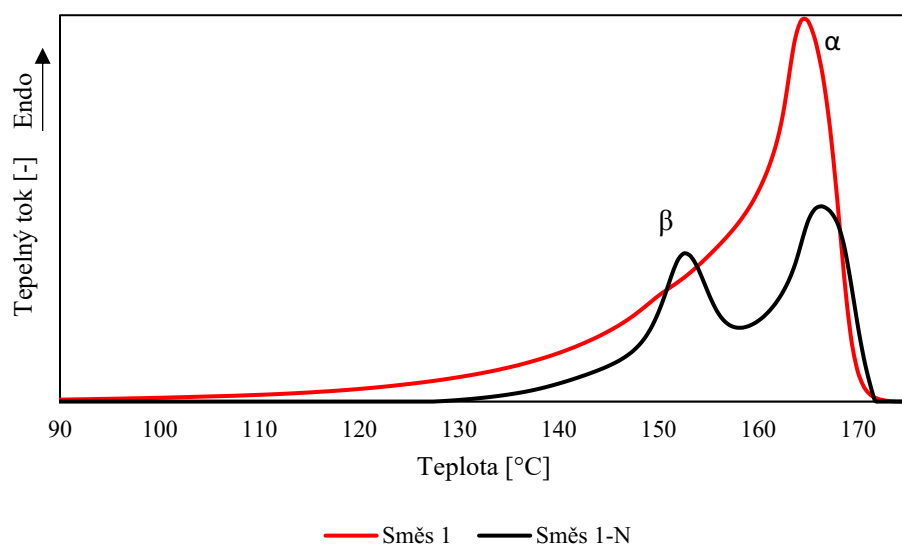
Pomocí diferenciální snímací kalorimetrie bylo sledováno tepelné chování zkoumaných vzorků, které byly vystaveny ohřevu. Vliv složení směsi se projevuje na termogramech DSC (Obrázky 19-34). Termogramy tání směsí L-PP/LCB-PP jsou znázorněny na Obrázku 19-26 a termogramy krystalizace na Obrázku 27-34.

9.1 Teplota tání

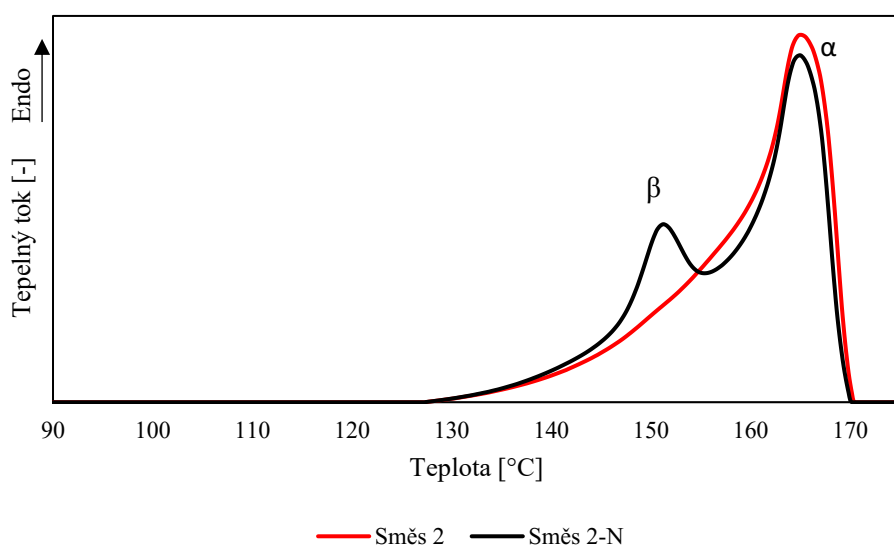
Křivky tání směsí bez nukleačního činidla mají pouze jeden pík tání, který by měl odpovídat teplotě tání α -fáze. Pouze čistý L-PP vykazuje také malý pík β -fáze (Obrázek 19), kde teplota tání je 149 °C. Se zvyšujícím se množstvím LCB-PP ve směsích se teplota tání nejprve mírně zvyšuje, tento trend trvá po Směs 10 a poté se zvyšujícím se množstvím LCB-PP dochází ke snížení teploty. Čistý LCB-PP vykazuje teplotu tání 159 °C a čistý L-PP vykazuje teplotu tání 164 °C (Tabulka 6). V případě vzorků, které obsahují β -nukleační činidlo NU 100 lze pozorovat odlišný trend křivek tání. Čistý L-PP s přídavkem NU 100 vykazuje pík tání při 153 °C, který je typický pro β -fázi, a méně viditelný dvojitý α -pík tání při 166 a 170 °C, které byly vytvořeny během procesu rekrystalizace. I malé přidání LCB-PP ke směsi vede k významnému poklesu píku β -fáze. Tento pík tání pro β -fázi zmizí při přídavku 10 hm. % LCB-PP (Obrázek 23). Se zvyšujícím se obsahem LCB-PP ve směsích dochází k mírnému poklesu teploty tání, podobně jako v případě směsí bez β -nukleačního činidla.



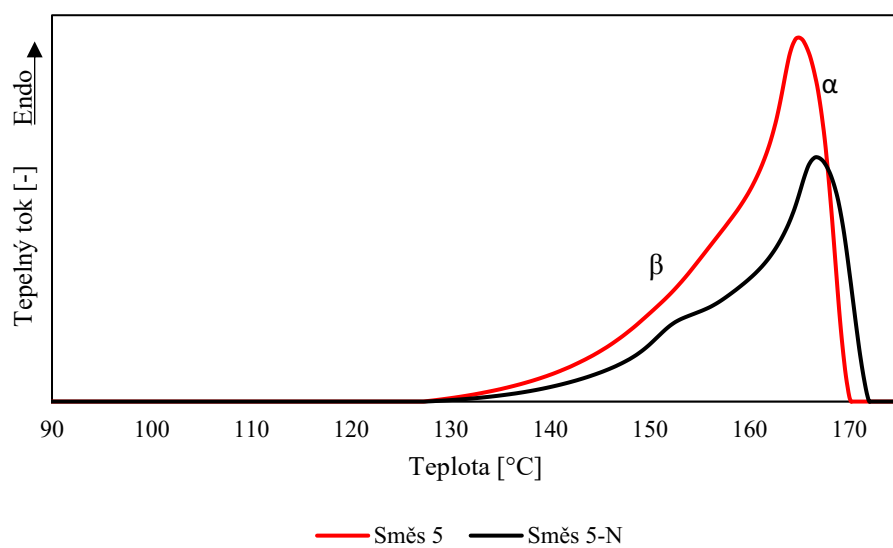
Obrázek 19 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsi L-PP a L-PP-N



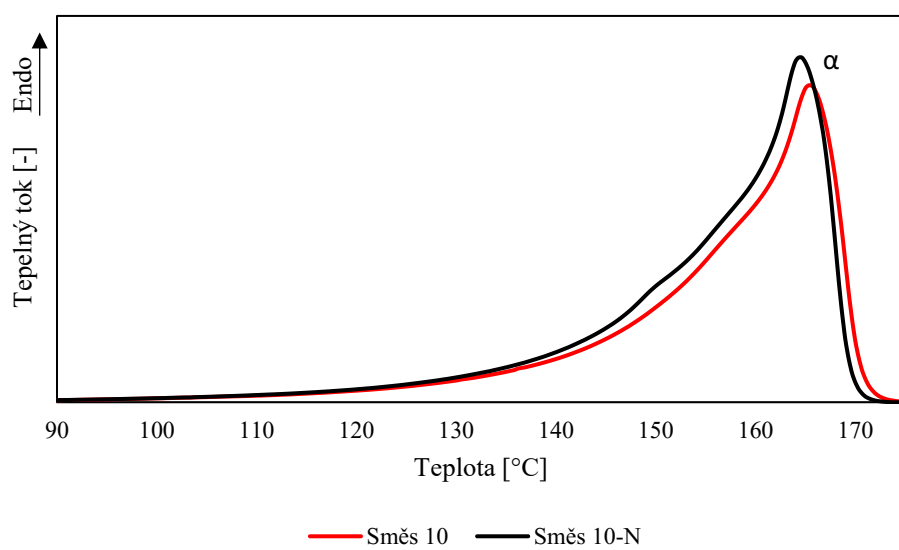
Obrázek 20 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsi 1 a 1-N



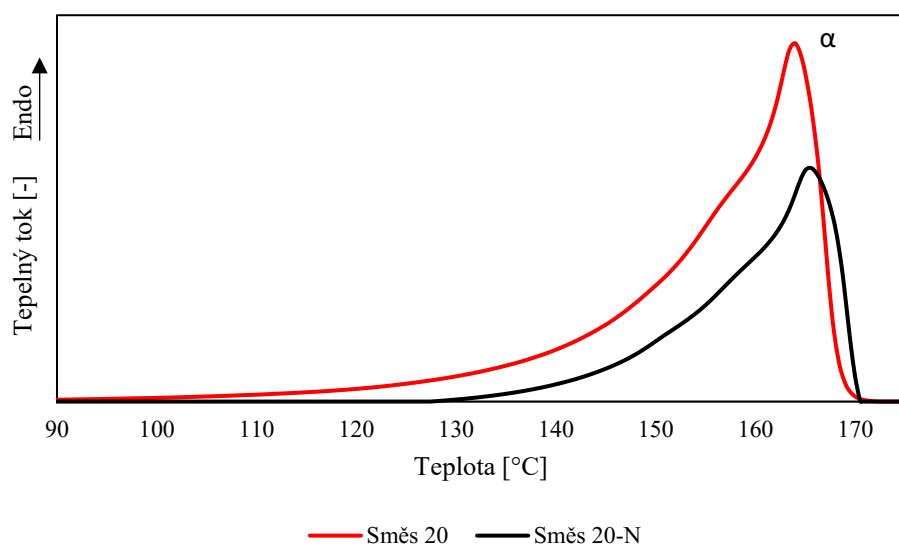
Obrázek 21 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsi 2 a 2-N



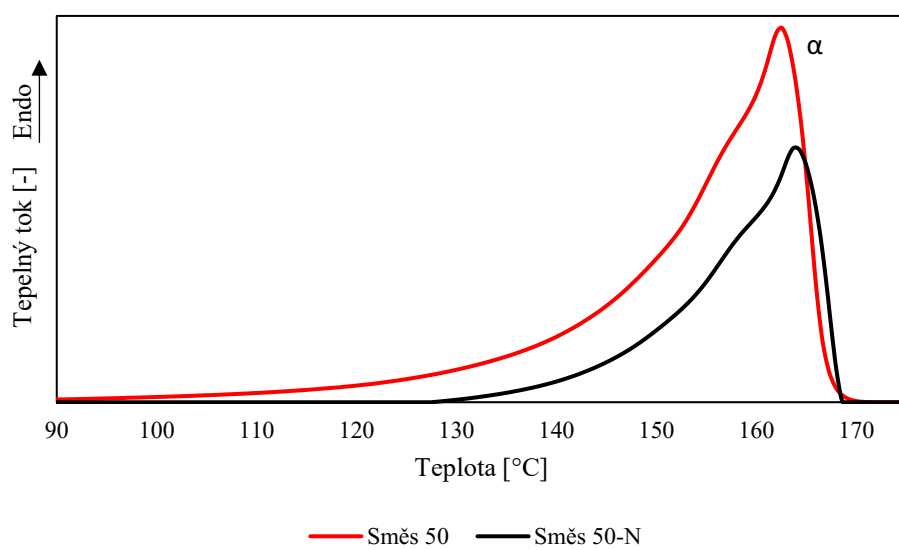
Obrázek 22 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsi 5 a 5-N



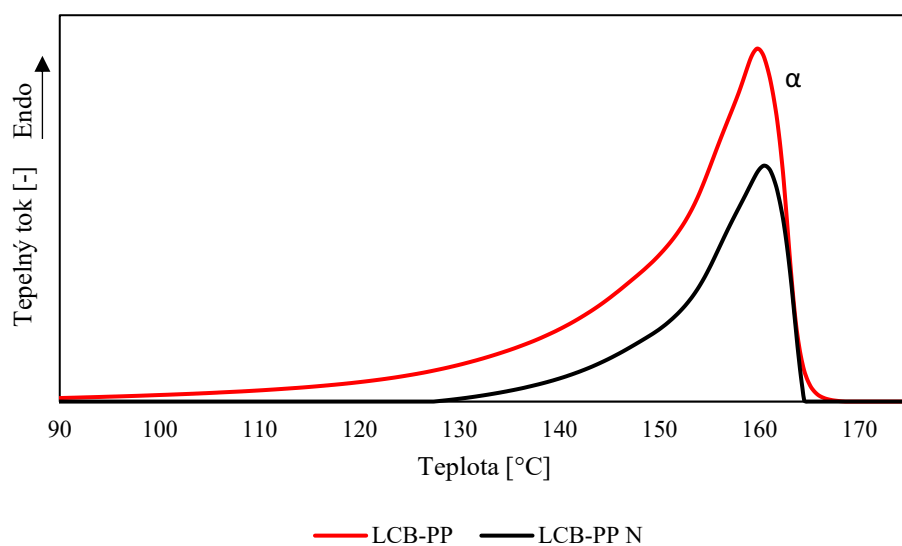
Obrázek 23 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsi 10 a 10-N



Obrázek 24 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsi 20 a 20-N



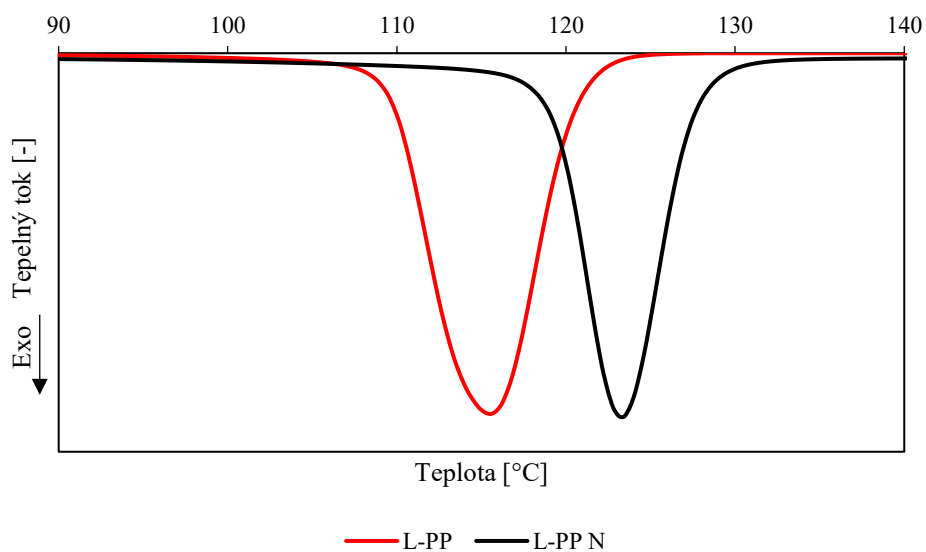
Obrázek 25 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsi 50 a 50-N



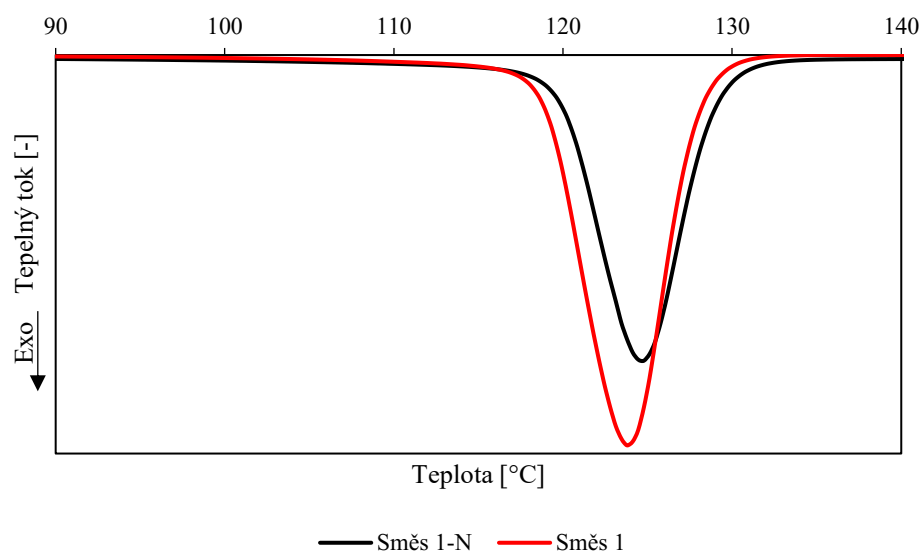
Obrázek 26 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsi LCB-PP a LCB-PP-N

9.2 Teplota krystalizace

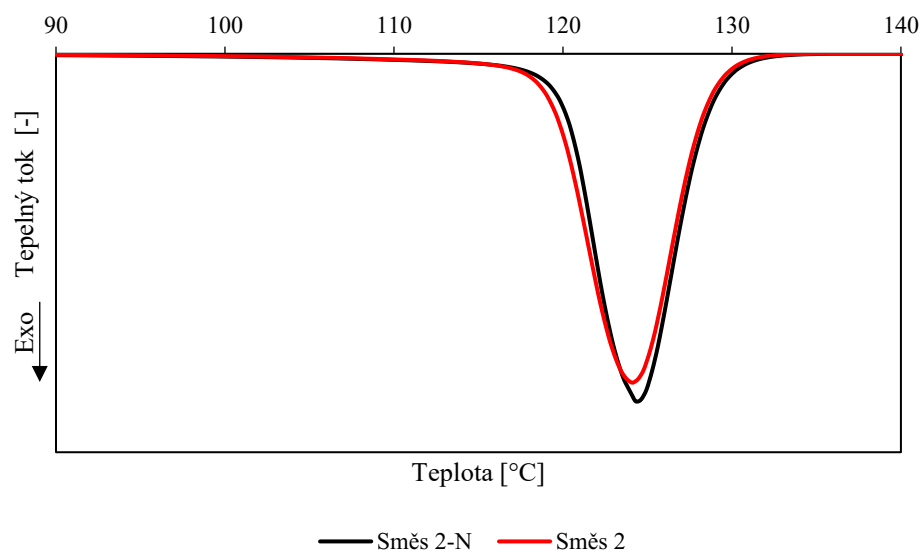
Teplota krystalizace čistého L-PP bez NU 100 je 116 °C a je mnohem nižší než u čistého LCB-PP (129 °C), viz Obrázek 27 a 34. Je zřejmé, že se stoupajícím přidavkem LCB-PP ve směsích roste teplota krystalizace. Už po přidání pouhého 1 hm. % LCB-PP se teplota krystalizace zvýší na 125 °C, pak už se teplota krystalizace zvyšuje pouze přibližně o 1 °C, viz Tabulka 6. Vyšší krystalizační teplota lze přisoudit dlouhým větvím, které mohou urychlit celkovou krystalizaci.



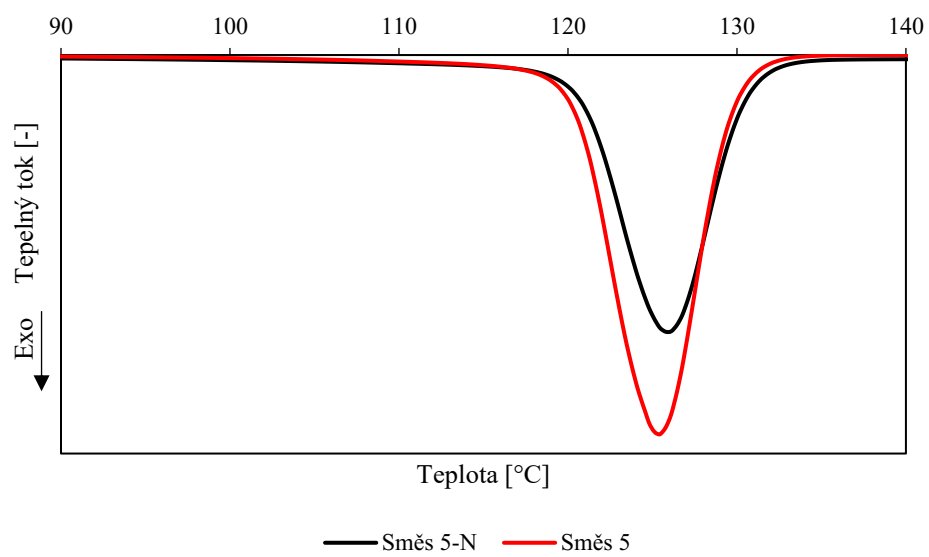
Obrázek 27 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsi L-PP a L-PP-N



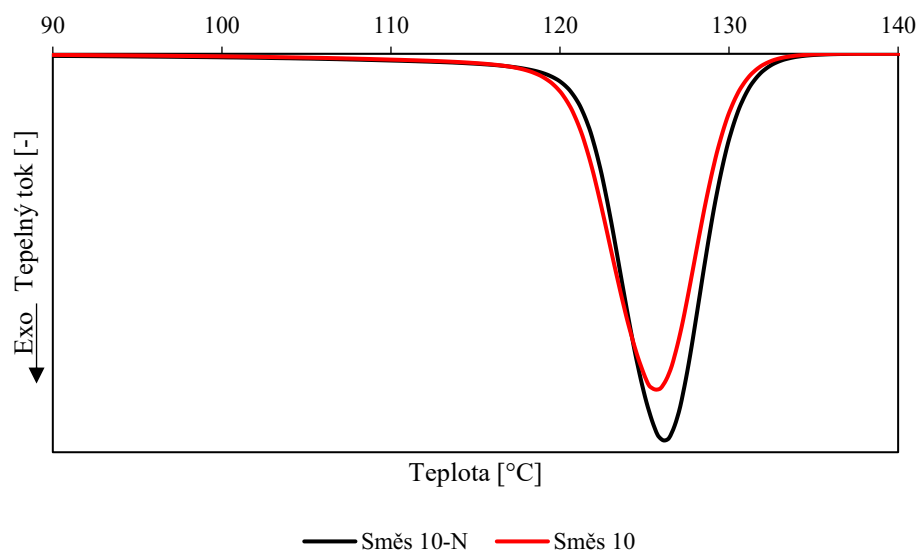
Obrázek 28 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsi 1 a 1-N



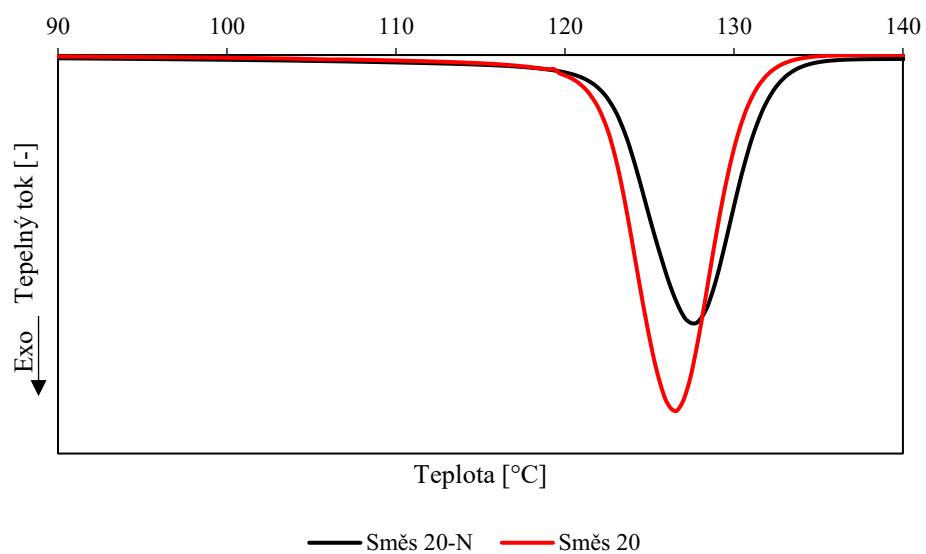
Obrázek 29 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsi 2 a 2-N



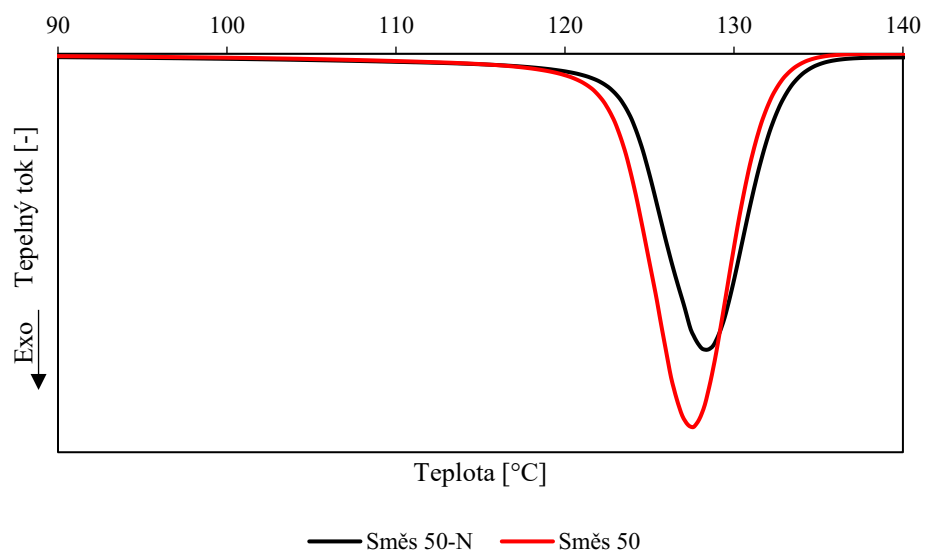
Obrázek 30 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsi 5 a 5-N



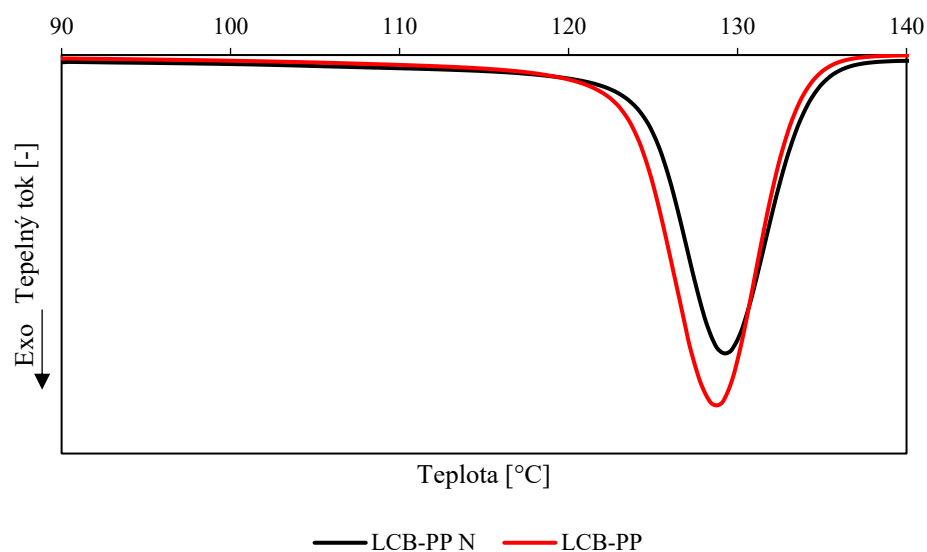
Obrázek 31 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsi 10 a 10-N



Obrázek 32 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsi 20 a 20-N



Obrázek 33 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsi 50 a 50-N



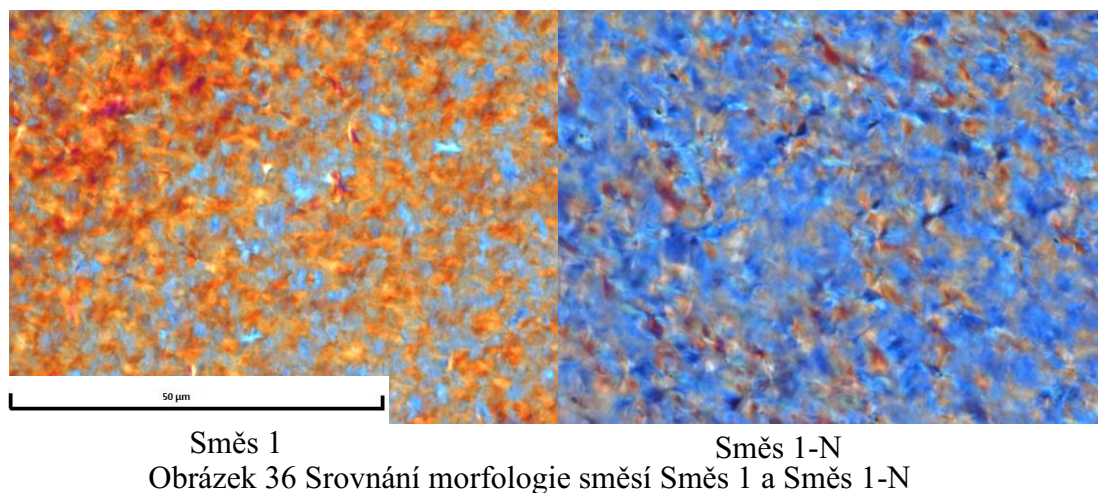
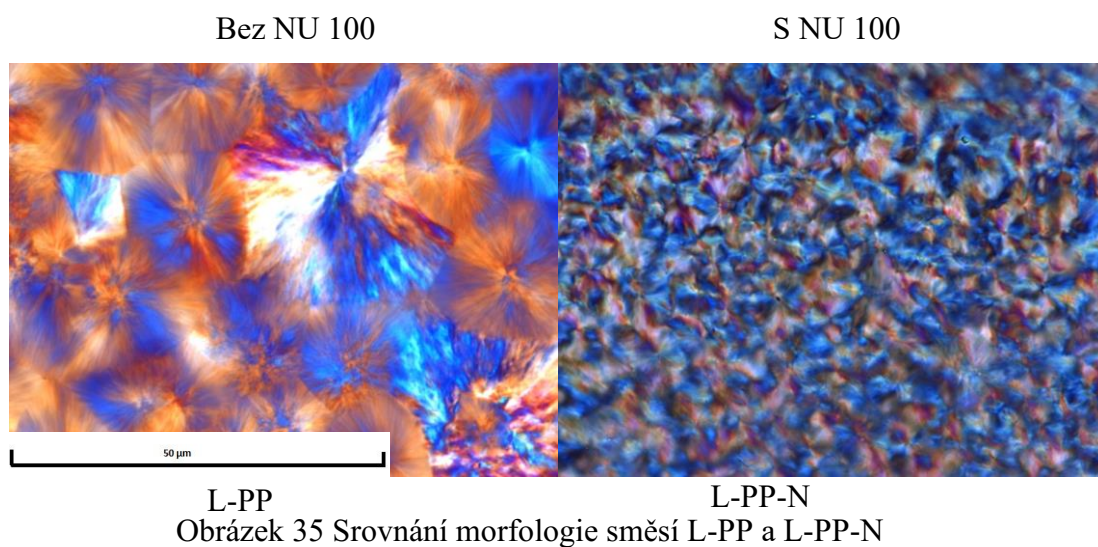
Obrázek 34 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsi LCB-PP a LCB-PP-N

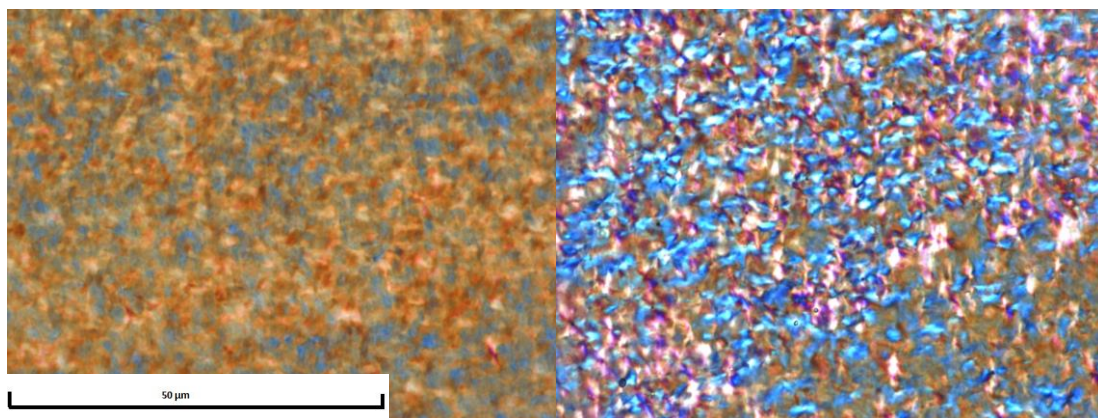
Tabulka 6 Srovnání teplot tání a teplot krystalizace získaných pomocí DSC

Směs	0 hm. % NU 100		0,03 hm.% NU 100	
	Teplota tání [°C]	Teplota krystalizace [°C]	Teplota tání [°C]	Teplota krystalizace [°C]
L-PP	164	116	166	124
Směs 1	165	125	166	126
Směs 2	165	125	165	125
Směs 5	165	126	167	127
Směs 10	166	127	165	127
Směs 20	165	126	166	129
Směs 50	162	128	164	129
LCB-PP	159	129	160	130

10 POLARIZAČNÍ MIKROSKOP

Pro popis a znázornění morfologie jednotlivých směsí, byl použit optický mikroskop při zvětšení 400krát. Povrchy jednotlivých směsí jsou znázorněny a srovnány na Obrázku 35-42, kde vlevo jsou směsi bez NU 100 a vpravo obsahují 0,03 hm. % NU 100. Na Obrázku 35 vlevo lze vidět čistý L-PP, který obsahuje typické α -sférolity. Vpravo po přidavku nukleačního činidla vzniká drobnozrnná struktura β -fáze. V případě čistého LCB-PP (Obrázek 42) a směsí s vyšším obsahem LCB-PP není možné rozlišit typické sférolity.

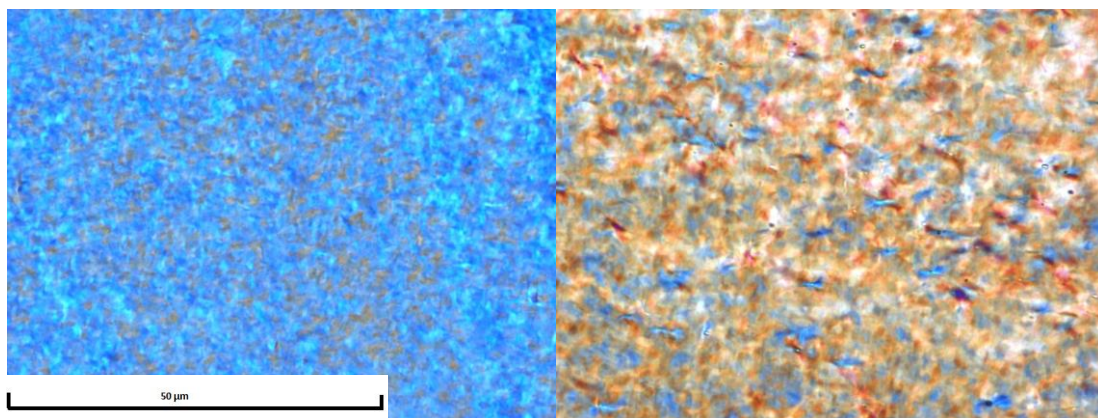




Směs 2

Směs 2-N

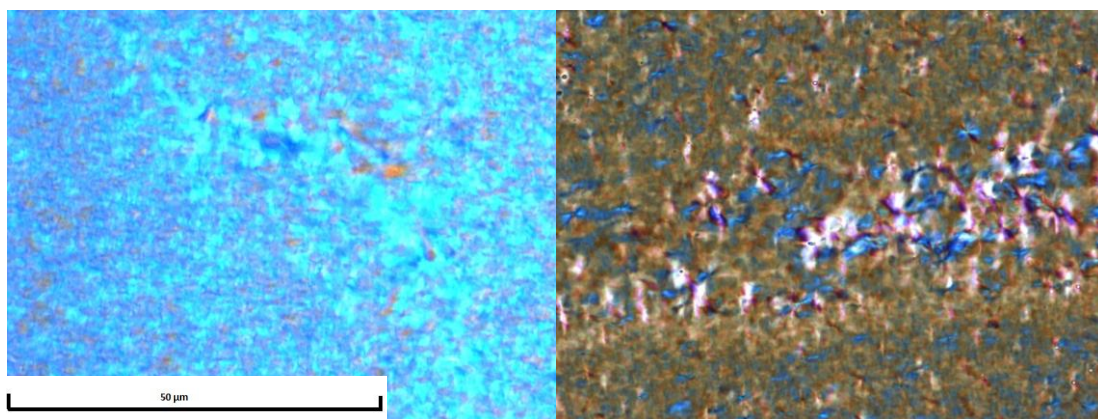
Obrázek 37 Srovnání morfologie směsí Směs 2 a Směs 2-N



Směs 5

Směs 5-N

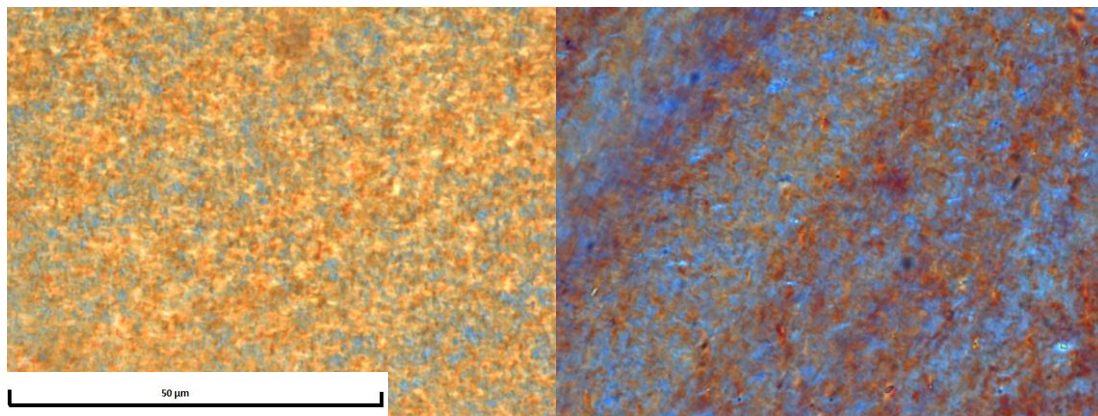
Obrázek 38 Srovnání morfologie směsí Směs 5 a Směs 5-N



Směs 10

Směs 10-N

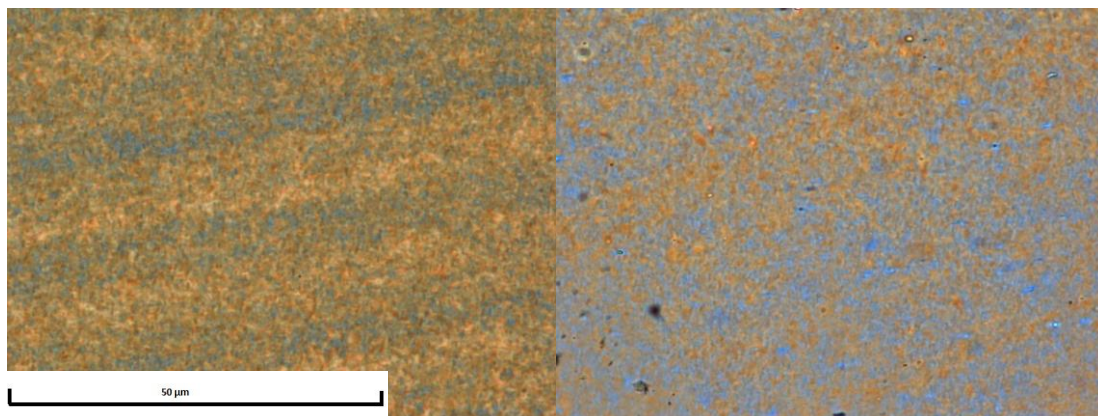
Obrázek 39 Srovnání morfologie směsí Směs 10 a Směs 10-N



Směs 20

Směs 20-N

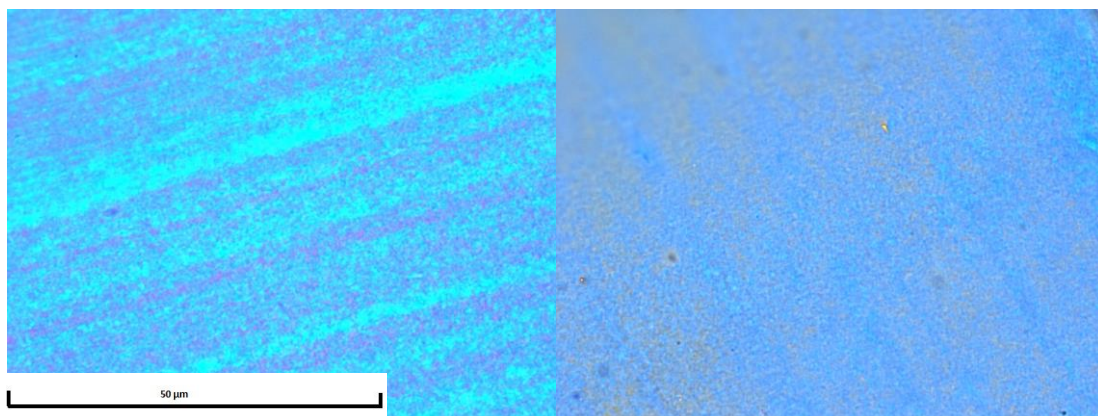
Obrázek 40 Srovnání morfologie směsí Směs 20 a Směs 20-N



Směs 50

Směs 50-N

Obrázek 41 Srovnání morfologie směsí Směs 50 a Směs 50-N



LCB-PP

LCB-PP-N

Obrázek 42 Srovnání morfologie směsí LCB-PP a LCB-PP-N

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem větvení polypropylenu a specifické nukleace na polymorfní složení, teplotu tání a krystalizace a morfologii směsí lineárního a větveného polypropylenu.

Celková krystalinita všech vzorků kromě čistého LCB-PP byla lehce vyšší než 50 % nezávisle na složení směsí. Po přidání β -nukleačního činidla NU 100 se krystalinita mění významněji pouze u čistého LCB-PP, kde došlo k navýšení ze 48 % na 54 %. Jeho nižší krystalinita je způsobena velkým obsahem dlouhých větví, které působí jako defekty a omezují krystalizaci.

Bylo zjištěno, že účinnost nukleačního činidla NU 100 při tvorbě β -fáze prudce klesá se zvyšujícím se obsahem LCB-PP ve směších. Čistý L-PP se výhradně skládá z α -fáze, ale přídavek 0,03 hm. % NU 100 vede ke krystalizaci do β -fáze, která plně převládne. Naopak čistý LCB-PP se skládá převážně z α a γ -fáze. Z výsledků vyplývá, že při zvyšujícím se obsahu LCB-PP ve směsi dochází k potlačení vzniku β -fáze i přes přítomnost β -nukleačního činidla a současně k nárůstu obsahu γ -fáze. To znamená, že přítomností LCB-PP ve směsi aktivita nukleačního činidla je potlačena, neboť větvení brání krystalizaci do β -fáze.

Studium tepelného chování ukázalo, že teplota tání se při zvyšujícím se obsahu LCB-PP ve směších nejprve mírně zvyšuje (po Směs 10) a poté dochází opět k jejímu mírnému snížení. V případě směsí obsahujících NU 100 dochází se zvyšujícím se obsahem LCB-PP k poklesu β -fáze, která absolutně vymizí již při přídavku 10 hm. % LCB-PP. Silná nukleační účinnost LCB-PP je prokázána zvýšením krystalizační teploty se zvyšujícím se obsahem LCB-PP ve směších.

Mikroskopické pozorování prokázalo, že čistý L-PP obsahuje typické α -sférolity, po přídavku β -nukleačního činidla vzniká drobnozrná struktura s β -fází. V případě čistého LCB-PP a směsí s vyšším obsahem LCB-PP nelze rozlišit jednotlivé fáze, neboť sférolity jsou velice drobné.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Quinn B., Crawford Ch. B.: *Microplastic Pollutants*. [online] Amsterdam: Elsevier, 2017, s. 57-100. Kap. 4 - Physicochemical properties and degradation. ISBN 9780128104699. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00004-9>
- [2] Stange J., Uhl C., Münstedt H.: Rheological behavior of blends from a linear and a long-chain branched polypropylene. [online] *Journal of Rheology*, **49**(5):1059-1079 (2005). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1122/1.2008297>
- [3] Nam, G. J., Yoo, J. H., Lee, J. W.: Effect of long-chain branches of polypropylene on rheological properties and foam-extrusion performances. [online] *Journal of Applied Polymer Science*, **96**(5): 1793-1800 (2005). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/app.21619>
- [4] Fang Y., Sadeghi F., Fleuret G., Carreau P. J.: Properties of blends of linear and branched polypropylenes in film blowing. [online] *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, **86**(1): 6-14 (2008). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/cjce.20011>
- [5] Mleziva, J., Šňupárek, J.: *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-859-2072-7.
- [6] Navrátilová, J.: *Přednášky z předmětu Makromolekulární chemie II – Přednáška č. 2 PP, PB, PMP, POM*, Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, zimní semestr, 2019
- [7] Nwabunma, D., Kyu, T.: *Polyolefin Blends*. [online] Wiley: New Jersey, 2008. ISBN 978-0-471-79058-7. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9780470199008>
- [8] Prokopová I.: Makromolekulární chemie. 2. přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2007, s. 138-139. Kap. 7.7.1 Zieglerovy-Nattovy katalyzátory. ISBN 978-80-7080-662-3.
- [9] Gahleitner M., Paulik M., Paulik Ch.: *Brydson's Plastics Materials*. [online] 8. přeprac. vyd. Boston, MA: Elsevier, 2017, s 279-309. Kap. 11.1 Polypropylene and Other Polyolefins. ISBN 978-0-323-35824-8. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0114LPQ5/brydsons-plastics-materials/polypropylene>
- [10] Agarwal P. K., Somani R. H., Weng W. Mehta A.: Shear-Induced crystallization in novel long chain branched polypropylenes by in situ Rheo-SAXS and -WAXD. [online] *Macromolecules*, **36**(14), 5226-5235 (2003). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/ma034154l>
- [11] Mogilicharla A., Majumdar S., Mitra K.: Multiobjective optimization of long-chain branched propylene polymerization. [online] *Polymer Engineering and Science*, **55**(5), 1067-1076 (2015). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/pen.23977>
- [12] Zhou S., Wang W., Xin Z., Shi Y.: Relationship between molecular structure, crystallization behavior, and mechanical properties of long chain branching polypropylene. [online] *J Mater Sci*, **51**(12), 5598-5608 (2016). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10853-016-9856-0>
- [13] Peacock J. A., Calhoun A.: *Polymer Chemistry: Properties and Applications*. [online] Cincinnati, Ohio: Hanser Publishers, 2006, s. 6. Kap. 1.2.1.2 Tacticity. ISBN 978-1-56990-3971. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008VK5O2/polymer-chemistry-properties/definition-polymers>

- [14] Subramanian M. N.: *Polymer blends and composites: chemistry and technology*. [online] Hoboken: John Wiley, 2017, s. 57-76. Kap. 3. Polymer Properties. ISBN 978-1-118-11889-4. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781119383581.ch3>
- [15] Peacock J. A., Calhoun A.: *Polymer Chemistry - Properties and Applications*. [online] Cincinnati: Hanser Publishers, 2006, s. 285-297. Kap. 19. Polypropylene. ISBN 9781-56990-3971. [cit. 2020-05-12].
Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008VKG21/polymer-chemistry-properties/polypropylene>
- [16] Howe D. V., Dimeska A.: *Polymer data handbook*. [online] 2 přeprac. vyd. New York: Oxford University Press, 2009, s. 971-978. Kap. 169. Polypropylene, Isotactic. ISBN 0195181018. [cit. 2020-05-12].
Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt006PVT05/polymer-data-handbook/polypropylene-isotactic>
- [17] Dimeska A., Myers Ch. L.: *Polymer data handbook*. [online] 2 přeprac. vyd. New York: Oxford University Press, 2009, s. 994-997. Kap. 173. Polypropylene, Syndiotactic. ISBN 0195181018. [cit. 2020-05-12].
Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt006PVT82/polymer-data-handbook/polypropylene-syndiotactic>
- [18] Dimeska A., Myers Ch. L.: *Polymer data handbook*. [online] 2 přeprac. vyd. New York: Oxford University Press, 2009, s. 963-966. Kap. 167. Polypropylene, atactic. ISBN 0195181018. [cit. 2020-05-12].
Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt006PVS2/polymer-data-handbook/polypropylene-atactic>
- [19] Maier C., Calafut T.: *Polypropylene: The Definitive User's Guide and Databook*. [online] Norwich, NY: Plastics Design Library, 1998, s. 11-25. Kap. 2 Morphology and Commercial Forms. ISBN 978-1-884207-58-7. [cit. 2020-05-12].
Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0019N3J7/polypropylene-definitive/morphology-commercial>
- [20] Natta G., Corradini P.: Structure and properties of isotactic polypropylene. [online] *Nuovo Cimento*, **15**(10), 40-51 (1960). [cit. 2020-05-12].
Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF02731859>
- [21] Zhu K., Ding Q., Hua Ch., Fu H., Yao J.: Effect of β -nucleating agent on crystallization of post-consumer polypropylene. [online] *Thermochimica Acta*, **675**, 63-68 (2019). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2019.03.017>
- [22] Yu K., Jiang H., Zhou H., Mi J., He Y., Wang X.: Evolution of double crystal melting peak in polypropylene foam assisted by β -nucleating agent and supercritical CO₂. [online] *Journal of Applied Polymer Science*, **135**(12), 46007/1-46007/10 (2017). [cit. 2020-05-12].
Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/app.46007>
- [23] Chvatalová L., Navratilová J., Čermák R., Raab M., Obadal M.: Joint effects of molecular structure and processing history on specific nucleation of isotactic polypropylene. [online] *Macromolecules*, **42**(19), 7413-7417 (2009). [cit. 2020-05-12].
Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/ma9005878>
- [24] Su Z., Wang H., Dong J., Zhang X., Dong X., Zhao Y., Yu J., Han Ch. C., Xu D., Wang D.: Conformation transition and crystalline phase variation of long chain branched isotactic polypropylenes (LCB-iPP). [online] *Polymer*, **48**(3), 870-876 (2007). [cit. 2020-05-12].
Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2006.12.013>

- [25] Maroufkhani M., Ebrahim N. G.: Melt rheology of linear and long-chain branched polypropylene blends. [online] *Iranian Polymer Journal*, **24**, 715-724 (2015). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13726-015-0357-9>
- [26] Shanks R. A, Tiganis B. E.: *Plastics Additives* z Polymer Science and Technology Series. [online] Dordrecht: Springer, 1998, s. 464-471. Kap. Nucleating agents for thermoplastics. ISBN 978-94-010-6477-4. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-94-011-5862-6_50
- [27] Libster D., Aserin A., Garti N.: Advanced nucleating agents for polypropylene. [online] *Polymers for advanced technologies*, **18**(9), 685-695 (2007). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/pat.970>
- [28] Wypych G.: *Handbook of nucleating agents*. [online] Toronto: ChemTec Publishing, 2016, s. 205-215. Kap. 12. Effect of nucleating agents on physical-mechanical properties. ISBN 978-1-5231-0186-3. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt010VK0Q4/handbook-nucleating-agents/aspect-ratio>
- [29] Wypych G.: *Handbook of Nucleating Agents*. [online] Toronto: ChemTec Publishing, 2016, s. 1-3. Kap. 1. Introduction. ISBN 978-1-5231-0186-3. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt010VJUT6/handbook-nucleating-agents/introduction>
- [30] Wypych G.: *Handbook of Nucleating Agents*. [online] Toronto: ChemTec Publishing, 2016, s. 165-169. Kap. 10.29 Polypropylene. ISBN 978-1-5231-0186-3. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt010VJZ2B/handbook-nucleating-agents/polypropylene>
- [31] Blomenhofer M., Ganzleben S., Hanft D.: “Designer” Nucleating Agents for Polypropylene. [online] *Macromolecules*, **38**(9), 3688-3695 (2005). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/ma0473317>.
- [32] Kang J., Chen Z., Yang F.: Understanding the effects of nucleating agent concentration on the polymorphic behavior of β -nucleated isotactic polypropylene with different melt structures. [online] *Colloid and Polymer Science*, **293**(7), 2061-2073 (2015). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00396-015-3605-9>
- [33] Slobodian P.: *Termická analýza materiálů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 153 s. ISBN 9788074544033.
- [34] http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_06.pdf
- [35] Wypych G.: *Handbook of Nucleating Agents*. [online] Toronto: ChemTec Publishing, 2016, s. 217-223. Kap. 13. Important Analytical Methods Used in the Studies of Nucleating Agents. ISBN 978-1-895198-93-5. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt010VJZ2B/handbook-nucleating-agents/polypropylene>
- [36] L'Hocine Y., Famili A., Shandas R.: *Shape Memory Polymers for Biomedical Applications*. Oxford: Elsevier, 2015, s. 35-63. Kap. 3. Characterization of Shape-Memory Polymers for Biomedical Applications. ISBN 978-0-85709-698-2. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00UR3NI1/shape-memory-polymers/structural-chemical-characterization>

[37] Pionteck J., Wypych G.: *Handbook of Antistatics*. 2. přeprac. vyd. Toronto: ChemTec Publishing, 2016, s. 389-406. Kap. 17. Specialized Analytical Methods in Antistatic Agent Testing. ISBN 978-1-895198-95-9. [cit. 2020-05-12].

Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0110EYX3/handbook-antistatics/identification>

[38] <https://lam.vscht.cz/vyzkum/experimentalni-metodiky/20644#>

[39] Obadal M., Čermák R., Stoklasa K.: Tailoring of three-phase crystalline systems in isotactic poly(propylene). [online] *Macromolecular Rapid Communications*, **26**(15), 1253-1257 (2005). [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/marc.200500272>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PP	polypropylen
L-PP	lineární polypropylen
LCB-PP	polypropylen s dlouhými větvemi
i-PP	izotaktický polypropylen
s-PP	syndiotaktický polypropylen
a-PP	ataktický polypropylen
WAXD	Širokoúhlá rentgenová difrakce
DSC	diferenciální snímací kalorimetrie
T_m [°C]	teplota tání
T_g [°C]	teplota skelného přechodu
ρ [g.cm ⁻³]	hustota
X [%]	krystalinita
I_K	plocha pásů pro krystalickou fázi
I_a	plocha pásů pro amorfni fázi
H	intenzita
K_α	relativní podíl α -fáze
K_β , B	relativní podíl β -fáze
K_γ , G	relativní podíl γ -fáze
hm. %	hmotnostní procento
Endo [-]	endotermní jev (tání)
Exo [-]	exotermní jev (krystalizace)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Chemická struktura propylenu	12
Obrázek 2 Tacticita polypropylenu: a) izotaktický polypropylen, b) syndiotaktický polypropylen c) ataktický polypropylen [13]	13
Obrázek 3 Charakteristická křivka polymeru v DSC [34].....	19
Obrázek 4 Schéma polarizačního mikroskopu Olympus [38].....	20
Obrázek 5 Chemický vzorec NJ Star NU 100	22
Obrázek 6 Difraktogramy směsí L-PP a L-PP-N.....	29
Obrázek 7 Difraktogramy směsí Směs 1 a Směs 1-N.....	29
Obrázek 8 Difraktogramy směsí Směs 2 a Směs 2-N.....	30
Obrázek 9 Difraktogramy směsí Směs 5 a Směs 5-N.....	30
Obrázek 10 Difraktogramy směsí Směs 10 a Směs 10-N.....	31
Obrázek 11 Difraktogramy směsí Směs 20 a Směs 20-N.....	31
Obrázek 12 Difraktogramy směsí Směs 50 a Směs 50-N.....	32
Obrázek 13 Difraktogramy směsí LCB-PP a LCB-PP-N.....	32
Obrázek 14 Difraktogramy směsí bez NU 100.....	33
Obrázek 15 Difraktogramy směsí s NU 100.....	33
Obrázek 16 Závislost obsahu β -fáze na složení směsi.....	34
Obrázek 17 Závislost obsahu γ -fáze na složení směsi.....	34
Obrázek 18 Závislost krystalinity na složení směsi.....	35
Obrázek 19 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsí L-PP a L-PP-N.....	36
Obrázek 20 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsí 1 a 1-N	37
Obrázek 21 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsí 2 a 2-N	37
Obrázek 22 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsí 5 a 5-N	38
Obrázek 23 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsí 10 a 10-N	38
Obrázek 24 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsí 20 a 20-N	39
Obrázek 25 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsí 50 a 50-N	39
Obrázek 26 Srovnávání křivek teplot druhého tání DSC směsí LCB-PP a LCB-PP-N	40
Obrázek 27 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsí L-PP a L-PP-N.....	40
Obrázek 28 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsí 1 a 1-N	41
Obrázek 29 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsí 2 a 2-N	41
Obrázek 30 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsí 5 a 5-N	42
Obrázek 31 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsí 10 a 10-N	42
Obrázek 32 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsí 20 a 20-N	43
Obrázek 33 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsí 50 a 50-N	43

Obrázek 34 Srovnání křivek teplot krystalizace DSC směsi LCB-PP a LCB-PP-N	44
Obrázek 35 Srovnání morfologie směsí L-PP a L-PP-N	45
Obrázek 36 Srovnání morfologie směsí Směs 1 a Směs 1-N	45
Obrázek 37 Srovnání morfologie směsí Směs 2 a Směs 2-N	46
Obrázek 38 Srovnání morfologie směsí Směs 5 a Směs 5-N	46
Obrázek 39 Srovnání morfologie směsí Směs 10 a Směs 10-N	46
Obrázek 40 Srovnání morfologie směsí Směs 20 a Směs 20-N	47
Obrázek 41 Srovnání morfologie směsí Směs 50 a Směs 50-N	47
Obrázek 42 Srovnání morfologie směsí LCB-PP a LCB-PP-N	47

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Srovnání vlastností jednotlivých forem polypropylenu.....	14
Tabulka 2 Složení předsměsi s hm. % β -nukleačního činidla v L-PP	23
Tabulka 3 Složení směsi bez nukleačního činidla	23
Tabulka 4 Složení směsi s nukleačním činidlem (koncentrace 0,03 hm. % nukleačního činidla ve směsích – výpočet z 1% předsměsi).....	23
Tabulka 5 Složení směsi LCB-PP-N	24
Tabulka 6 Srovnání teplot tání a teplot krystalizace získaných pomocí DSC	44

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: materiálový list Borclean HC310BF

PRODUCT DATA SHEET

02.03.2017 Ed.1

Polypropylene Borclean™ HC310BF

Description

Borclean HC310BF - is a high crystallinity homopolymer film resin.

Applications

Borclean HC310BF is recommended for:

BOPP Dielectrical film for capacitors

Metallisable film

Additives

Borclean HC310BF does not contain slip or antiblock additives.

Special Features

Borclean HC310BF is optimised to deliver:

Super high purity
Improved high thermal stability
Low dissipation factor
Good stiffness

Easy surface roughness control
Outstanding processability
Metallisable
Very low ash content

Physical Properties

Property	Typical Value	Test Method
<small>Data should not be used for specification work</small>		
Melt Flow Rate (230 °C/2,16 kg)	3,3 g/10min	ISO 1133
Catalyst residues Titanium (ICP)	<3 ppm	Borealis Method
Catalyst residues Aluminium (ICP)	<3 ppm	Borealis Method
Catalyst residues Chloride (XRF)	<3 ppm	Borealis Method
Total ash content	<20 ppm	ISO 3451-1
Molecular weight distribution	Broad	

Electrical Properties

Property	Typical Value	Test Method
<small>Data should not be used for specification work</small>		
Dielectric constant	2,25	IEC 60250

Borclean is a trademark of the Borealis group. Borclean is a trademark of the Borealis group.

Borealis AG | Wagramer Strasse 17-19 | 1220 Vienna | Austria
Telephone +43 1 224 00 0 | Fax +43 1 22 400 333
FN 269958a | CCC Commercial Court of Vienna | Website www.borealisgroup.com



**Polypropylene**
Borclean HC310BF**Storage**

Borclean HC310BF has a minimum shelf life of 18 months from production date if stored in unopened original packages, under dry and clean conditions and protected from UV light.

Recommended storage time at customer's should not exceed 6 months.
Improper storage can initiate degradation, which results in odour generation and colour changes and can have negative effects on the physical properties of this product.

Safety

The product is not classified as dangerous.

Please see our "Safety data sheet" / "Product safety information sheet" for details on various aspects of safety, recovery and disposal of the product. For more information, contact your Borealis representative.

Recycling

The product is suitable for recycling using modern methods of shredding and cleaning. In-house production waste should be kept clean to facilitate direct recycling.

Related Documents

The following related documents are available on request, and represent various aspects on the usability, safety, recovery and disposal of the product.

"Safety data sheet" / "Product safety information sheet"
Statement on compliance to food contact regulations
Statement on chemicals, regulations and standards

 **Polypropylene**
Borclean HC310BF

Disclaimer

The product(s) mentioned herein are not intended to be used for medical, pharmaceutical or healthcare applications and we do not support their use for such applications.

To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate and reliable as of the date of publication; however we do not assume any liability whatsoever for the accuracy and completeness of such information.

Borealis makes no warranties which extend beyond the description contained herein. Nothing herein shall constitute any warranty of merchantability or fitness for a particular purpose.

It is the customer's responsibility to inspect and test our products in order to satisfy itself as to the suitability of the products for the customer's particular purpose. The customer is responsible for the appropriate, safe and legal use, processing and handling of our products.

No liability can be accepted in respect of the use of any Borealis product in conjunction with any other products and/or materials. The information contained herein relates exclusively to our products when not used in conjunction with any other material unless as specifically provided for in the test methods stated above.

Příloha P II: materiálový list Daploy WB140HMS

PRODUCT DATA SHEET

17.09.2019 Ed.2

Polypropylene Daploy™ WB140HMS

Description

Daploy WB140HMS is a structurally isomeric modified propylene homopolymer. It is a long chain branched homopolymer

Applications

Daploy WB140HMS is recommended for:

Foamed application in automotive, food packaging or other foamed sheet converting technologies.

Special Features

Daploy WB140HMS is optimised to deliver:

High stiffness
High service temperature
Excellent processability

Foamability in foam extrusion processes
Good insulation properties of foamed materials
Good thermal and acoustic insulation properties

Physical Properties

Property	Typical Value	Test Method
	<small>Data should not be used for specification work</small>	
Melt Flow Rate (230 °C/2,16 kg)	2,1 g/10min	ISO 1133
Tensile Modulus	2.000 MPa	ISO 527-2

Application Related Properties

Property	Typical Value	Test Method
	<small>Data should not be used for specification work</small>	
Melt strength	36 c N	Borealis Method
Melt Extensibility	230 mm/sec	Borealis Method

Storage

Daploy WB140HMS should be stored in dry conditions at temperatures below 50°C and protected from UV-light. Improper storage can initiate degradation, which results in odour generation and colour changes and can have negative effects on the physical properties of this product.

Safety

The product is not classified as dangerous.

Please see our "Safety data sheet" / "Product safety information sheet" for details on various aspects of safety, recovery and disposal of the product. For more information, contact your Borealis representative.

Daploy is a trademark of the Borealis group.

Borealis AG | Wagramer Strasse 17-19 | 1220 Vienna | Austria
Telephone +43 1 224 00 0 | Fax +43 1 22 400 333
FN 260858a | CCC Commercial Court of Vienna | Website www.borealisgroup.com



**Polypropylene**
Daploy WB140HMS**Recycling**

The product is suitable for recycling using modern methods of shredding and cleaning. In-house production waste should be kept clean to facilitate direct recycling.

Related Documents

The following related documents are available on request, and represent various aspects on the usability, safety, recovery and disposal of the product.

"Safety data sheet" / "Product safety information sheet"
Statement on chemicals, regulations and standards
General statement on compliance to food contact regulations
Statement on Origin of Raw Materials

Disclaimer

The product(s) mentioned herein are not intended to be used for medical, pharmaceutical or healthcare applications and we do not support their use for such applications.

To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate and reliable as of the date of publication; however we do not assume any liability whatsoever for the accuracy and completeness of such information.

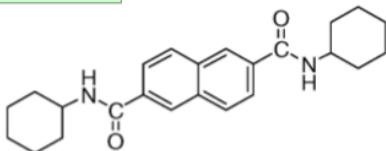
Borealis makes no warranties which extend beyond the description contained herein. Nothing herein shall constitute any warranty of merchantability or fitness for a particular purpose.

It is the customer's responsibility to inspect and test our products in order to satisfy itself as to the suitability of the products for the customer's particular purpose. The customer is responsible for the appropriate, safe and legal use, processing and handling of our products.

No liability can be accepted in respect of the use of any Borealis product in conjunction with any other products and/or materials. The information contained herein relates exclusively to our products when not used in conjunction with any other material unless as specifically provided for in the test methods stated above.

Příloha P III: materiálový list NJ Star NU 100



Product name	NJSTAR NU-100		
Chemical name	N,N'-dicyclohexyl-2,6-naphthalene dicarboxamide		
Molecular formula (molecular weight)	C ₂₄ H ₃₀ N ₂ O ₂ (378)	Structural formula	
ENCS No.	4 - 1799		
CAS No	153250-52-3		
EINECS No.	430-540-6		
TSCA	PMN approved		
PL, FDA, EFSA	Registered		
Applications	β crystal nucleating agent for polypropylene/Nucleating agent for synthetic resins		
Feature/Function	This completely new nucleating agent, originally developed by our company, changes the crystalline form of PP resins. It exerts great effects for improvement of secondary processability and enhancement of shock resistance and heat resistance by lowering the melting point of PP resins, and therefore it can be used for various applications including injection molding and extrusion molding.		
Representative properties			
Appearance, shape, etc.	White/Powder solid	Melting point (°C)	380 - 390
Water content (%)	Less than 1%		
Package form	10 kg paper bag		
For inquiries, contact us:			

<About handling of the descriptions herein>

Descriptions herein were created based on materials, information, and data that have been obtained to date, but the data, evaluations, risks, etc. described are not warranted at all. In addition, the items described are intended for usual ways of handling, and therefore if the product is handled in a special manner, handle it after taking a safety measure appropriate for the application or usage.