

Vliv polymerních příměsí na strukturu isotaktického polybutenu - 1

Bc. Marek Richter

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek Richter**
Osobní číslo: **T22661**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Vliv polymerních příměsí na strukturu isotaktického polybutenu – 1**

Zásady pro vypracování

- 1 Zpracujte literární rešerši na dané téma
- 2 Připravte vzorky směsí iPB-1 a vybraných polymerů
- 3 Vyšetřete strukturu výsledných směsí a rychlost fázového přechodu iPB-1 z II na I pomocí rtg difrakce
- 4 Vyhodnotte zjištěné skutečnosti a porovnejte

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

Seznam doporučené literatury:

1. GEIL, Phillip. Polymer Single Crystals. 2. Geneva: Interscience Publishers, 1963. ISBN 9780882750880.
2. KASZONYIOVÁ, M., F. RYBNÍKÁŘ, L. LAPČÍK a J. VILČÁKOVÁ. The effect of long-term natural aging on the iPB-1 structure and the II – I phase transformation rate. Polymer Degradation and Stability 2021, 183
3. KASZONYIOVÁ, M. a F. RYBNÍKÁŘ. The Effect of Some Physical Factors on the II↔I Phase Transition of Isotactic Polybutene-1. Journal of Macromolecular Science, Part B [online]. 2019, 58(8), 689-721

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Martina Hřibová, Ph.D.**
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

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

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 27. února 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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 – diplomovou 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 diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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 diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vlivem polymerních příměsí na strukturu isotaktického polybutenu-1 (i-PB-1). Konkrétně byly sledovány hodnoty poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$, typu fázové transformace (M, N, P), indukční perioda IP, podíl krystalické K a amorfni A fáze. Cílem práce bylo zjistit, zda použité příměsi pozitivně ovlivnily poločas fázové transformace, který je v praxi snaha snížit.

Bylo experimentálně ověřeno, že čistě pozitivně ovlivnily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ příměsi PE, HDPE, LDPE, LLDPE, PA 6, PA 6.6, ABS, a-PS, PVC – powder, PVC – folie, PVA, DP 8510, PS, PMMA, PVB, TPE, NR a Parafín. Je předpokládáno, že hlavní vliv na snížení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ má vyšší segmentální pohyblivost i-PB-1.

Klíčová slova: RTG difrakční analýza, isotaktický polybuten-1 (i-PB-1), poločas fázové transformace, podíl krystalické a amorfni fáze, vliv příměsí, morfologie, segmentální pohyblivost i-PB-1

ABSTRACT

This thesis deals with the influence of polymeric admixtures on the structure of isotactic polybutene-1 (i-PB-1). Specifically, the values of the phase transformation half-life $r_{II \rightarrow I}$, the type of phase transformation (M, N, P), the induction period IP, and the proportion of crystalline K and amorphous A phases were investigated. The aim of this work was to determine whether the used additives positively affected the phase transformation half-life, which in practice is sought to be reduced as much as possible.

It has been experimentally verified that PE, HDPE, LDPE, LLDPE, PA 6, PA 6.6, ABS, a-PS, PVC-powder, PVC-foil, PVA, DP 8510, PS, PMMA, PVB, TPE, NR and Parafin had a positive effect on the $r_{II \rightarrow I}$ value. It is hypothesized that the main effect on the reduction of $r_{II \rightarrow I}$ is due to the higher segmental mobility of i-PB-1.

Keywords: X-ray diffraction analysis, isotactic polybutene-1 (i-PB-1), phase transformation half-life, proportion of crystalline and amorphous phase, influence of additives, morphology, segment mobility of i-PB-1

Zde je místo pro případné poděkování, popř. motto, úryvky knih atp.

Rád bych poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Martině Hřibové, Ph. D za její cenné rady, aktivní konzultace při hodnocení a zpracování praktické části a ochotu poskytnout odbornou pomoc. Další poděkování patří Ing. Martinu Mrňákovi za pomoc při přípravě a měření zkoumaných vzorků.

Také bych rád poděkoval rodičům, kteří mě i přes všechny problémy během studia nepřestali pomáhat a vynaložili pro to velké úsilí.

„Nesmíme se podvolit pochybnostem naší mysli. Pokud to uděláme, zradíme sami sebe.“

„Nebojte se selhání. Strachujte se o tu šanci, která vám uteče, když to nezkusíte.“ – Jack Canfield

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 PLASTY	12
1.1.1 Termoplasty.....	12
1.1.2 Reaktoplasty.....	14
1.2 ELASTOMERY	14
1.2.1 Termoplastické elastomery	15
1.2.2 Přírodní kaučuky	15
1.2.3 Vulkanizace.....	16
2 MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA POLYMERŮ	17
2.1 KONSTITUCE	19
2.2 KONFIGURACE.....	19
2.2.1 Takticita polymerů	19
2.2.2 Izotaktické uspořádání	19
2.2.3 Syndiotaktické uspořádání	20
2.2.4 Ataktické uspořádání.....	20
2.3 KONFORMACE	20
3 MORFOLOGIE POLYMERŮ	22
3.1 KRYSTALICKÉ A SEMIKRYSTALICKÉ POLYMERY	22
3.1.1 Krystalizace.....	22
3.1.2 Polymorfismus	23
3.1.3 Nukleace.....	24
3.1.4 Růst krystalů.....	24
3.2 AMORFNÍ POLYMERY	25
3.2.1 Sklovitý stav.....	26
3.2.2 Kaučukovitý stav.....	26
3.2.3 Oblast tečení.....	26
4 ISOTAKTICKÝ POLYBUTYLEN – 1	28
4.1 VLASTNOSTI.....	28
4.2 POLYMORFISMUS I-PB-1	29
4.3 FÁZOVÉ TRANSFORMACE I-PB-1 Z II → I.....	31
4.3.1 Zárodek typu M.....	31
4.3.2 Zárodek typu N	31
4.3.3 Zárodek typu P	32
5 RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA	33
5.2 RTG ZÁŘENÍ	34

5.3	RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA.....	36
5.3.1	Princip	36
5.4	ZDROJ RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ	37
5.4.1	Rentgenka.....	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	39
6	ZKOUMANÝ MATERIÁL.....	40
6.1	VLASTNOSTI PB 110 M.....	40
7	POUŽITÉ PŘÍMĚSI.....	41
7.1	POLYETHYLEN (PE)	41
7.2	NÍZKOHUSTOTNÍ POLYETHYLEN (LDPE)	41
7.3	VYSOKOHUSTOTNÍ POLYETHYLEN (HDPE).....	41
7.4	LINEÁRNÍ NÍZKOHUSTOTNÍ POLYETHYLEN (LLDPE)	42
7.5	POLYETHYLENTEREFTALÁT (PET).....	42
7.6	POLYOXYMETHYLEN (POM).....	42
7.7	POLYVINYLCHLORID (PVC).....	42
7.8	POLYMETHYL METAKRYLÁT (PMMA).....	43
7.9	DP 8510	43
7.10	ISOTAKTICKÝ POLYPROPYLEN (I-PP).....	43
7.11	ATAKTICKÝ POLYPROPYLEN (A-PP).....	44
7.12	STYREN AKRYLONITRIL (SAN)	44
7.13	AKRYLONITRIL BUTADIEN STYREN (ABS)	44
7.14	POLYSTYREN (PS).....	44
7.15	ATAKTICKÝ POLYSTYREN (A-PS).....	45
7.16	POLYAMID 6 (PA 6).....	45
7.17	POLYAMID 6.6 (PA 6.6).....	45
7.18	KYSELINA POLYMLÉČNÁ (PLA)	45
7.19	SURLYN 9910	46
7.20	ACETÁT CELULÓZY (CA)	46
7.21	POLYVINYLACETÁT (PVA)	46
7.22	ETHYLENVINYLCETÁT (EVA).....	46
7.23	ETHYLENOKTEN (EO)	47
7.24	ETHYLENPROPYLEN (EP)	47
7.25	TERMOPLASTICKÝ ELASTOMER (TPE).....	47
7.26	PŘÍRODNÍ KAUČUK (NR)	48
7.27	ETHYLEN PROPYLEN MONOMER (EPM).....	48

7.28	PARAFÍN.....	48
7.29	ETHYLEN BIS STERAMID (EBS)	48
7.30	POLYVINYL BUTYRAL (PVB)	49
8	PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	50
8.1	NAVÁŽKA VZORKŮ.....	50
8.2	MÍCHÁNÍ VZORKŮ (PB 110M + PŘÍMĚSI)	50
8.3	LISOVÁNÍ VZORKŮ	50
9	MĚŘENÍ VZORKŮ	52
9.1	RENTGENOVÁ ANALÝZA – (RTG DIFRAKCE).....	52
9.2	RTG ANALÝZA – VYHODNOCENÍ DAT	52
10	VÝSLEDKY Z PROVEDENÝCH ANALÝZ.....	54
10.1	VÝSLEDKY REFERENČNÍHO VZORKU (PB 110M – BEZ PŘÍMĚSI).....	54
10.2	VÝSLEDKY VZORKŮ OBSAHUJÍCÍ PŘÍMĚSI.....	54
11	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ REF. VZORKU S VÝSLEDKY VZORKŮ OBSAHUJÍCÍCH PŘÍMĚSI	58
11.1	VZORKY S TERMOPLASTICKÝMI PŘÍMĚSEMI	58
11.1.1	Příměsi PE, LDPE, HDPE, LLDPE, DP 8510	58
11.1.2	Příměsi SAN, ABS, PS, a-PS.....	59
11.1.3	Příměsi PA 6, PA 6.6	60
11.1.4	Příměsi PET, PLA, PVA, CA, PVB.....	61
11.1.5	Příměsi Surllyn 9910, POM, PMMA, PVC folie / powder.....	62
11.1.6	Příměsi i-PP, a-PP	63
11.2	VZORKY S ELASTOMERNÍMI A TERMOPLASTICKY ELASTOMERNÍMI PŘÍMĚSEMI.....	64
11.2.1	Příměsi EO, EP, EVA	64
11.2.2	Příměsi TPE, NR, EPM.....	65
11.3	VZORKY S NEZAŘAZENÝMI PŘÍMĚSEMI.....	66
11.3.1	Příměsi Parafín, EBS.....	66
12	DISKUZE VÝSLEDKŮ	67
13	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S DALŠÍMI VÝZKUMY	70
	ZÁVĚR	73
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	75
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	89
	SEZNAM OBRÁZKŮ	92
	SEZNAM TABULEK.....	94
	SEZNAM PŘÍLOH.....	95

ÚVOD

V současné době je produkce plastů stále vyšší. Plasty svými vlastnostmi dokážou nahradit tradiční materiály jako je dřevo, ocel, keramika nebo sklo. Běžně se tak můžeme setkat s plasty v každodenním životě. Svoji oblíbenost si vydobily především svojí v celku malou pořizovací cenou a jednoduchostí zpracování běžnými konvenčními technologiemi pro zpracování plastů.

Zkoumaným materiálem v této diplomové práci je isotaktický polybuten – 1 (i-PB-1), který patří do skupiny polyolefinů. Tento materiál je zajímavý svojí vlastností, kdy může existovat až v pěti odlišných strukturních fázích. V praxi je však používán pouze ve formě stabilní fáze I. Tuto formu lze dosáhnout přirozeným stárnutím materiálu z nestabilní fáze II na stabilní fázi I. V průmyslu se tento přechod snižuje pomocí mechanických účinků, jako je tah, tlak nebo ohyb.

Cílem této diplomové práce bylo navázat na moji bakalářskou práci, kde bylo cílem měřit pomocí RTG difrakční analýzy a DSC analýzy vliv 1 % příměsí na teplotní charakteristiky isotaktického polybutenu-1. V diplomové práci bylo navázáno na RTG difrakční analýzu, kdy je sledován vliv polymerních příměsí s dalšími koncentracemi na strukturu i-PB-1. Mezi hlavní sledované hodnoty patřil poločas fázové transformace r II \rightarrow I, typ fázové transformace (M, N, P), indukční perioda IP, podíl krystalické K a amorfni A fáze. Data byla v závěru porovnána s dalšími výzkumy a vyhodnocena.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Jedná se o velmi „mladou“ skupinu materiálů, které se začaly průmyslově používat teprve před 80 lety. Polymery jsou tvořeny molekulami (makromolekuly). V těchto molekulách se několikrát opakuje základní stavební jednotka mer. [1]

Polymery lze rozdělit do dvou základních skupin. První skupina se nazývá plasty (převážně syntetického původu) a druhá elastomery (převážně přírodního původu). [2]

Syntetické polymery jsou považovány za jednu z nejvýznamnějších inovací minulého století. Od svého uvedení na trh začaly rychle nahrazovat tradiční materiály (kovy, sklo, dřevo) v nejrůznějších aplikacích. Dnes jsou již plasty nedílnou součástí každodenního života. Hlavní výhodou těchto makromolekul jsou nízké náklady, vynikající tepelně – mechanické vlastnosti, zvýšená chemická odolnost a široká všestrannost. Konečné vlastnosti a charakteristiky všech polymerů souvisejí s několika faktory (např. uspořádání monomerů). Pro usnadnění přehledu různých typů polymerů byly rozděleny do několika základních skupin a funkčních podkategorií, které jsou klasifikovány podle původu, tepelných vlastností, mechanických vlastností a použití. [3]

1.1 Plasty

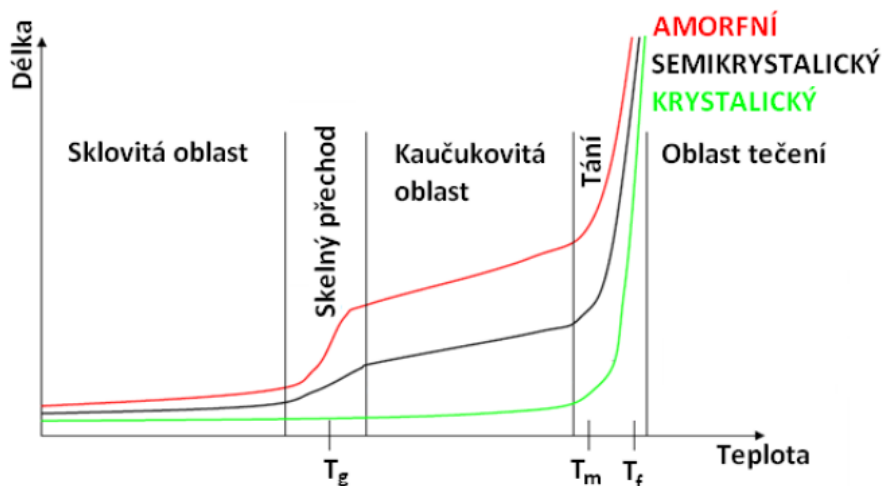
Jde o materiály skládající se převážně ze syntetických nebo polosyntetických polymerů, které získáváme např. z fosilních paliv. Za pokojové teploty se většina těchto materiálů vyskytuje v tuhém a křehkém stavu. Oproti elastomerům mají výrazně nižší pevnost v tahu. Vnější namáhání tak způsobuje plastické (trvalé) deformace. [2,3]

Tyto materiály se používají k výrobě běžně používaných předmětů a obsahují další složky, jako jsou barviva, maziva, plniva, stabilizátory apod. Přidáním těchto aditiv má za následek úpravu některých vlastností a charakteristik. Přísady mohou například měnit tepelné nebo mechanické vlastnosti. Tato skupina se dále dělí na termoplasty a reaktoplasty. [3]

1.1.1 Termoplasty

Mezi jejich nejvýznamnější vlastnosti patří tepelné chování. Díky této vlastnosti lze určit jejich použitelnost, recyklovatelnost a zpracovatelnost. Termoplasty po zahřátí tají nebo měknou a při ochlazení tuhnou. Mohou být opakovaně roztaveny a reformovány (určitý počet cyklů, postupně dochází k tepelné degradaci), aniž by došlo k chemické reakci. [3]

Podle skupiny, do které termoplast patří, tak mluvíme o teplotě tání (T_m) nebo teplotě tečení (T_f), kdy T_m je používána pro skupinu semikrystalických termoplastů a T_f pro skupinu amorfních termoplastů. Tyto materiály pak lze jednoduše tvářet různými technologiemi pro zpracování plastických materiálů [2]



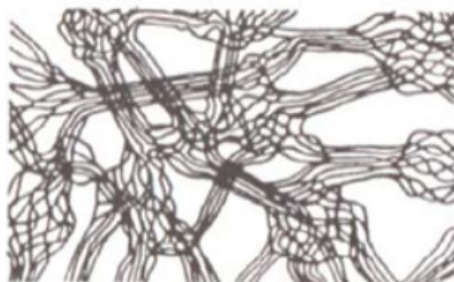
Obrázek 1 - Graf průběhu deformace v závislosti na teplotě amorfního a semikrystalického polymeru [4]

- Amorfní termoplasty mají neuspořádanou strukturu (klubka) a jsou čiré. Do této skupiny patří například polymethyl-metakrylát (PMMA) nebo polykarbonát (PC). [3]



Obrázek 2 – Uspořádání makromolekul amorfních termoplastů [5]

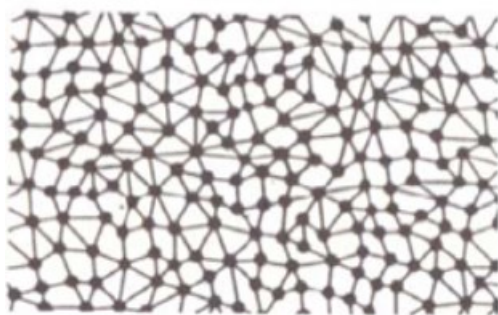
- Semikrystalické termoplasty mají uspořádanou strukturu (lamely) a jsou mléčně zakalené. Do této skupiny patří například polyethylen (PE) nebo polypropylen (PP). [3]



Obrázek 3 – Uspořádání makromolekul semikrystalických termoplastů [5]

1.1.2 Reaktoplasty

Tyto materiály jsou tavitelné a tvarovatelné pouze po určitý časový úsek při zahřátí. Při dalším ohřevu dochází k chemické reakci, kdy původní molekuly sesítují, a vznikne tak sesíťovaná struktura. Tento proces se nazývá vytvrzování, a materiál je tak znovu netavitelný a nerozpustný. Reaktoplasty mají pouze amorfni strukturu. [2,6].



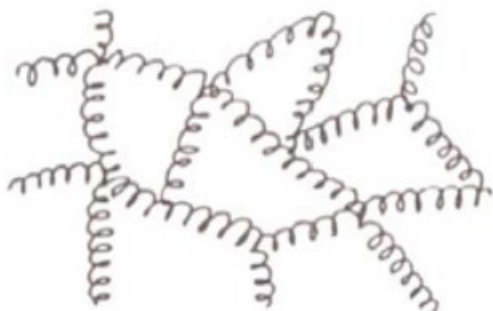
Obrázek 4 – Uspořádání makromolekul reaktoplastů [5]

Oproti termoplastům mají vysokou chemickou a tepelnou odolnost, pevnost, tvrdost a tuhost. Před vytvrzením je materiál v kašovitém skupenství nebo je uchován jako pryskyřice. [2]

Patří sem například epoxidová pryskyřice (EP), polyesterová pryskyřice (UP) nebo fenol-formaldehydová pryskyřice (PF). [2,6]

1.2 Elastomery

Za běžných podmínek jsou lehce deformovatelné již při působení malých sil. Tato deformace je převážně elastická, a je tedy vratná. Jde tedy o vysoce pružné (elastické) materiály s velmi nízkou tuhostí. Elastomery mají dlouhé polymerní řetězce, které jsou drženy pohromadě slabými mezimolekulárními silami, což má za následek jejich pružnost, leplivost a vysoké procento prodloužení při napětí. Většina těchto polymerů má díky nízkému stupni příčných vazeb amorfni strukturu. Díky příčným vazbám si elastomer zachovává svůj původní tvar a tuhost. Tato skupina se dále dělí na přírodní kaučuky a termoplastické elastomery [7,8]



Obrázek 5 – Uspořádání makromolekul elastomerů [5]

1.2.1 Termoplastické elastomery

Vlastnostmi se velmi podobají pryžím. Jejich struktura je zesíťovaná a skládá ze dvou hlavních částí. Měkká část obsahující elastomery a tvrdá část obsahující termoplasty. [9]

Narozdíl od pryží, termoplastické elastomery (TPE) při zahřátí přecházejí do plastického stavu jako termoplasty díky segmentům tvrdé části obsahující již zmíněné termoplasty. Díky tomu je možné TPE zpracovat stejnými technologiemi jako běžné termoplasty. [8,9]

Hlavní rozdíl mezi kaučuky a TPE je dán vlastnostmi uzlů sítě. Pryž má (po vulkanizaci) strukturu chemického charakteru, zatímco TPE fyzikálního charakteru. [9]



Obrázek 6 – Výrobky z TPE [2]

1.2.2 Přírodní kaučuky

Přírodní kaučuk (NR) se používá již od roku 1600 př. n. l. Vyrábí se z mléčně bílé tekutiny zvané latex, která je získávána z některých rostlin nebo stromů. Přes 99 % latexu pro výrobu kaučuku je získáváno ze stromu *Hevea brasiliensis* (kaučukovník). [10]

Surový přírodní kaučuk je měkký, snadno deformovatelný a za studena křehký a tuhý. V neupraveném stavu je náchylný k působení chemikálií, tepla, světla a časem degraduje. Přírodní kaučuk se tak míchá s dalšími složkami pro eliminaci těchto omezení. Do kaučuku jsou přidávány inhibitory, aktivátory, retardéry, plniva, změkčovadla, urychlovače apod. [11,12]

Kaučuky se upravují pomocí procesu vulkanizace a tímto postupem je získávána pryž, která je vysoce pružná a odolná vůči trvalé deformaci. [12]



Obrázek 7 – Výrobky z pryže [2]

1.2.3 Vulkanizace

Jde o nevratný proces pomocí mechanického tlaku (dvouválce) a teploty (nejčastěji 140–160 °C). Při vulkanizaci se používají chemická činidla (nejčastěji síra), která vytvářejí silné chemické vazby mezi vzájemně propletenými polymery některých kaučuků. Výsledkem této chemické přeměny je zesíťovaná struktura, která má lepší mechanické vlastnosti než výchozí materiál. Při procesu vulkanizace se používají také další chemické látky jako urychlovače, aktivátory urychlovačů, rezistory, antidegradanty apod. [11,12]

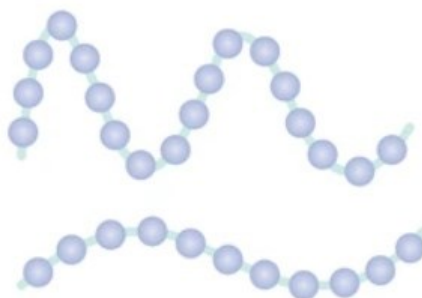
Tabulka 1 – Vybrané vlastnosti skupin polymerů [2,8,10]

Druh polymeru	typ řetězců	vlastnosti
Termoplast	lineární a rozvětvené	dobrá tvárnost a tavitelnost, recyklovatelný, za běžných podmínek tuhý, houževnatý nebo křehký
Reaktoplast	zesíťované	netavitelný, nelze recyklovat, za běžných podmínek tvrdý a křehký
Elastomer	řídce zesíťované	netavitelný, nelze recyklovat, za běžných podmínek elastický a měkký

2 MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA POLYMERŮ

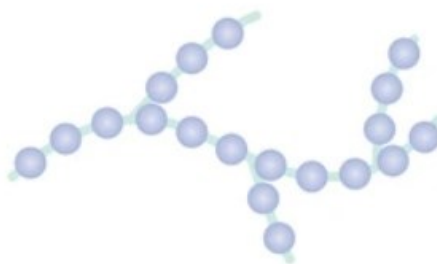
Všechny vlastnosti polymerů souvisejí také s kosterní strukturou polymerních řetězců. Na základě jejich molekulární struktury lze rozlišit čtyři možné typy polymerů, a to lineární, rozvětvené, síťované a síťové polymery. [3]

- **Lineární polymery** – Obsahují dlouhé řetězce, které jsou drženy pohromadě slabší Van der Waalsovou nebo vodíkovou vazbou. Vzhledem k tomu, že tyto typy vazeb lze relativně jednoduše přerušit působením tepla, jsou lineární polymery obvykle termoplastické. Teplou přerušuje vazby mezi řetězci, a umožní tak řetězcům protékat kolem sebe, což umožní materiál tvářet. Po ochlazení se vazby mezi řetězci obnoví (polymer ztuhne). [3,13]



Obrázek 8 – Lineární řetězce polymerů [13]

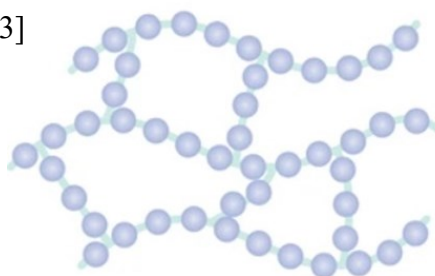
- **Rozvětvené polymery** – Jsou velmi podobné lineárním s tím, že na základní řetězec jsou kovalentně připojeny postranní kratší řetězce, které zhoršují jejich pohyblivost a jsou spojeny slabými mezimolekulárními silami. Tato třída polymerů se vyznačuje schopností tát nebo měknout při zahřívání, ale při porovnání s lineárními polymery se rozvětvené polymery obvykle vyznačují nižší hustotou, stupněm krystalinity a teplotou tání. Přítomnost bočních řetězců má také za následek snižování mezimolekulárních sil, zhoršení mechanických vlastností, tvrdosti a modulu pružnosti a zvyšování meziretězcových vzdáleností. [3,13]



Obrázek 9 – Rozvětvené řetězce polymerů [13]

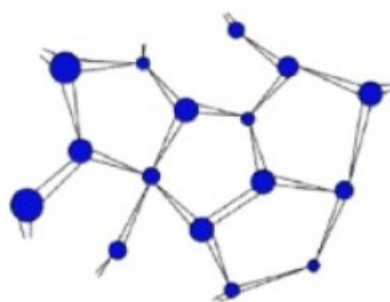
- **Zesíťované polymery** – Tvarem struktura připomíná žebříky. Základní řetězce jsou spojené na různých místech příčnými chemickými vazbami. Na rozdíl od lineárních polymerů, které drží pohromadě Van der Waalsovy síly, jsou zesíťované polymery vázány kovalentní vazbou. Síťování může vznikat buď během syntézy, nebo se vytváří nevratnou chemickou reakcí (např. proces vulkanizace). [3,13]

Sesíťováním se výrazně omezí pohyblivost makromolekul jako celku. To má za následek ztrátu rozpustnosti, tavitelnosti, zhoršení houževnatosti a nemožnost recyklace (nebo velmi nákladné). Výrazně se však zvýší jejich tvrdost, chemická a teplotní odolnost. [13]



Obrázek 10 – Zesíťované řetězce polymerů [13]

- **Síťové polymery** – Síťové polymery (nebo také vysoce zesíťované polymery) se skládají ze složitých trojrozměrných struktur, ve kterých jsou třemi nebo více kovalentními vazbami propojeny multifunkční monomery. Při zahřívání nemohou měknout, aniž by se narušila jejich strukturní integrita. [3]



Obrázek 11 – Vysoce zesíťované polymery [3]

Strukturu polymerů lze charakterizovat podle chemického nebo fyzikálního hlediska. Chemická struktura určuje základní vlastnosti polymerů, jako jsou mechanické, tepelné, elektrické nebo chemické vlastnosti. Chemická struktura je závislá na konfiguraci a konstituci. [1,3]

Fyzikální struktura je závislá na konformaci, nadmolekulární struktuře, krystalinitě a orientaci [1]

2.1 Konstituce

Vyjadřuje typ a uspořádání molekulových struktur výsledného polymeru. Je dána chemickým složením monomerů a způsobem zapojení monomerních jednotek do polymeru, fixována kovalentními vazbami. [14]

2.2 Konfigurace

Jde o mikrostrukturu polymerů charakterizující prostorové uspořádání atomů a substituentů v makromolekulách. Z chemického hlediska je takové uspořádání trvalé a nelze ho změnit bez přerušení chemických vazeb. V závislosti na monomerech a reakčních podmínkách mohou vznikat různé struktury polymerů. [15,16]

Při procesu polymerace nedochází vždy k pravidelnému uspořádání makromolekul ve struktuře. Tyto struktury se pak od sebe liší vzájemným uspořádáním substituentů v prostoru. [15,16]

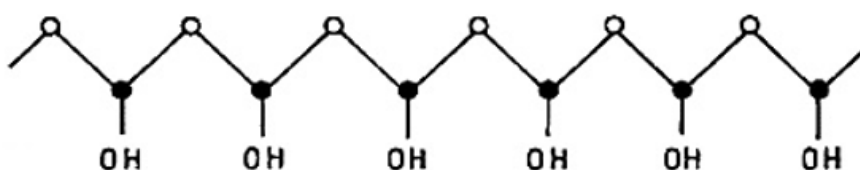
2.2.1 Tacticita polymerů

Označuje způsob, jakým jsou přivěsné skupiny uspořádány podél uhlovodíkového (páteřního) řetězce. Ve skutečnosti nejsou uhlíkové řetězce dlouhé, ležící na povrchu a jsou ploché, ale jsou trojrozměrné s atomy vyčnívajícími z roviny. Přivěsné skupiny mohou být nejen na opačné straně uhlovodíkového řetězce, ale také mohou být v různé prostorové orientaci. [17,19]

Tyto uspořádání definují takticitu polymerů, které je tedy důležitým faktorem, protože ovlivňuje jeho fyzikální a chemické vlastnosti. U polymerů existují tři typy konfigurací takticity. [17,19]

2.2.2 Izotaktické uspořádání

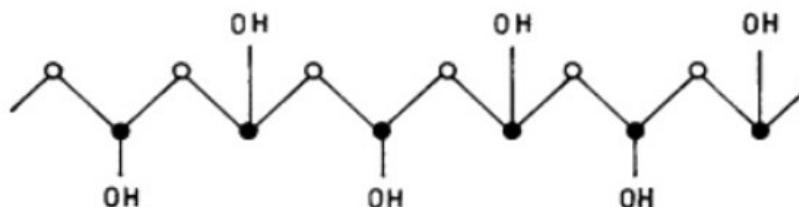
Polymery, které mají všechny přivěsné skupiny (substituenty) umístěné na stejné straně uhlovodíkového (páteřního) řetězce, nazýváme izotaktické polymery. Tyto mají často semikrystalickou strukturu. [18,19]



Obrázek 12 – Izotaktická konfigurace [17]

2.2.3 Syndiotaktické uspořádání

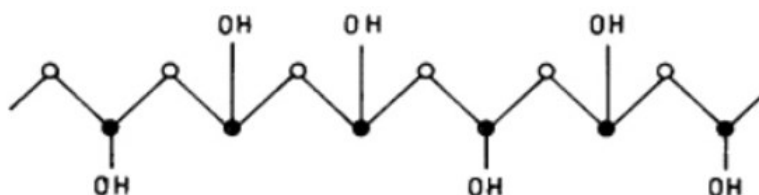
Polymer, ve kterém se substituenty pravidelně střídají podél uhlovodíkového páteřního řetězce, je syndiotaktický polymer. Syndiotaktické polymery vytvářejí nejužší krystalické struktury ze všech druhů konfigurací. [18]



Obrázek 13 – Syndiotaktická konfigurace [17]

2.2.4 Ataktické uspořádání

Substituenty tohoto typu polymeru jsou uspořádány náhodně podél uhlovodíkové páteře. [18]



Obrázek 14 – Ataktická konfigurace [17]

2.3 Konformace

Konformace polymeru charakterizuje prostorovou konfiguraci atomů nebo atomových skupin pro danou pevnou konektivitu. Větší část polymerů má schopnost zaujímat různé konformace z rotačního stupně volnosti kolem jednotlivých chemických vazeb spojujících atomy páteře. [20]

Při studiu fyziky polymerů je konformace polymerů jeden z nejdůležitějších pojmů, protože jde o molekulární základ, podle kterého se zakládají veškeré fyzikální vlastnosti polymerů. Všechny významné vlastnosti makromolekul, jako je jejich reaktivita, velký prostorový rozsah nebo provázanost, mají kořeny v konformaci řetězce, nebo jsou konformací výrazně ovlivněny. [20]

Konformace probíhá jak v amorfním, tak krystalickém stavu:

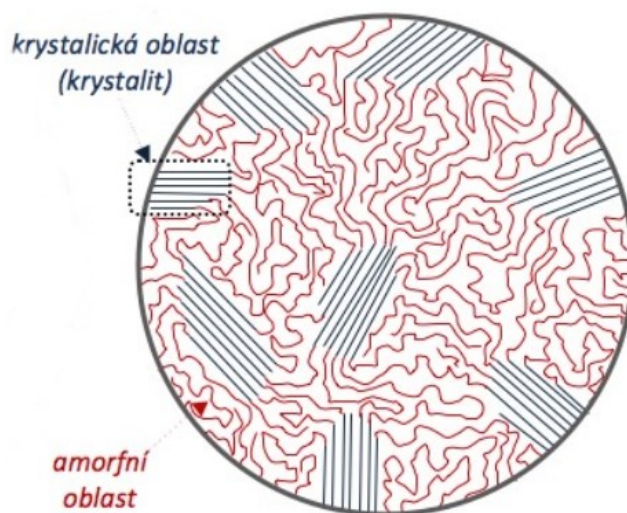
- **Amorfní stav** – Rozložení řetězců se může měnit vlivem otáčení jeho částí. Tyto části se otáčejí kolem jednoduché vazby. Řetězce musí mít stejné složení a stejnou konfiguraci. [20]
- **Krystalický stav** – Aby bylo možné tyto konformace nechat přecházet do krystalického stavu, musejí mít umožněno pravidelné ukládání částí řetězců vedle sebe. Ukládání závisí na typu průřezu řetězce a mezimolekulárních sil. [20]

3 MORFOLOGIE POLYMERŮ

Morfologie polymerů je fyzikální jev, který se zaměřuje na studium struktur a vztahů polymerů. Význam tohoto jevu spočívá ve schopnosti popsat uspořádání molekul ve velkém měřítku. Takové uspořádání lze rozdělit na amorfní, krystalické nebo semikrystalické. [21]

3.1 Krystalické a semikrystalické polymery

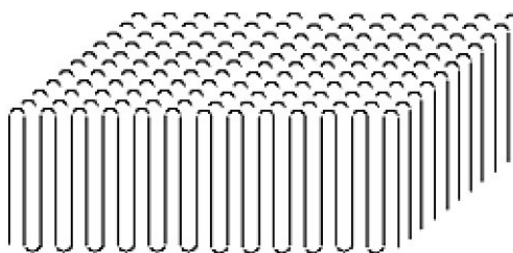
Krystalické polymery mají uspořádanou strukturu, která je tvořena syndiotaktickými a izotaktickými polymerními řetězci. Pro uskutečnění krystalizace musí mezi molekulami existovat dostatečně velké přitažlivé síly. Díky tomu mají vysokou hustotu ve srovnání s amorfními polymery. Přestože mají krystalické polymery uspořádanou strukturu, mohou se v nich vyskytovat i amorfní oblasti. Tyto polymery pak nazýváme semikrystalické. [2]



Obrázek 15 – Semikrystalická struktura [2]

3.1.1 Krystalizace

Krystalizace polymerů je samovolný proces spojený s částečným uspořádáním jejich molekulárních řetězců, kdy řetězce vytvářejí uspořádané oblasti zvané lamely, které tvoří větší sféroidní struktury zvané sférolity. [22,24]



Obrázek 16 – Uspořádání řetězců (lamely) [23]

Polymery mohou krystalizovat při chladnutí, ohřevu, mechanickém namáhání (tah, tlak apod.) nebo odpařením rozpouštědla. [22,24]

Krystalizace ovlivňuje optické, mechanické, tepelné a chemické vlastnosti polymeru. Vlastnosti semikrystalických materiálů jsou také určeny velikostí a orientací molekulových řetězců. [22,24]

Stupeň krystalinity se běžně pohybuje mezi 10–80 %. [22,24]

3.1.2 Polymorfismus

Vlastnosti semikrystalických polymerních materiálů výrazně závisí na jejich struktuře, zejména u těch, které vykazují polymorfní chování. Polymorfismus v materiálové vědě je značen jako existence pevného materiálu, který existuje ve více než jedné formě a může v něm probíhat krystalizace do vícero krystalografických struktur. To nabízí způsoby, jak upravit jejich vlastnosti pomocí krystalového inženýrství. Polymorfismus tedy výrazně ovlivňuje finální charakteristiky materiálu, jako jsou mechanické, teplotní (bod tání/ tečení), fyzikální, elektrické vlastnosti nebo hustotu materiálu. Pro kontrolu krystalové struktury, a tedy i fyzikálních a mechanických vlastností, je zapotřebí rozumět výběru polymorfů polymerů za různých podmínek. [24,25]

Stabilita různých krystalů je pro daný polymer různorodá. Mezi různými modifikacemi vždy existuje termodynamicky nejstabilnější fáze. Ostatní modifikace, které mají nižší stabilitu, se označují jako metastabilní fáze. Díky rozdílu ve stabilitě různých krystalů je možné přecházet mezi fázemi (fázový přechod) dodržáním vhodných úprav. Pochopení mechanismu vzniku a transformace krystalových fází má velký význam pro účelné strukturní řízení semikrystalických polymerů. [25]

U i-PB-1 se přeměnou (transformací) polymorfů z nestabilní fáze II na stabilní fáze I dojde ke změnám několika vlastností. Výrazně se zlepší mechanické vlastnosti, zvýšení bodu teploty tání (cca o 10 °C) a ke snížení objemu přibližně o 4 %. [24]

Je dobře známo, že variace struktur může výrazně změnit fyzikální a mechanické vlastnosti. Proto studium krystalizace semikrystalických polymerů v různých formách za různých podmínek přitahuje v průběhu let velkou pozornost. [25]

3.1.3 Nukleace

Nukleace hraje zásadní roli při krystalizaci polymerů. Krystalizace polymerů probíhá stejnou cestou. Po počátečním kroku nukleace (primární nukleace) následuje proces růstu krystalů. Spojitost velkého množství monomerů v těchto řetězovitých molekulách způsobuje, že homogenní nukleace je extrémně pomalý proces, jenž často vede k vysoce nestabilním systémům s nízkou krystalinitou náchylným ke stárnutí a změnám v čase. [26]



Obrázek 17 – Schéma krystalických zárodků a jejich růst [27]

Pro odstranění tohoto nedostatku se používají nukleační činidla (často síra), působení mech. vnějších sil, epitaxe, míchání s amorfními (nekompatibilními) složkami. Tento nedostatek lze také odstranit při zpracování polymerních systémů, kdy se používají různé tepelné protokoly, které umožní zcela nebo částečně přejít krok nukleace. [26]

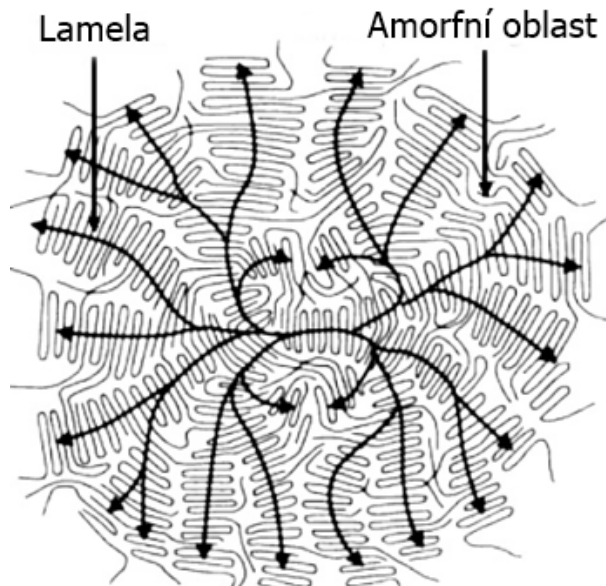
3.1.4 Růst krystalů

Proces růstu krystalů je dosažen přidáváním skládaných segmentů polymerního řetězce při teplotách nižších než teplota tání T_m a vyšší než teplota skelného přechodu T_g . Při vyšších teplotách vzniká riziko narušení molekulárního uspořádání, zatímco pod teplotou skelného přechodu je pohyb molekulárních řetězců zablokován. I přesto může nastat sekundární krystalizace pod teplotou T_g v časové horizontu měsíců a let. [28,29,30]

Tento proces ovlivňuje mechanické vlastnosti polymerů a zmenšují jejich objem v důsledku kompresnějšího uspořádání zarovnaných polymerních řetězců. Pomocí různých typů Van der Waalsových sil probíhá vzájemné působení řetězců. Síla interakce je závislá na vzdálenosti mezi rovnoběžnými segmenty řetězce a určuje mechanické a tepelné vlastnosti polymeru. [28,29,30]

Růst krystalů probíhá ve směru největšího teplotního gradientu. Při výrazném gradientu je růst krystalů jednosměrný a má dendritický charakter. Pokud jde o izotropní a statické rozložení teploty, lamely rostou radiálně a vytvářejí větší uskupení nazývané sférolity. Růst

krystalů pokračuje až do fáze, kdy narazí na hranice jiných krystalů nebo narazí na překážku, což zabraňuje dalšímu růstu. Výsledkem je vytvoření hranic zrn, na kterých se akumulují výrazné poruchy v krystalické struktuře. [28,29]



Obrázek 18 – Schéma sférolitu [31]

3.2 Amorfni polymery

Skupina polymerů, která se vyznačuje špatně definovanou konfigurací makromolekulární struktury. Oproti krystalickým a semikrystalickým polymerům mají náhodné a neuspořádané polymerní řetězce (klubka).



Obrázek 19 – Struktura amorfniho polymeru [33]

Díky tomu je struktura amorfniho polymeru méně tuhá a flexibilní. Nedochozí zde k vytvoření krystalické mřížky, což má za následek, že materiál zůstává průhledný a transparentní. Tato optická průhlednost je výhodná pro aplikace, kde je důležitá viditelnost

nebo průchod světla. Amorfnní polymery často projevují vysokou houževnatost a odolnost vůči nárazu, což je činí vhodnými pro situace, kde je požadována mechanická pevnost. Běžné příklady amorfnních polymerů zahrnují polystyren, polymethyl-metakrylát (PMMA) a termoplastické pryskyřice jako ABS (akrylonitril-butadien-styren). [33,34,35]

Amorfnní polymery nemají bod tání T_m jako krystalické polymery, ale postupně měknou v širším teplotním rozmezí. Vlastnosti těchto polymerů jsou silně ovlivňovány teplotou, což vede k strukturálním změnám. Tyto polymery mají na základě fyzikálních vlastností tři oblasti, ve kterých se mění jejich charakteristiky. [33,35]

3.2.1 Sklovitý stav

Jedna z klíčových vlastností amorfnních polymerů spočívá v teplotě skelného přechodu (T_g). Teplota skelného přechodu udává, kdy polymer přechází ze sklovitého stavu do stavu kaučukovitého. Tato teplota může být specificky vyjádřena jednou hodnotou, ale tato hodnota představuje rozmezí s počáteční a koncovou teplotou, které mohou přesahovat více než 10 °C. Skelný přechod je ovlivněn několika faktory, jako je rychlost zahřívání, historie stárnutí, molekulová hmotnost a morfologie. [33,35]

V této oblasti se také projevují vlastnosti amorfnního polymeru, které připomínají sklo (křehký, tvrdý a průhledný). [33]

3.2.2 Kaučukovitý stav

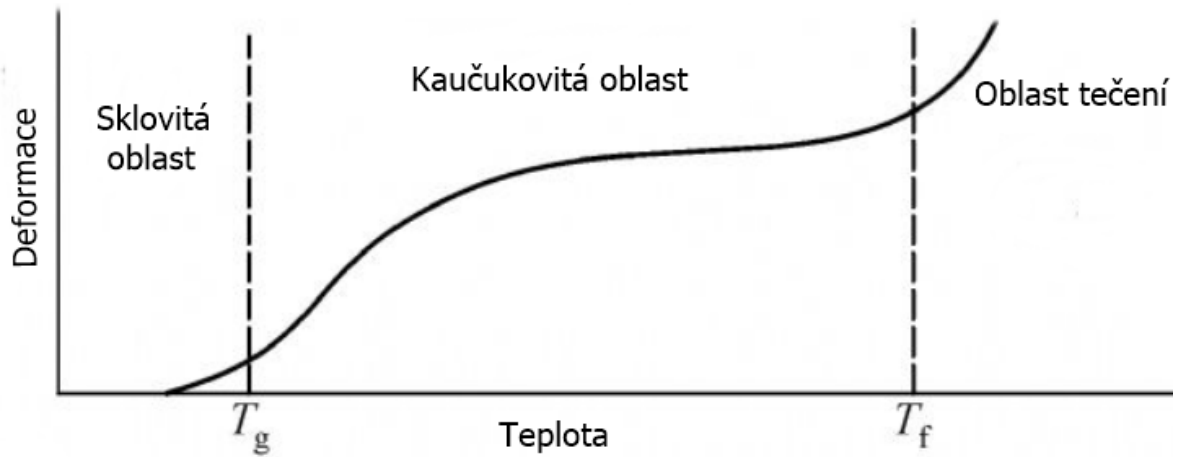
Jde o přechod, který se nachází mezi teplotou T_g a teplotou tečení T_f . Jakmile polymer překročí teplotu T_g při zahřívání, začne vykazovat kaučukovité chování. Tím ihned dochází ke změně vlastností amorfnního polymeru. Toto je způsobeno oslabením mezimolekulových sil a zvýšenou pohyblivostí segmentů makromolekul, které kmitají nebo rotují v určitých částech řetězců. [38,39]

Teplotu skelného přechodu T_g lze ovlivnit přidáním aditiv, například změkčovadel, což vede ke snížení sil mezi makromolekulami. Další metodou ovlivnění teploty T_g je proces kopolymerace monomerů, který zvyšuje pohyblivost makromolekul. [38,39]

3.2.3 Oblast tečení

V této oblasti se amorfnní polymery chovají podobně jako vysoce viskózní kapalina (polymer teče). Klubka polymerů mezi sebou klouzají a jsou více rozpletená. Tyto polymery podléhají jak vratné, tak nevratné deformaci, která se s časem zvětšuje v důsledku dlouhodobého

působení konstantního namáhání. S rostoucí teplotou pak viskózní tok narůstá, až dosáhne bodu, kdy dochází k porušení chemických vazeb. Oblast zpracovatelnosti amorfních polymerů se nachází nad teplotou T_f , kde je možné zpracovávat tyto materiály běžnými technologiemi pro zpracování polymerních hmot. [39,40]



Obrázek 20 – Oblasti amorfního polymeru [39]

4 ISOTAKTICKÝ POLYBUTYLEN – 1

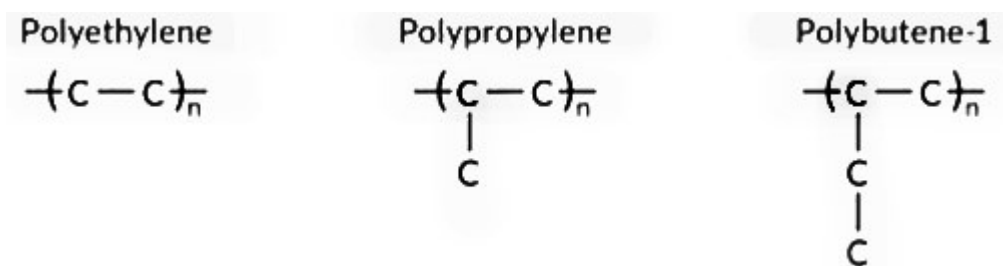
Termoplast patřící do skupiny polyolefinů. Existuje ve dvou izometrických formách podle toho, kde je v molekule monomeru umístěna dvojná vazba uhlíku. [25]

Pokud se nachází mezi prvním a druhým atomem uhlíku v lineární molekule (buten-1), pak je chemicky přesný název výsledného polymeru „polybuten-1“ (PB-1). [25]

Pokud se jedná o rozvětvenou molekulu monomeru, pak se výsledný polymer nazývá polyisobutylen (PIB). [25]

4.1 Vlastnosti

Kombinuje vlastnosti běžných polyolefinů. V chemické struktuře se PB-1 liší od PE a PP pouze počtem atomů uhlíků v molekule monomeru. [41]



Obrázek 21 – Chemické složení PE, PP a PB-1 [41]

PB-1 se vyrábí za použití katalyzátorů typu Ziegler – Natta, které vytvářejí vysoce isotaktický termoplast. [42]

Krystalická struktura v kombinaci s pečlivě kontrolovanými molekulárními parametry dávají PB-1 kombinaci vlastností, které jsou ideální pro aplikace vyžadující vysokou pevnost a pružnost při teplotách 95 až 100 °C. [42,43]

Vlastnosti PB-1 lze přizpůsobit kopolymerací s PE nebo PP, a vytvořit tak náhodné kopolymeru vhodné pro speciální aplikace. PB-1 lze zpracovávat běžnými konvenčními technologiemi vhodnými pro termoplasty, např. vstřikováním, vyfukováním nebo vytlačováním [43,44]

V porovnání s ostatními polyolefiny má PB-1 vyšší odolnost proti dlouhodobé deformaci při dlouhodobém namáhání. Má vynikající mechanické a tepelné vlastnosti. Poskytuje také vysokou odolnost vůči chemikáliím, kyselinám, ketonům, olejům, alkoholům, alifatickým uhlovodíkům a zásadám. Lépe odolává plnění, kdy nemá náchylnost ke křehnutí. Hůře odolává aromatickým nebo chlorovým uhlovodíkům a oxidačním kyselinám. [43,44]

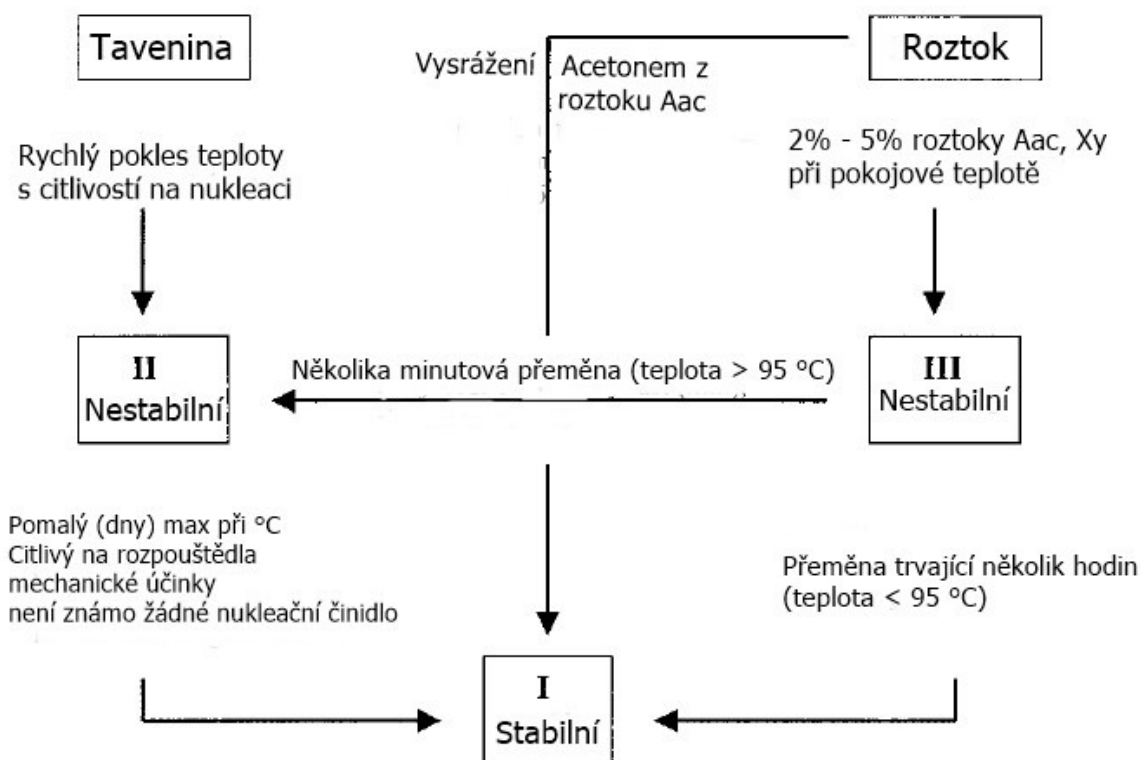
Tabulka 2 – Vybrané vlastnosti i-PB-1 [42,43,44]

Dlouhodobá životnost	až do 95°C
Modul pružnosti E	290 - 295 Mpa
Krystalinita	48-55%
Skelný přechod Tg	-17°C až -25°C
Tepelná vodivost λ	0,22 W/(m*K)

4.2 Polymorfismus i-PB-1

i-PB-1 se může vyskytovat nejméně ve 4 hlavních krystalových modifikacích (I, I', II a III) s různými šroubovými konformacemi, pokud je vystaven tepelným a mechanickým dějům.

[Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.]



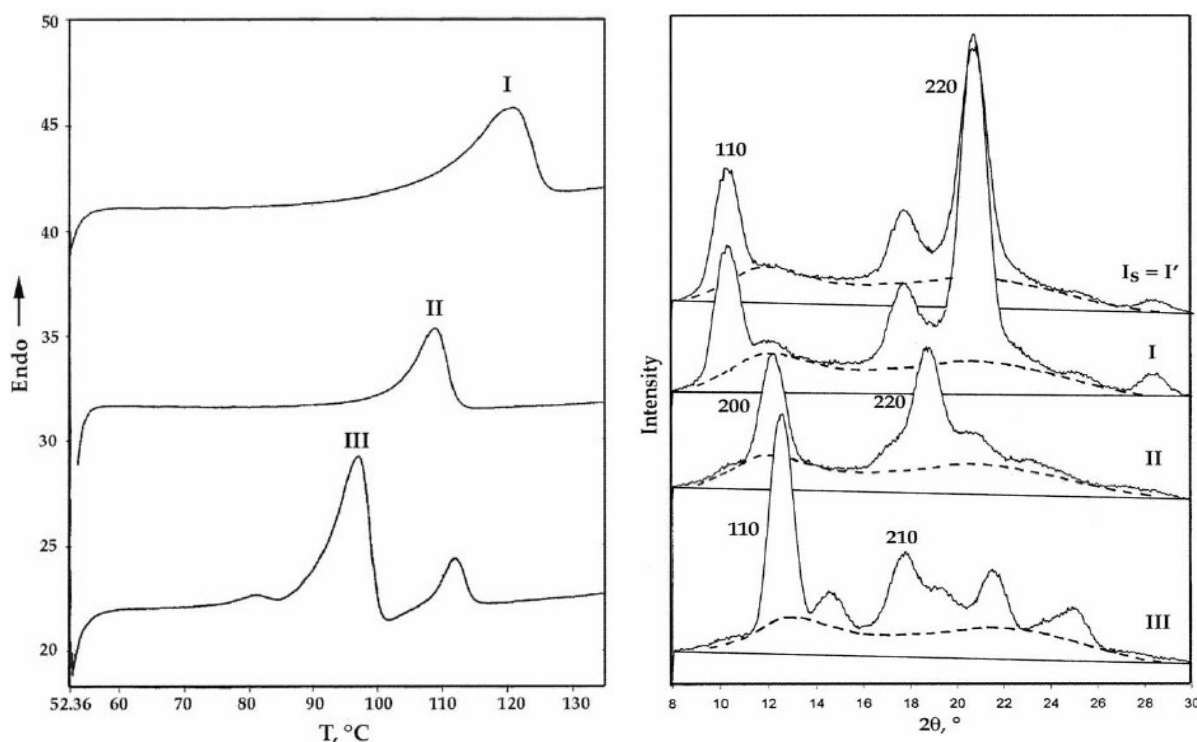
Obrázek 22 – Schéma vztahů mezi fázemi i-PB-1 [45]

Fáze I' má variantu nezkrácené hexagonální krystalové mřížky. Vzniká za působení tlaku nebo roztokové precipitace. Vlastnostmi je velmi podobná fázi I. [Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.,45]

Orthorombická stabilní forma III má nejméně dokonalou krystalovou strukturu. Objevuje se po vysušení středně koncentrovaných roztoků, vysrážením z roztoků a vysokotlakou krystalizací. [Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.,45]

Nestabilní tetragonální fáze II vzniká nejprve při krystalizaci během několika minut chlazením taveniny. Poté se v rámci několika dnů až týdnů transformuje na stabilní fázi I. Lze ji také získat transformací fáze III → II. [45,46]

Fáze I obvykle vzniká transformací z fáze II nebo III. V průmyslu je z praktického hlediska nejdůležitější fázový přechod II→I, protože vede ke zlepšení některých mechanických a fyzikálních vlastností, např. teploty tání, pevnosti v tahu nebo hustoty. Tato transformace se dá snížit některými mechanickými vlivy, jako je působení tlaku, tahu, ohybu apod. [45,46]



Obrázek 23 – DCS vyhodnocení hlavních krystalických fází *i*-PB-1 (Levý graf) a RTG difrakční vzory fází *i*-PB-1 s konstrukcí amorfni fáze (Pravý graf) [46]

Tabulka 3 – Krystalové modifikace *i*-PB-1 [47,48]

Krystalická fáze	Typ mřížky	Šroubovice	Hustota [g/m ³]	Teplota tání [°C]
I' (metastabilní)	šesterečná/hexagonální	3/1	-	95-100
I (stabilní)	zdvojená šesterečná	3/1	0,915-0,95	121-130
II (metastabilní)	čtverečná/tetragonální	11/3	0,9	100-120
III (metastabilní)	kosočtverečná/orthogonální	4/1	0,987	96-100

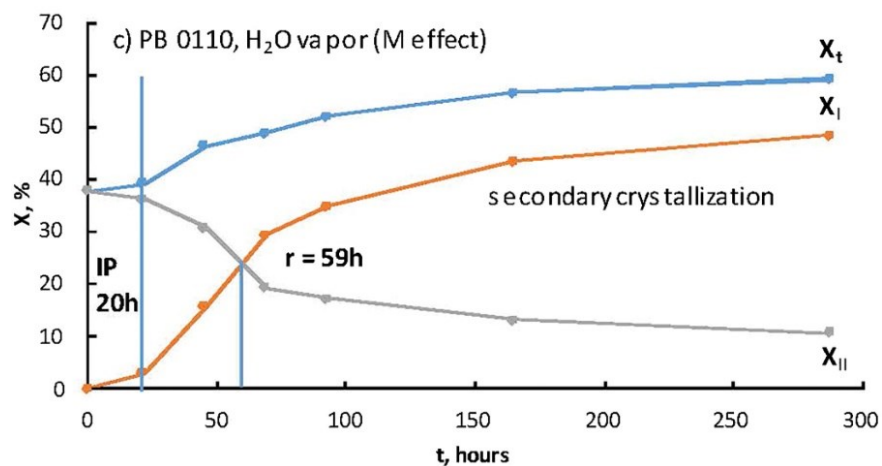
4.3 Fázové transformace i-PB-1 z II → I

V průmyslu je snaha relativně pomalý fázový přechod z nestabilní fáze II na stabilní fázi I co nejvíce snížit. Fáze I je ze všech forem nestabilnější ve všech teplotních rozmezích a má výrazně lepší mechanické vlastnosti. [45]

Čas fázové transformace II → I je ovlivněn typem a formou transformačního zárodku. [45]

4.3.1 Zárodek typu M

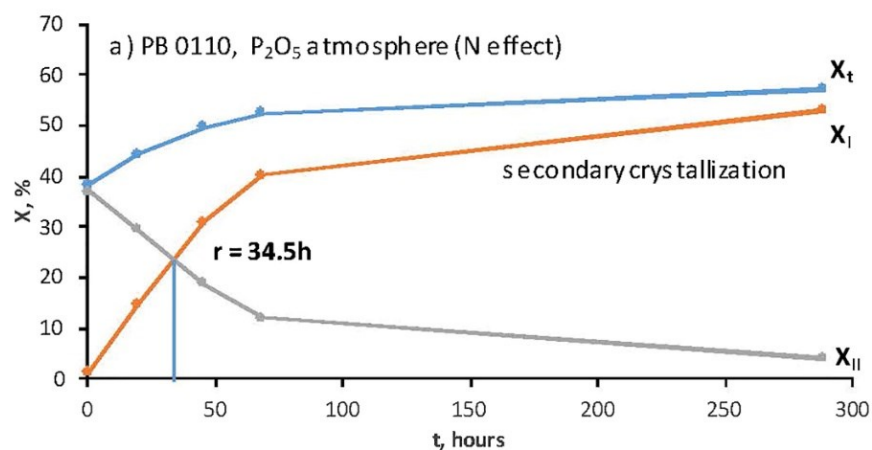
Na obrázku č. 24 lze vidět, že došlo k výraznému zpomalení (minus) vlivem indukční periody. Indukční perioda IP je časový interval mezi startem a náhlým vzrůstem krystalinity (neprobíhá zde žádná nebo téměř žádná přeměna). [44,45]



Obrázek 24 – Fázová transformace i-PB-1 typ zárodku M [44]

4.3.2 Zárodek typu N

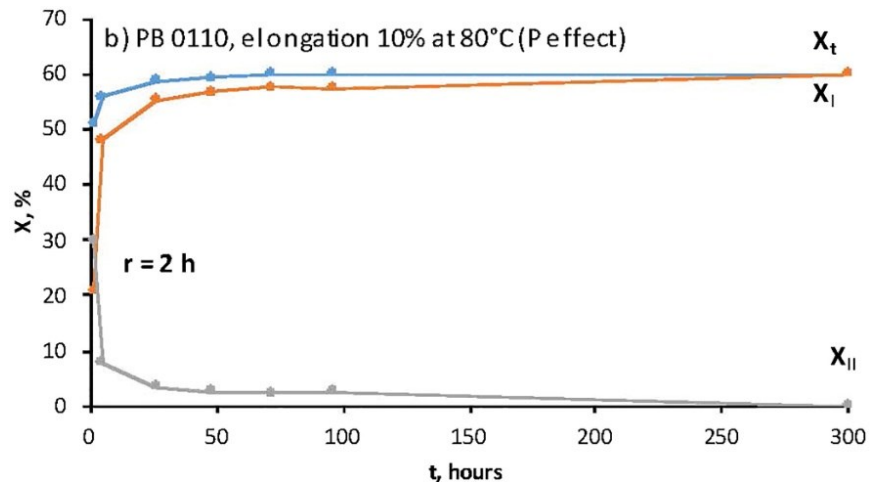
Běžná fázová transformace (neutral). Tento typ neobsahuje indukční periodu. [44]



Obrázek 25 – Fázová transformace i-PB-1 typ zárodku N [44]

4.3.3 Zárodek typu P

Rychlejší fázová transformace II \rightarrow I než standartní transformace. Tento typ neobsahuje indukční periodu. [44]



Obrázek 26 – Fázová transformace i-PB-1 typ zárodku P [44]

5 RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA

Jde o základní analýzu pro určení atomové a molekulové struktury krystalických materiálů. Metoda je založena na principu rentgenových paprsků směřujících na krystalický vzorek, který tyto paprsky rozptyluje na krystalové mřížce analyzovaného vzorku. Výsledný difrakční obraz poskytuje informace o uspořádání atomů uvnitř krystalu. Tato analýza má širokou využitelnost v oborech, jako je chemie, lékařství, fyzika, biologie a materiálové vědy. Hrála velký význam při rozvoji léčiv a porozumění základním vlastnostem látek. [49,50]

5.1 Historie

Fyzik Max von Laue 8. června roku 1912 na zasedání Německé fyzikální společnosti na Berlínské univerzitě oznámil svůj objev difrakce rentgenového záření v krystalech jako v trojrozměrné difrakční mřížce. V předválečné Evropě došlo k prudkému rozvoji fyziky, což poskytlo nezbytné zázemí pro tento objev, který vedl k vyřešení problému povahy rentgenového záření a velikosti atomů. Angličtí výzkumníci W.H. Bragg a W.L. Bragg, otec a syn, využili tento objev k potvrzení Barlowova hypotetického modelu kamenné soli, čímž zahájili první rentgenovou difrakční analýzu monokrystalů. Braggova laboratoř se stala školou a centrem vývoje této nové metody, kde získalo své dovednosti a znalosti mnoho budoucích „strukturalistů“. [51,52,53]

V roce 1916 se výrazně zvýšil počet studovaných objektů poté, co P. Debay a P. Scherrer prezentovali, jak analyzovat strukturu polykrystalických vzorků. V Rusku byl pro mineralogy zajímavý zejména objev rentgenové difrakce. Práce E. Fedorova o 230 prostorových skupinách krystalové symetrie (1891) byla konečně podpořena experimentálně, což prokázalo jejich dokonalou geometrii. [51,52,53]

Okamžitou revoluci ve fyzice a medicíně odstartoval objev rentgenového záření v roce 1895 W. C. Roentgenem. Další experimenty ukázaly, že tento nový typ paprsků je schopen procházet většinou látek včetně měkkých tkání těla, ale kosti a kovy zůstávají viditelné. Jednou z prvních fotografických desek z jeho pokusů byl film ruky jeho manželky, na kterém byl zřetelně vidět její snubní prsten. [54]

V lednu 1896 poprvé veřejně vystoupil před Würzburškou fyzikálně-lékařskou společností a po přednášce předvedl demonstraci, kdy zhotovil destičku ruky přítomného anatoma, který navrhl, aby byl nový objev pojmenován "Roentgenovy paprsky". [54]



Obrázek 27 – Snímek ruky s prstenem manželky W. C. Roentgena z 8.11. 1895 [54]

V současné době lze díky úsilí mezinárodní vědecké komunity (Mezinárodní krystalografická unie) považovat rentgenovou analýzu za dobře organizovanou fyzikální metodu. Existuje řada standartních přístrojů a programů, které jednoznačně ukazují postup provádění rentgenové analýzy, jsou stanovena kritéria pro hodnocení kvality výsledků, jsou poskytovány multifunkční databáze a podporovány specializované časopisy a pravidelné mezinárodní konference. Tato metoda je široce využívána po celém světě, přičemž každoročně jsou určeny tisíce nových struktur, což poskytuje rozsáhlý primární materiál pro oblasti krystalografie, krystalové chemie a kvantové chemie. Tato data jsou klíčová pro pochopení problematiky krystalografie a modelování uspořádání hmoty na atomární úrovni. [52,53,54]

5.2 RTG záření

Rentgenové záření je forma elektromagnetického záření s kratší vlnovou délkou než ultrafialové světlo a delší vlnovou délkou než gama záření (od 0,01 do 10 nanometrů). Elektromagnetické záření přenáší energii, nazývanou také zářivá energie, prostřednictvím vln a fotonů, stejně jako rádiové vlny, viditelné světlo nebo mikrovlny. Rentgenové záření je možné prezentovat buď fotony, nebo vlnovým modelem. Záření lze klasifikovat podle jeho vlnové délky λ_p , což je délka jedné periody vlny. [55,56]

$$\lambda_p = \frac{c_0}{f_p} \text{ [m]}$$

Obrázek 28 – Vzorec pro výpočet vlnové délky [55]

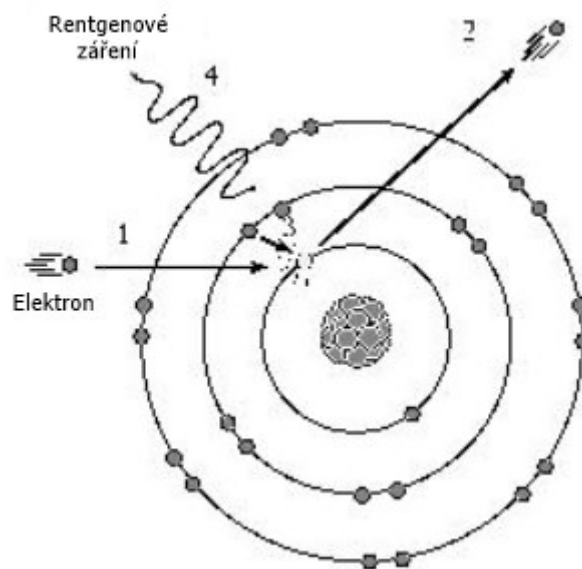
Vlnovou délku lze také reprezentovat frekvencí f_p a rychlostí šíření vlnění, tj. rychlostí světla c_0 . [55,56]

Rentgenové záření se může dále rozdělit na měkké a tvrdé podle velikosti vlnové délky:

- **Měkké RTG záření** – $\lambda_p = 10^{-8} - 10^{-10}$ m (větší vlnová délka)
- **Tvrdé RTG záření** – $\lambda_p = 10^{-10} - 10^{-12}$ m

Dále se rentgenové záření dělí na brzdné a charakteristické podle vzniku a materiálu, ze kterého jsou vyrobeny anody. [57,58]

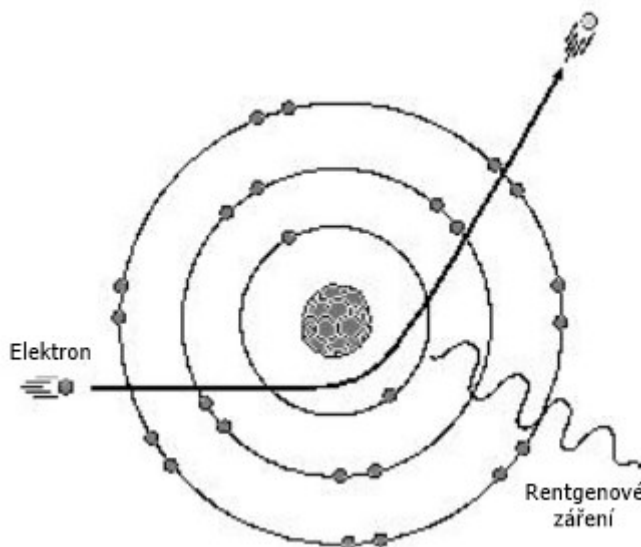
- **Charakteristické RTG záření** – Toto záření je generováno v důsledku srážky mezi letícím elektronem a elektronem z elektronového obalu atomu. Původní elektron je vyřazen z atomu, což má za následek vytvoření „volného místa“, které je následně vyplněno elektronem pocházejícím z jedné hladin vzdálenějších od jádra. Při této akci dochází k uvolnění velké části energie ve formě fotonu rentgenového záření. Hodnota energie záření pak odpovídá rozdílu energie mezi elektronovými hladinami, mezi nimiž dochází k přeskoku elektronů. [57,58]



Obrázek 29 – Princip charakteristického RTG záření [59]

- **Brzdné RTG záření** – Rychle letící elektron prochází v elektrostatickém poli jádra atomů a anody. Při interakci s elektrony atomu dochází k jejich ztrátě energie, což vede k zakřivení dráhy a náhlému snížení rychlosti elektronu. Brždění má za následek ztrátu části jeho kinetické energie, která je transformována na foton

rentgenového záření. Fotony rentgenového záření nesou různé energie a vlnové délky, díky čemuž dochází ke spojitému spektru brzdného záření. S rostoucí energií elektronu stoupá frekvence vyzařovaného rentgenového záření, zatímco vlnová délka klesá. Kvalita brzdného záření je závislá pouze na anodovém napětí. [57,58]



Obrázek 30 – Princip brzdného RTG záření [59]

Rentgenové záření, stejně jako viditelné světlo, ztrácí při průchodu různými materiály určitou část energie. Tato ztráta je závislá na absorpčních vlastnostech materiálu. Snížení energie pomocí absorpce je v podstatě hlavní princip tradiční rentgenové zobrazovací metody. [58,59]

5.3 Rentgenová difrakční analýza

Je velmi výkonná nedestruktivní technika pro charakterizaci krystalických materiálů. Z analýzy jsou získávány informace o struktuře, fázích, preferovaných krystalových orientacích (textura), velikosti zrn, krystalitě, deformaci a krystalových defektech. [60,61]

5.3.1 Princip

Difrakční píky rentgenového záření vznikají konstruktivní interferencí monochromatického svazku rentgenového záření rozptýleného pod určitými úhly z každé sady mřížkových rovin ve vzorku. Intenzity píků jsou určeny rozložením atomů v mřížce. Rentgenový difrakční vzorek je tedy otiskem periodického uspořádání atomů v daném materiálu. [60]

Interakce dopadajících paprsků se vzorkem vede ke konstruktivní interferenci a difrakci paprsků, jestliže je splněna podmínka Braggova zákona. Tento zákon spojuje vlnovou délku

(λ) elektromagnetického záření s difrakčním úhlem (θ) a mřížkovou vzdáleností (d) v krystalickém vzorku.

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda$$

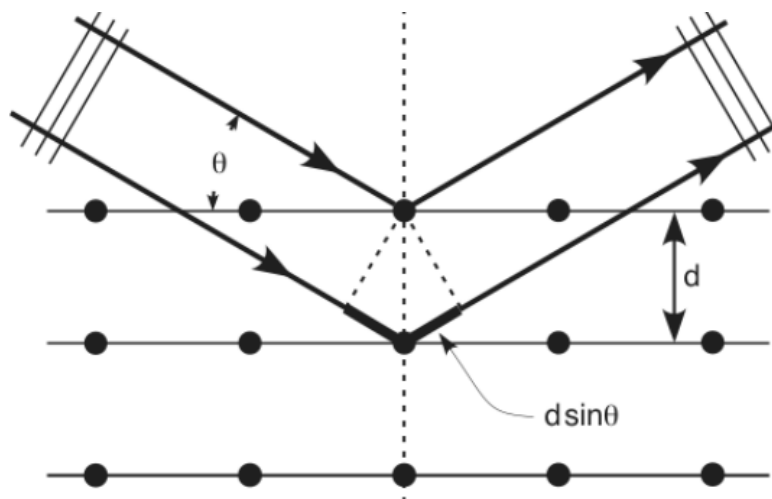
Obrázek 31 – Braggova rovnice [60]

d – [nm] mřížková vzdálenost

λ – [nm] vlnová délka monochromatického rentgenového paprsku

θ – [rad] difrakční úhel mezi paprsky a rovinami

n – [-] celé číslo (řád difrakce)



Obrázek 32 – Schéma dopadu rtg záření na mřížku [62]

Difraktované rentgenové záření se pak detekuje, zpracovává a počítá. Vzorky se skenují v rozsahu úhlů 2θ , čímž by se mělo dosáhnout všech možných směrů difrakce mřížky díky náhodné orientaci částic. [60,61]

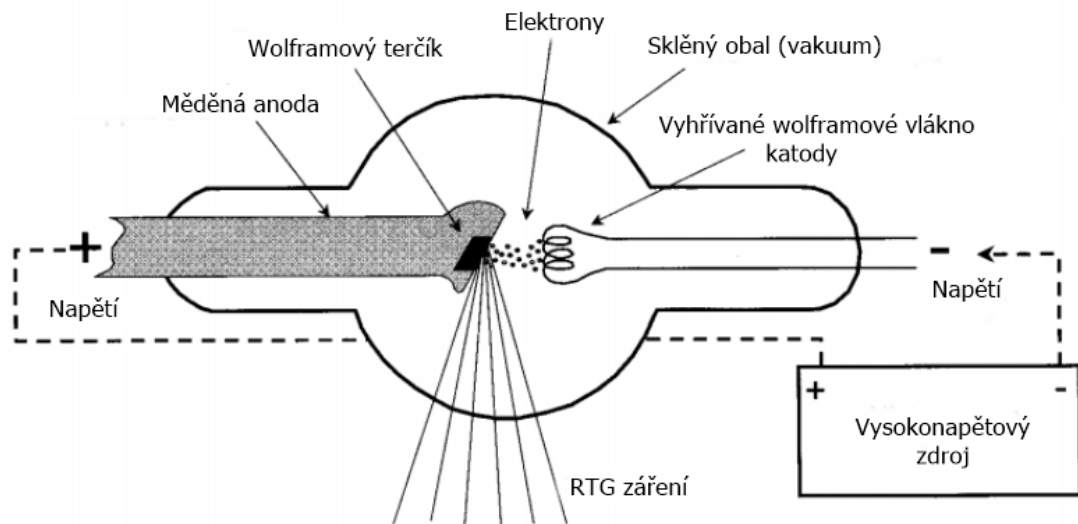
5.4 Zdroj rentgenového záření

Rentgenové záření vzniká v katodové trubici zahříváním vlákna za vzniku elektronů, urychlováním elektronů směrem k cíli pomocí napětí a bombardováním cílového materiálu elektrony. [61]

5.4.1 Rentgenka

Rentgenová lampa je v podstatě skleněná trubice obsahující vakuum, ve které jsou zabudovány elektrody (anoda a katoda). Katoda je vyrobena z wolframu a má tvar spirály.

Záporně nabitá je pak umístěna v misce z molybdenu a má funkci odpuzování a fokusace uvolněných elektronů na plochu na anodě. Anoda je obvykle vyráběna také z wolframu (nebo její část nazývající se terčík). Katoda slouží jako zdroj elektronů. Tyto elektrony jsou urychlovány a dopadají na anodu, což má za následek vznik rentgenového záření. [60,61]



Obrázek 33 – Schéma rentgenky [63]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 ZKOUMANÝ MATERIÁL

Jako zkoumaný materiál byl vybrán isotaktický polybuten-1 (i-PB-1) s obchodním značením PB 110 M od firmy Lyondell Basell Industries, která se nachází v Nizozemsku. [64]

6.1 Vlastnosti PB 110 M

Jde o semikrystalický homopolymer, který se používá tam, kde jsou klíčovými požadavky odolnost proti trhlinám způsobeným namáháním v prostředí, odolnost při zvýšené teplotě, creepu a mechanickému namáhání. [64]

Díky své podobné molekulární struktuře je tento polymer vysoko kompatibilní s polypropylenem (PP). Pomáhá zlepšit mechanické vlastnosti při zvýšených teplotách. Méně kompatibilní je se směsí polyethylenu (PE), stále se však snadno disperguje. PE má za následek zpomalení rychlosti krystalizace i-PB-1. [64]

Tabulka 4 – Vybrané vlastnosti PB 110 M [64]

Vlastnosti	Norma/Metoda	Hodnota	Jednotky
Hustota	ISO 1183-1	0,914	g/cm ³
Index toku taveniny (190°C/ 2,6 kg)	ISO 1133-1	0,4	g/10 min
Index toku taveniny (190°C/ 10 kg)	ISO 1133-1	12	g/10 min
Mez pevnosti v tahu	ISO 8986-2	35	MPa
Napětí na mezi kluzu	ISO 8986-2	19,5	MPa
Ohybový modul	ISO 178	450	MPa
Prodloužení při přetržení	ISO 8986-2	300	%
Teplota tání fáze I	ISO 11357-3	128	°C
Teplota tání fáze II	ISO 11357-3	117	°C

7 POUŽITÉ PŘÍMĚSI

7.1 Polyethylen (PE)

Tento termoplastický semikrystalický materiál je využíván v mnoha průmyslových aplikacích především díky jeho jednoduchému zpracování a pořizovací ceně. Jde o odolný a dobře pružný materiál s vysokou odolností vůči chemikáliím a opotřebením. PE je nenasákavý a dá se použít v extrémně nízkých teplotách. [66]

Hustota PE je $\rho = 0,910 - 0,967 \text{ g/cm}^3$ (závisí na použitém typu). Jeho teplota tání je v rozmezí $T_m = 106\text{--}130 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = -80 \text{ až } -100 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace se pohybuje v rozmezí $T_c = 110\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$. [66]

7.2 Nízkohustotní polyethylen (LDPE)

Byl použit LDPE od firmy ExxonMobil (USA) s obchodním značením LDPE LD 653 836256NR: 0140 120 CT 18. Jde o velmi houževnatý semikrystalický materiál, který má vysokou rázovou pevnost při nižších teplotách. LDPE má malou nasákavost a dobrou odolnost vůči povětrnostním vlivům. Má vysokou odolnost vůči kyselinám, zásadám a alkoholům, ale špatně odolává některým uhlovodíkům a oxidačním činidlům. [67,68]

Hustota LDPE je $\rho = 0,924 \text{ g/cm}^3$. Teplota tání se pohybuje mezi $T_m = 102\text{--}113 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = -80 \text{ až } -100 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace se pohybuje v rozmezí $T_c = 95\text{--}104 \text{ }^\circ\text{C}$. [67,68,71]

7.3 Vysokohustotní polyethylen (HDPE)

HDPE má oproti PE vyšší pevnost, lepší tepelnou odolnost a zvýšenou tvrdost. Nově se tento semikrystalický materiál hojně využívá jako základ pro vlákna 3D tisku místo používaného ABS. HDPE má do $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ vysokou houževnatost. Dobře odolává chemickým a povětrnostním vlivům. [69,70]

Hustota HDPE je $\rho = 0,944 - 0,995 \text{ g/cm}^3$. Teplota tání se pohybuje mezi $T_m = 118\text{--}137 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = -100 \text{ až } -120 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace se pohybuje v rozmezí $T_c = 108\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$. [69,70,72]

7.4 Lineární nízkohustotní polyethylen (LLDPE)

LLDPE má vysokou pružnost, houževnatost a relativní průhlednost. Díky tomu se tento semikrystalický materiál používá pro výrobu vícevrstevných folií používaných při balení potravin. Jeho hlavní vlastnost, kvůli které je hojně využíván v potravinářství, je těsnicí schopnost, která je nezbytná pro celistvost obalu. [73]

Hustota LLDPE je $\rho = 0,870 - 0,906 \text{ g/cm}^3$. Teplota tání se pohybuje mezi $T_m = 75-128 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = -110 \text{ až } -120 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace se pohybuje v rozmezí $T_c = 106-113 \text{ }^\circ\text{C}$. [73,74]

7.5 Polyethylentereftalát (PET)

Byl použit PET s obchodním označením PET ELANA BK-V. Tento amorfní plast se vyznačuje především vysokou rozměrovou stabilitou a odolností vůči creepu. Má vysokou odolnost vůči rázu, vlhkosti, alkoholům a rozpouštědlům. Řadí se mezi nejvíce používané plasty. Uplatnění nachází v textilním, automobilovém, obalovém nebo elektronickém průmyslu. [75]

Hustota PET je $\rho = 1,38 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení se pohybuje mezi $T_f = 240-270 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 65-80 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace se pohybuje v rozmezí $T_c = 178 \text{ }^\circ\text{C}$. [75]

7.6 Polyoxymethylen (POM)

Jde o amorfní materiál, který se vyznačuje vysokým stupněm pevnosti, tuhosti, odolnosti vůči oděru a rozměrové stability. Je odolný vůči rozpouštědlům, ale kyselina a zásady ho rozkládají. Používá se především v konstrukčních aplikacích. [76,77]

Hustota POM je $\rho = 1,410 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení je v rozmezí $T_f = 175-185 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 85 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace je v rozmezí $T_c = 130-150 \text{ }^\circ\text{C}$. [76,77]

7.7 Polyvinylchlorid (PVC)

Tento amorfní materiál patří mezi nejpoužívanější a relativně levné polymery s vhodnými chemickými vlastnostmi, tepelnou a mechanickou stabilitou. PVC má vysokou odolnost vůči rozpouštědlům (rozpouští se v organických rozpouštědlech), zásadám a kyselinám. PVC má vysokou životnost a dobré izolační vlastnosti. Použitím různých přísad ve výrobním procesu lze upravit jeho mechanické vlastnosti, průhlednost nebo barvu. [78]

Hustota PVC je $\rho = 1,13-1,85 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení se pohybuje mezi $T_f = 170-260 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 70-80 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace se pohybuje v rozmezí $T_c = 120-220 \text{ }^\circ\text{C}$. [78,79]

7.8 Polymethyl metakrylát (PMMA)

PMMA patří mezi jedny z nejtvrdějších amorfních termoplastů. Má velmi vysoký Youngův modul a nízké prodloužení při přetržení. Tento polymer má dobrou tepelnou stabilitu v rozmezích $100 \text{ až } -70 \text{ }^\circ\text{C}$. Dobře odolává slunečnímu záření a má relativně dobrou odolnost vůči chemikáliím. Má však nízkou odolnost vůči chlorovaným aromatickým uhlovodíkům, esterům a ketonům. [80]

Hustota PMMA je $\rho = 1,17-1,2 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení se pohybuje mezi $T_f = 105-160 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 100-130 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace se pohybuje v rozmezí $T_c = 121 \text{ }^\circ\text{C}$. [78,79,81]

7.9 DP 8510

Polybuten-1 s obchodním názvem DP 8510 od firmy Lyondell Basell. Jde o náhodný kopolymer butenu-1 s vysokým obsahem ethylenu. Převážně se využívá jako příměs, která zlepšuje reologické vlastnosti směsí. Další uplatnění najde ve formulacích tavných lepidel pro dřevo a montáž. Využívá se pro kombinaci s celou řadou nepolárních pryskyřic a vosků. Díky podobné struktuře je vysoce kompatibilní s polypropylenem. Méně kompatibilní je s polyethylenem, ale přesto je stále snadno dispergovatelný. [82]

Hustota PMMA je $\rho = 0,897 \text{ g/cm}^3$. Teplota tání je $T_m = 94 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = -25 \text{ až } -17 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace má hodnotu $T_c = 81 \text{ }^\circ\text{C}$. [82]

7.10 Isotaktický polypropylen (i-PP)

Jde o semikrystalický polymer získaný při nízkých teplotách a tlacích za použití Ziegler-Nattových katalyzátorů. Má podobné vlastnosti jako polyethylen, je však pevnější, tužší a tvrdší. Je více náchylný k oxidaci než PE, tomu se předchází přidáním vhodných stabilizátorů. [83,84]

Hustota i-PP je $\rho = 0,9 - 0,92 \text{ g/cm}^3$. Teplota tání je $T_m = 160-170 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 20 \text{ až } -20 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace má hodnotu $T_c = 120-140 \text{ }^\circ\text{C}$. [83,84]

7.11 Ataktický polypropylen (a-PP)

Tento polymer nemá pravidelnou, uspořádanou strukturu polymerních řetězců, takže se jedná o amorfni materiál. Díky tomu je oproti i-PP a PP výrazně pružnější. Má nízkou pevnost v tahu, ale vysoké prodloužení při přetržení. [85]

Hustota a-PP je $\rho = 0,866 - 0,905 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení se pohybuje mezi $T_f = 160-166 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 10 \text{ až } -20 \text{ }^\circ\text{C}$. [85]

7.12 Styren akrylonitril (SAN)

Byl použit SAN s obchodním názvem SAN Kostil B25/5. Jde o amorfni termoplast, který je velmi houževnatý, má vysokou tvrdost, pevnost v tahu a ohybu. Je odolný vůči vrypu a nepolárním rozpouštědlům (oleje a benzín). [87]

Hustota a-PP je $\rho = 1,06 - 1,08 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení je mezi $T_f = 115 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 95-110 \text{ }^\circ\text{C}$. [87]

7.13 Akrylonitril butadien styren (ABS)

Jde o amorfni kopolymer, který dobře odolává rázům a tlumí vibrace. Má vyšší odolnost vůči organickým rozpouštědlům, dobrou teplotní tvarovou stálost v porovnání s ostatními styrenovými plasty. ABS je částečně navlhavý, špatně odolává povětrnostním vlivům a UV záření. Kvůli navlhavosti má horší elektroizolační vlastnosti. [86]

Hustota ABS je $\rho = 1,02 - 1,08 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení je mezi $T_f = 175-230 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 95-110 \text{ }^\circ\text{C}$. [88]

7.14 Polystyren (PS)

PS je amorfni plast, který snadno propouští světlo. Má vysokou tuhost a pevnost, zároveň je však velmi lehký. PS je dobrý elektrický izolant a zabraňuje průchodu elektrického proudu a má malou tepelnou vodivost. Je minimálně nasákový a odolává mnoha chemikáliím. Neodolává organickým rozpouštědlům jako je benzen, toluen a ethylacetát. [89]

Hustota PS je $\rho = 0,96 - 1,05 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení je mezi $T_f = 240-275 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 95 \text{ }^\circ\text{C}$. [67,89]

7.15 Ataktický polystyren (a-PS)

a-PS je amorfni polymer, který na rozdíl od isotaktického polystyrenu (i-PS) nebo syndiotaktického polystyrenu (s-PS) nemá uspořádanou strukturu a jeho teplota tečení je výrazně nižší. Rozmístění postranních řetězců podél páteře polymeru nemá pravidelný vzorec. Dá se dobře zpracovávat díky dobré pružnosti a tvárnosti. Má dobrou odolnost vůči chemikáliím. [90,91,92]

Hustota PS je $\rho = 0,086 - 1,04 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení je mezi $T_f = 75-120 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 90-96 \text{ }^\circ\text{C}$. [90,91,92]

7.16 Polyamid 6 (PA 6)

Jde o semikrystalický plast s vynikajícími konstrukčními vlastnostmi, jako je nízká hmotnost, dobré mechanické vlastnosti, chemická odolnost a relativně jednoduchá zpracovatelnost. PA 6 je široce využíván v automobilovém, elektrotechnickém nebo obalovém průmyslu. [93,94,95]

Hustota PA 6 je $\rho = 1,14 - 1,15 \text{ g/cm}^3$. Teplota tání je v rozmezí $T_m = 218-223 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 55-62,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace je v rozmezí $T_c = 165-175 \text{ }^\circ\text{C}$. [93,94,95]

7.17 Polyamid 6.6 (PA 6.6)

PA 6.6 je vlastnostmi velmi podobný PA 6. Vyniká vysokou houževnatostí, rázovou a teplotní odolností. V porovnání PA 6 má však vyšší odolnost vůči opotřebení. Má horší schopnost absorbovat vlhkost. PA 6.6 také lze použít při vyšších krátkodobých pracovních teplotách. [93,94]

Hustota PA 6.6 je $\rho = 1,14 - 1,16 \text{ g/cm}^3$. Teplota tání je mezi $T_m = 260-280 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 47-58 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace je mezi $T_c = 130-195 \text{ }^\circ\text{C}$. [93,94]

7.18 Kyselina polymléčná (PLA)

Jde o semikrystalický polymer, který je oproti většině plastů vyráběn z organických zdrojů, jako je například cukrová třtina nebo kukuřičný škrob. PLA se jeví jako slibná alternativa k polymerům na bázi ropy. Vlastnostmi je velmi podobný materiálům jako je PS, PP nebo ABS. Má vysoký modul pružnosti, dobrou tuhost a pevnost při pokojové teplotě. [96,97]

Hustota PLA je $\rho = 1,24 \text{ g/cm}^3$. Teplota tání se pohybuje v rozmezí $T_m = 170\text{--}220 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 55\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C}$. Teplota krystalizace má hodnotu v rozmezí $T_c = 100\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$. [96,97,98]

7.19 Surlyn 9910

Je termoplastická pryskyřice (vyrobená kopolymerací ethylenu/kyseliny metakrylové) od firmy DuPont (USA). Materiál je vysoce průhledný, tuhý a odolný proti oděru a rázům. Má velmi nízkou hladinu navlhavosti. Tento materiál lze zpracovávat vytlačováním, vyfukováním nebo vstřikováním. [99]

Hustota Surlyn 9910 je $\rho = 0,97 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení má hodnotu $T_f = 86 \text{ }^\circ\text{C}$. [99]

7.20 Acetát celulózy (CA)

Jde o amorfni termoplast, který je čirý a má dobrou průhlednost. Vyznačuje se dobrou pružností a tvárností. Dobře odolává chemikáliím, ale je rozpustitelný v některých organických rozpouštědlech. CA je biokompatibilní a netoxický, čímž je vhodný pro některé medicínské aplikace. [100]

Hustota CA je $\rho = 1,26\text{--}1,31 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení se pohybuje v rozmezí $T_f = 175\text{--}225 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu $T_g = 50\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$. [100]

7.21 Polyvinylacetát (PVA)

PVA je amorfni polymer získaný polymerací vinylacetátových monomerů. Tento polymer je měkký, průhledný a velmi pružný. Vykazuje dobrou přilnavost k mnoha podkladům, proto je často základní složkou lepidel, barev, tmelu nebo nátěrových hmot. [101]

Hustota PVA je $\rho = 1,18\text{--}1,23 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení je v rozmezí $T_f = 100\text{--}160 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu je v rozmezí $T_g = 50\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C}$. [101]

7.22 Ethylenvinylacetát (EVA)

EVA byl použit od firmy ExxonMobil (USA). Jde o kopolymer, který je získán kopolymerací ethylenu a vinylacetátu. Výsledné vlastnosti EVA jsou přímo závislé na obsahu vinylacetalové složky. EVA obsahující vyšší podíl vinylacetátu je vlastnostmi velmi podobný kaučuku. Když je podíl vinylacetátu nižší, materiál bude mít vlastnosti obdobné jako termoplast. Má dobrou rázovou pevnost a houževnatost. Díky vynikajícím optickým vlastnostem se používá například jako zapouzdření fotovoltaických článků. [102]

Hustota EVA je $\rho = 0,934 - 0,953 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení je v rozmezí $T_f = 164-180 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu je v rozmezí $T_g = -20$ až $-35 \text{ }^\circ\text{C}$. [102]

7.23 Ethylenokten (EO)

Byl použit Ethylenokten od firmy Dow Plastics (USA) pod obchodním názvem Ethylenokten Engage 8842. Jde o polyolefinový elastomer (POE) na bázi ethylenoktenového kopolymeru s nízkou hustotou a hmotností pro univerzální použití. Má vynikající mechanické vlastnosti, jako je pružnost, odolnost vůči rázu, tlumení vibrací, houževnatost a tažnost při nízkých teplotách. Vykazuje dobrou tepelnou stabilitu při nižších teplotách. Tento materiál lze recyklovat a zpracovávat konvenčními technologiemi pro zpracování plastů. [103]

Hustota EO je $\rho = 0,857 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení je v rozmezí $T_f = 33 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu má rozmezí $T_g = -30$ až $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ (Toto je všeobecná hodnota pro EO, výrobce T_g neuvádí). [103]

7.24 Ethylenpropylen (EP)

Jde o ethylen propylenový kopolymer, který spadá do třídy kaučuků a je synteticky vyráběn kopolymerací ethylenu, propylenu a dalších chemických sloučenin. Má dobré elastické vlastnosti, odolnost vůči elektřině a ozonu. Jedna z jeho předních výhod je možnost zpracování s řadou přísad. [104,105]

Hustota EP je $\rho = 0,860 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení se pohybuje v rozmezí $T_f = 128-208 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu je mezi $T_g = -38,5$ až $-63,5 \text{ }^\circ\text{C}$. [104,105]

7.25 Termoplastický elastomer (TPE)

Byl použit TPE od firmy ExxonMobil (USA) pod obchodním názvem Santropene 221-87 (dle vícero zdrojů již neprobíhá jeho výroba). Jde o tvrdý a houževnatý termoplastický vulkanizát, který je odolný vůči UV záření a chemikáliím. Odolává povětrnostním podmínkám a lze ho zpracovat běžnými konvenčními technologiemi pro zpracování plastů. Je na bázi polyolefinů a lze plně recyklovat. [106]

Hustota TPE je $\rho = 0,960 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení se pohybuje v rozmezí $T_f = 204-232 \text{ }^\circ\text{C}$. [106]

7.26 Přírodní kaučuk (NR)

Přírodní kaučuk se vyrábí extrakcí latexu ze stromů a některých rostlin. NR má vysokou pružnost, ohebnost a výjimečnou pevnost v tahu. Jedna z jeho hlavních vlastností je odolnost proti roztržení, kdy odolává prasklinám nebo šíření trhlin během extrémních sil. Je odolný vůči oděru a opotřebení, lze ho tedy použít jako těsnění, kde dochází ke kontaktu s abrazivními povrchy. [107]

Hustota NR je $\rho = 0,91 - 0,97 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení se pohybuje v rozmezí $T_f = 160-220 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu je mezi $T_g = -55,5$ až $-72,5 \text{ }^\circ\text{C}$. [107]

7.27 Ethylen propylen monomer (EPM)

EPM nebo ethylnepropylenový kaučuk (EPR) je elastomer, který dobře odolává chemickým vlivům, jako je oxidace, ozon, teplo a povětrnostní podmínky. Je nerozpustný v mnoha nepolárních rozpouštědlech. Má vysokou pružnost a tvarovou stálost i při nižších teplotách. EPM jsou jednoduše mísitelný s přísadami, plnivy a změkčovadly. [108,109]

Hustota EPM je $\rho = 0,87 - 0,9 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení se je v rozmezí $T_f = 150-200 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu je mezi $T_g = -50$ až $-60 \text{ }^\circ\text{C}$. [108,109]

7.28 Parafín

Jde o druh uhlovodíkového vosku získaného z destilace ropy nebo krystalizačním odpařováním hnědouhelného dehtu. Za pokojové teploty se vyskytuje převážně jako bílý nebo nažloutlý pevný vosk, ale při zahřátí ihned snadno taje. Parafín je bez zápachu a chuti. Má nízkou vodivost tepla a elektřiny. [110]

Hustota Parafínu je $\rho = 0,910 \text{ g/cm}^3$. Teplota tání se pohybuje v rozmezí $T_m = 46-68 \text{ }^\circ\text{C}$. [110]

7.29 Ethylen bis steramid (EBS)

EBS je synteticky vytvořená látka podobná vosku. Získává se pomocí reakce ethylen-diaminu a kyseliny stearové. Nejčastěji se vyskytuje v bílém nebo lehce nažloutlém voskovitém prášku. Nerozpouští se ve vodě, ale v organických rozpouštědlech. V průmyslu se převážně používá jako uvolňovací prostředek při zpracování plastů. Zlepšuje tokové vlastnosti, zabraňuje ulpívání plastových výrobků v dutině formy. [111]

Hustota EBS je $\rho = 0,91 - 0,97 \text{ g/cm}^3$. Teplota tání se pohybuje v rozmezí $T_m = 144-150 \text{ }^\circ\text{C}$. [111]

7.30 Polyvinylbutyral (PVB)

Jde o vinylacetalový amorfní polymer syntetizovaný kondenzační reakcí polyvinylalkoholu (PVA) s butyraldehydem (BA) za přítomnosti kyselého katalyzátoru. PVB má vysokou pevnost, odolnost vůči vysokým teplotám a silnou přilnavost ke sklu. Odolává UV záření a má vynikající průhlednost, proto se nejvíce využívá jako mezivrstva bezpečnostních skel. [112,113]

Hustota PVB je $\rho = 1,01 - 1,08 \text{ g/cm}^3$. Teplota tečení je mezi $T_f = 165-185 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota skelného přechodu je mezi $T_g = 53-70 \text{ }^\circ\text{C}$. [112,113]

8 PŘÍPRAVA VZORKŮ

8.1 Navážka vzorků

Pro vzorky byla zvolena celková hmotnost 50 g. Vážení materiálů probíhalo na váze KERN (Německo) s přesností $\pm 0,1$ g. Z této hodnoty byl pro každý vzorek obsahující některou z použitých příměsí vypočten potřebný obsah příměsí v hmot. %. Pro výzkum byly zvoleny tři hlavní obsahy příměsí (1, 5 a 10 hmot. %), které byly přimíchány k čistému materiálu PB 110M. V této práci jsou však zařazeny pro porovnání vzorky obsahující nižší i vyšší koncentrace, které byly připraveny za stejných podmínek kolegy v rámci dalších výzkumů zabývajících se stejným či obdobným tématem, a bylo možné tak vzorky použít. Takto navážený materiál s příměsí byl dodatečně „promíchán“ v nádobce. Referenční vzorek neobsahoval žádnou z použitých příměsí a jeho obsah byl tedy čistě 50 g PB 110M.

8.2 Míchání vzorků (PB 110M + příměsí)

Směsi byly míchány za pomoci vytlačovacího stroje (dvou-šnek) značky Collin W100T (Spojené království). [65] Na stroji byla nastavena tři topná pásma na teploty o hodnotách 140 /140 /160 °C. Teplota 160 °C byla nastavena na 3. pásmu (vytlačovací hlava). Tyto teploty byly zvoleny z důvodu zachování stejných procesních a laboratorních podmínek, které byly použity v dřívějších pracích, a bylo tak možné vlastní vzorky porovnat s vzorky dalších výzkumů. Vytlačené vzorky byly nadále nastříhány na menší pásky pro možnost vložení vzorků do formy.

8.3 Lisování vzorků

Vzorky byly lisovány pomocí elektricky vytápěného lisu (VÚGPT, ČR) s manuálním šroubovým mechanismem. Lis bylo nejprve potřeba vyhřát na 160 °C. Během výhřevu byla do lisu vložena forma složená z dvou ocelových desek, která byla potřeba taktéž vytemperovat. Po vyhřátí byla jedna z desek formy vyjmuta. Na tuto desku byla nejprve položena separační folie, na kterou byly do středu vloženy nastříhané (překládané přes sebe) „pásky“ vzorku. Vzorek byl umístěn do středu z důvodu eliminace přetoků z formy a dosažení co možná nejlepšího rozprostření materiálu ve formě. Na vzorek byla položena druhá separační folie. Dále byl na separační folii vložen ocelový rámeček o rozměrech 150 x 150 mm a tloušťce 1 mm. Rámeček určoval finální podobu vzorku a tloušťka 1 mm byla zvolena z důvodu praktičnosti při měření RTG analýz. Následně byla vyjmuta druhá

ocelová deska, která byla položena na ocelový rámeček. Takto byla celá „forma“ vložena do lisu. Lisování probíhalo po dobu 5 minut při 160 °C. Po uběhnutí lisovacího času byla celá forma vyjmuta. Po odformování separační folie se vzorkem bylo potřeba nechat vzorek v separačních foliích ochladit z důvodu jednoduššího odseparování a rizika mechanického poškození (např. ohybu) vzorku. To by mělo za následek snížení transformace nestabilní fáze II na stabilní fázi I. Takto připravené vzorky bylo pak možno použít pro difrakční RTG analýzu.

9 MĚŘENÍ VZORKŮ

9.1 Rentgenová analýza – (RTG difrakce)

Pomocí analýzy širokoúhlé rentgenové difrakce byly získány informace a data o typu krystalové struktury zkoumaných vzorků. Měření probíhalo v rozsahu $2\Theta = 5\text{--}30^\circ$ při pokojové teplotě za použití rentgenky CuK_α s Ni filtrem. Analýzy byly provedeny pomocí rentgenového difrakčního programu X pert Pro (PANalytical, B. V., Nizozemsko). [44]

Vzorky, které byly vyhodnoceny jako typ N a M fázové transformace $\text{II} \rightarrow \text{I}$, byly měřeny přibližně každých 24 hodin po dobu 5 dní. Vzorky typu P fázové transformace $\text{II} \rightarrow \text{I}$ byly měřeny ihned po vylisování vzorků v časových intervalech po 1 hodině a poté opět každých 24 hodin po dobu 5 dnů. U některých vzorků byly provedené analýzy krystalických oblastí po 1 měsíci a 1 roku. Tato data byla pouze začleněna do celkového výzkumu „PB Blends“, ale v této práci nejsou zahrnuta.

Z analýzy byly nadále vyhodnocené podíly zastoupení fází (I [%] a II [%]) porovnáním ploch píků obou fází. Výpočet celkové krystalinity byl proveden pomocí poměru ploch peaků krystalických oblastí vzorků patřících fázi I (I [%] – roviny 110, 300, 220 a 211) a fázi II (II [%] – roviny 200, 220 a 213). [44] V práci byla po odečtení celkové krystalinity u jednotlivých vzorků uváděna data o obsahu amorfní složky A [%] po roztavení.

Další z vyhodnocených dat byl poločas fázové transformace $r_{\text{II} \rightarrow \text{I}}$. Tato hodnota vyjadřuje čas, kdy se fáze I během přeměny rovná obsahu [%] netransformované fáze II. Jako poslední byla vyhodnocená indukční perioda IP. Vyskytuje se pouze u vzorků s fázovou transformací typu M a z těchto grafů je odvozena jako změna krystalinity za čas. Jde tedy o čas, který uplyne mezi začátkem a náhlým vzrůstem krystalinity (neprobíhá zde žádná nebo téměř žádná přeměna). Dochází zde k vytvoření transformačních zárodků fáze I poté, co byl vzorek ochlazen na pokojovou teplotu. [44]

9.2 RTG analýza – vyhodnocení dat

Byla použita data o stavu vzorku na počátku experimentu. Z těchto dat byly zhotoveny grafy, ze kterých byly získány požadované hodnoty. Hlavní sledovanou hodnotou byl poločas fázové transformace $r_{\text{II} \rightarrow \text{I}}$, podíl amorfní částí A [%], typ transformace (M, N, P) a indukční perioda IP. Tyto hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 5 a rozděleny podle typu příměsi.

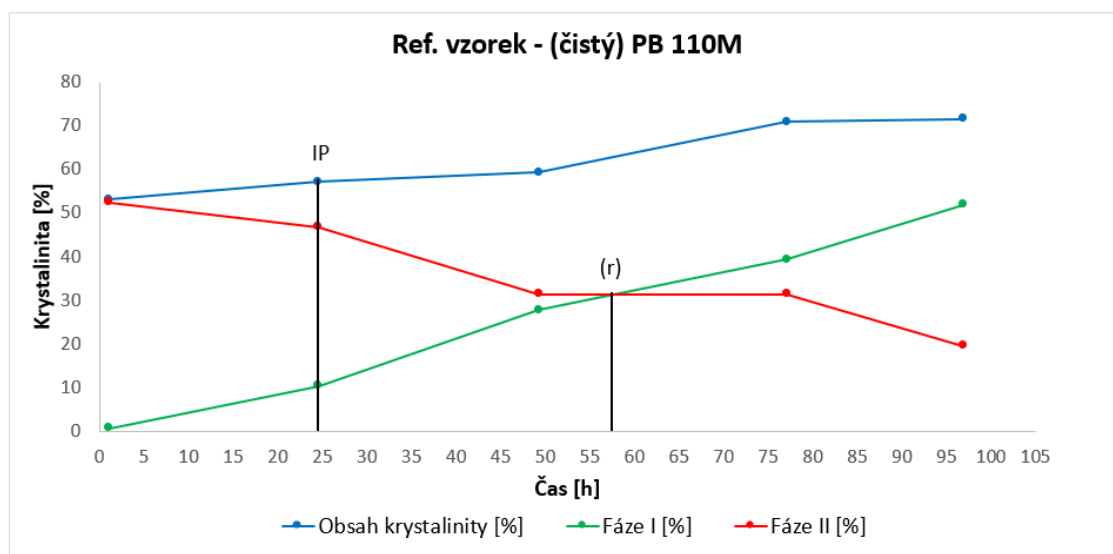
- Příměsi se řadily do tří skupin: termoplasty, elastomery / termoplastické elastomery a nezařazené.

Z tabulky č. 5 byla nadále data použita pro zhotovení 10 grafů (skupin příměsí), ve kterých byly sledovány především změny hodnoty poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ v porovnání s hodnotou poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku. Dále bylo také sledováno a popsáno, jaký vliv mají různé koncentrace příměsí na poločas fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ mezi sebou.

10 VÝSLEDKY Z PROVEDENÝCH ANALÝZ

10.1 Výsledky referenčního vzorku (PB 110M – bez příměsi)

Pro tento výzkum byl zhotoven vzorek čistého PB 110M (bez příměsi) jako referenční vzorek, který sloužil pro porovnání všech zmíněných hodnot vůči hodnotám vzorků obsahujícím příměsi.



Obrázek 34 – Grafické zpracování dat (referenční vzorek PB 110M)

Z grafu na obr. č. 34 lze vidět některé sledované hodnoty pro referenční vzorek. Dle výsledků lze vidět, že šlo o transformaci typu M, a tudíž obsahovala indukční periodu IP, jejíž hodnota byla přibližně 24,4 h. Hodnota poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ byla přibližně 58 h. Hodnotu podílu amorfní fáze A ihned po roztavení nelze vyčíst z grafického výsledku, jelikož je zde sledován podíl krystalické fáze K ihned po roztavení, který má hodnotu 53 %. Díky této hodnotě byla v MS Excel dopočítána hodnota $A = 47 \%$. Stejným způsobem byly vyhodnoceny vzorky obsahující příměsi.

10.2 Výsledky vzorků obsahující příměsi

Výsledná data získaná z RTG difrakční analýzy vzorků obsahující příměsi byla pomocí MS Excel vyhodnocena a zapsána do tabulky č. 5.

Byly sledovány stejné hodnoty jako u referenčního vzorku: poločas fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$, typ fázové transformace, indukční perioda IP, podíl krystalické fáze K a podíl amorfní fáze A ihned po roztavení.

Tabulka 5 – Vyhodnocená data vzorků obsahující termoplastické příměsi část I (RTG analýza)

Vzorek	Příměs	Procento příměsi [%]	Pol. fáz. tr. (r) [h]	Typ fáz. tr.	Indukční perioda (IP) [h]	Podíl amorf. fáze ihned po roztavení (A) [%]
PB110M						
TERMOPLASTY						
	PE	1	39,8	M	23,8	55
	PE	1	45,6	M	35	42
	PE	5	46,5	M	20,4	40
	PE	10	56,4	M	23,9	43
	LDPE	1	41,3	M	21,5	43
	LDPE	5	34,5	N	X	60,4
	LDPE	10	38,3	M	17,5	57
	LDPE	10	44	N	X	57
	LDPE	20	45	M	19	63,7
	LDPE	20	39	N	X	59
	LDPE	25	36,1	M	21	57
	LDPE	30	49	N	X	61
	LDPE	40	46	M	18	61
	LDPE	50	44	N	X	60,5
	LDPE	60	44	N	X	61,6
	LDPE	70	48	M	17,5	62
	LDPE	80	44	M	17	61
	LDPE	90	44	N	X	59,5
	HDPE	5	12,8	N	X	55
	HDPE	5	13,4	M	2	40
	HDPE	10	21,4	N	X	53
	HDPE	10	25	M	2	40
	HDPE	20	40	M	25,5	49
	HDPE	30	26	M	25,6	49
	HDPE	40	32	N	0,95	43
	HDPE	50	33	M	1,1	48
	HDPE	60	40	N	1,25	57
	HDPE	70	42	N	1,3	53
	LLDPE	5	35	M	21,1	56,7
	LLDPE	10	42	M	20,9	58
	LLDPE	10	37	M	17,5	59
	LLDPE	20	42	M	17,2	55
	LLDPE	20	38	M	21,2	57
	DP 8510	5	47	M	24	52
	SAN	1	71,9	M	23,7	61
	SAN	1	61,9	M	22,9	44
	SAN	5	66,7	M	23,8	60
	SAN	5	55,9	M	25	43
	SAN	10	58	M	23,8	60
	SAN	10	61	M	19,9	48
	ABS	1	34,6	M	21,2	54
	ABS	1	40,1	M	22	45
	ABS	5	43,9	M	21	55
	ABS	5	37,4	M	24,1	41
	ABS	10	53,9	M	21	56,4

Tabulka 6 – Vyhodnocená data vzorků obsahující termoplastické příměsi část II (RTG analýza)

Vzorek	Příměs	Procento příměsi [%]	Pol. fáz. tr. (r) [h]	Typ fáz. tr.	Indukční perioda (IP) [h]	Podíl amorf. fáze ihned po roztavení (A) [%]
PB110M						
TERMOPLASTY						
	PET	1	48,4	M	21,4	60
	PET	1	47,2	M	18,5	46
	PET	5	57,8	M	23,7	47
	PET	10	70,5	M	21,5	60
	PET	10	69,8	M	24,1	41
	iPP	1	59,9	M	23	37
	iPP	5	42,2	M	22,7	63
	iPP	10	32,2	M	18	48
	iPP	25	34	M	23,2	45
	aPP	0,5	190	M	113	61
	aPP	1	355	M	288	61
	aPP	1,5	320	M	217	54
	aPP	2,3	653	M	456	63
	PLA	1	71,4	M	24,9	59,7
	PLA	5	71,8	M	23	44
	PLA	10	70,9	M	22,4	46
	Surlyn 9910	1	54,1	M	18,2	43
	Surlyn 9910	5	81,9	M	23,1	49
	Surlyn 9910	10	71,5	M	21,2	65
	Surlyn 9910	10	73	M	24	45
	POM	1	65,1	M	19	43
	POM	5	70	M	22,5	42
	POM	10	71,8	M	21,9	43
	PS	5	47	M	16	58
	PS	10	49	M	16	60
	PS	20	50	M	16	65
	aPS	5	36	N	X	68
	PA 6.6	1	36,7	M	23,4	58
	PA 6.6	1	31,5	M	20,5	68
	PA 6.6	5	31,7	M	19,9	56
	PA 6.6	10	34,7	M	19,9	55
	PA 6	1	53,7	M	22,4	57
	PA 6	5	55	M	22,2	54
	PA 6	10	32,1	M	20,6	57
	PVC - Folie	5	41	M	22	56
	PVC - Powder	5	39	M	22	56
	PMMA	5	48	M	22	55
	CA	5	75	M	20	64
	PVA	5	43	N	X	62
	PVB	5	53	N	X	65

Tabulka 8– *Vyhodnocená data vzorků obsahující elastomerní a termoplasticky elastomerní příměsi (RTG analýza)*

Vzorek	Příměs	Procento příměsi [%]	Pol. fáz. tr. (r) [h]	Typ fáz. tr.	Indukční perioda (IP) [h]	Podíl amorf. fáze ihned po roztavení (A) [%]
PB110M						
ELASTOMERY						
	Ethylenokten	1	75	M	25	28
	Ethylenokten	5	86,5	M	24,9	43
	Ethylenokten	10	83,7	M	21,8	47
	Ethylenpropylen	5	67	M	15	62
	EVA	1	66,3	M	23,6	59
	EVA	1	70,9	M	25	41
	EVA	5	68,8	M	23,7	62
	EVA	5	71	M	24,9	44
	EVA	10	85	M	22	47
	TPE	1	45,5	M	21	60
	TPE	1	51,8	M	18,6	41
	TPE	5	32,4	M	25,4	46
	TPE	5	28,2	M	2	44
	TPE	10	17	N	X	64
	TPE	10	19,2	M	1,9	47
	NR	1	47,5	M	23,2	57
	NR	5	47,1	M	22,6	56
	EPM	5	68	M	17	62

Tabulka 7– *Vyhodnocená data vzorků obsahující nezařazené příměsi (RTG analýza)*

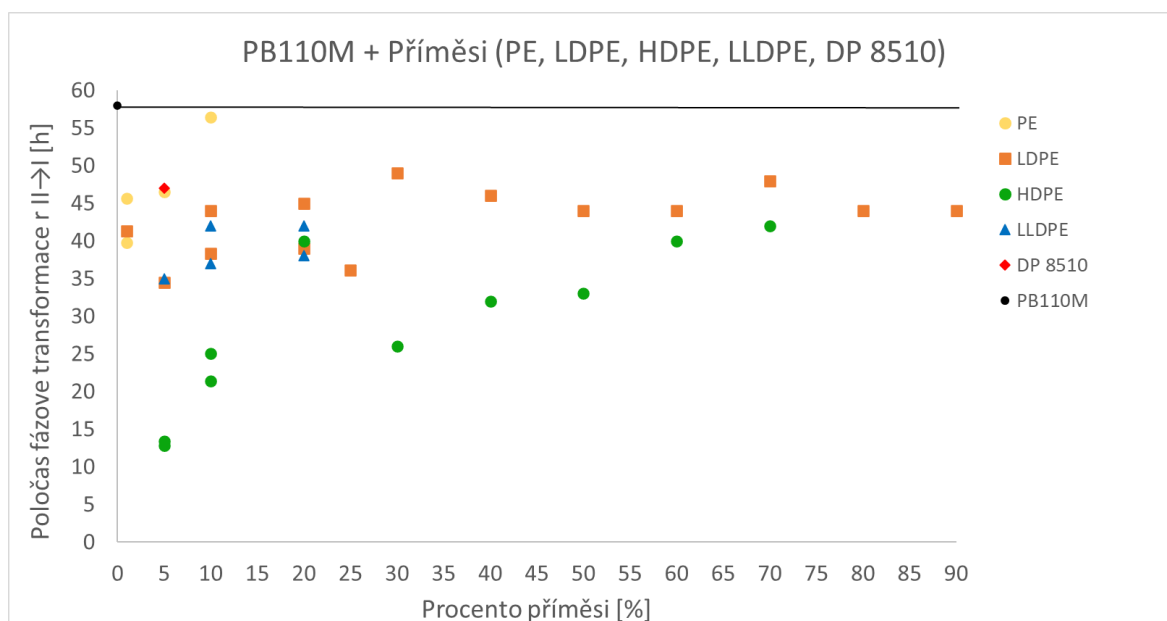
Vzorek	Příměs	Procento příměsi [%]	Pol. fáz. tr. (r) [h]	Typ fáz. tr.	Indukční perioda (IP) [h]	Podíl amorf. fáze ihned po roztavení (A) [%]
PB110M						
NEZAŘAZENÉ						
	Parafín	1	6,3	M	1,9	32
	Parafín	5	11,8	N	X	56
	Parafín	5	16,1	N	X	36
	Parafín	5	17,4	M	1,9	44
	Parafín	10	11,7	N	X	50
	Parafín	10	11,1	N	X	42
	Parafín	10	9,5	M	1,9	42
	Parafín	25	7,3	M	2,1	61,8
	EBS	1	56,9	M	23,9	58
	EBS	1	66	M	21	45
	EBS	5	69,6	M	23,9	61
	EBS	5	79	M	25	45
	EBS	10	51	M	25	49

11 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ REF. VZORKU S VÝSLEDKY VZORKŮ OBSAHUJÍCÍCH PŘÍMĚSI

V následující části byly data zpracována do grafů. Zkoumané vzorky byly rozděleny do tří skupin (termoplasty, elastomery/termoplastické elastomery a nezařazené) podle vlastností jejich příměsí. Každý vzorek byl pro lepší přehlednost vyznačen odlišnou barvou. **Referenční vzorek (PB 110M) je v grafech vždy vyznačen černou barvou jako přímka a jeho hodnota poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ je 58 h.** Tento vzorek také slouží pro porovnání hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ vůči dalším zkoumaným vzorkům obsahujícím příměsí, díky čemuž lze určit, zda měla konkrétní příměs pozitivní (dojde k snížení poločasu fázové transformace), negativní (dojde k zvýšení poločasu fázové transformace), nebo nepatrný vliv na poločas fázové transformace.

11.1 Vzorky s termoplastickými příměsemi

11.1.1 Příměsi PE, LDPE, HDPE, LLDPE, DP 8510



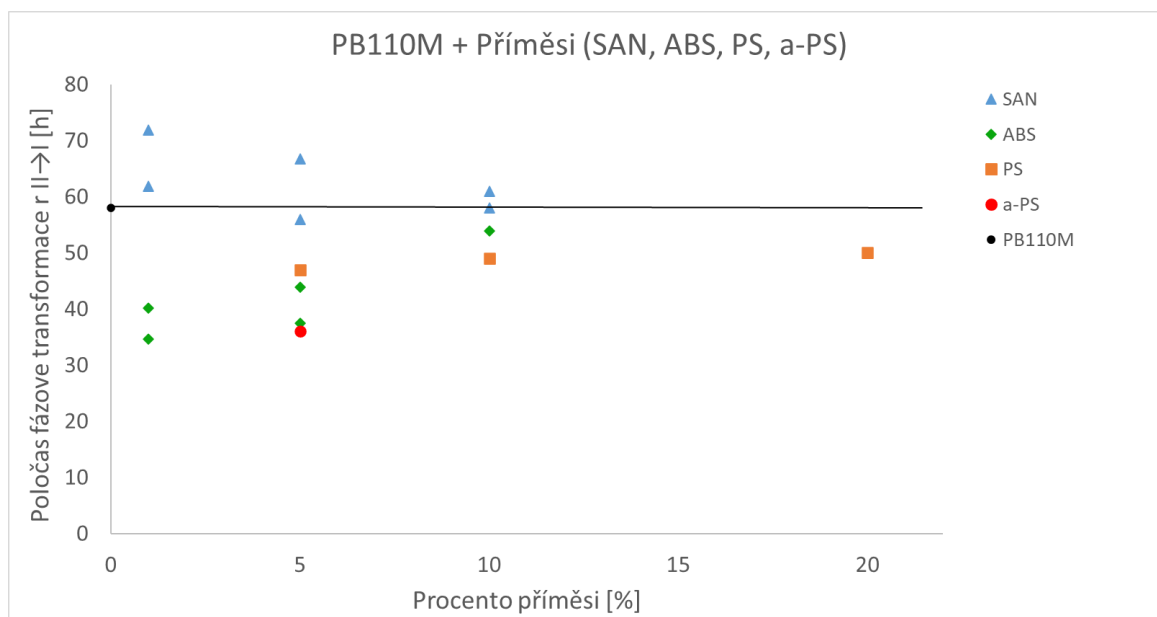
Obrázek 35 – Grafické výsledky vzorků s příměsí PE, LDPE, HDPE, LLDPE a DP 8110

Z grafu na obrázku č. 35 lze pozorovat, že hodnoty poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ u vzorků s příměsí PE (žlutě) postupně narůstaly se zvyšujícím se procentem příměsí. Vzorky obsahující příměs LDPE (oranžově) nevykazovaly s narůstajícím procentem příměsí výraznější rozdíly hodnot $r_{II \rightarrow I}$ a od 30 % příměsí je hodnota $r_{II \rightarrow I}$ v průměru 45,5 h. Lze tedy předpokládat, že vzorkům obsahující LDPE vyhovují menší % příměsí. Vzorky obsahující příměs HDPE (zeleně) vykazovaly s narůstajícím % příměsí postupné zvyšování

hodnoty $r_{II \rightarrow I}$. Stejně jako u vzorků s příměsí LDPE lze předpokládat, že vzorkům s HDPE vyhovují menší % příměsí. Vzorky obsahující LLDPE (modře) nevykazovaly s narůstajícím % příměsí výraznější rozdíly v $r_{II \rightarrow I}$, kdy průměrná hodnota $r_{II \rightarrow I}$ byla přibližně 38,8 h. Vzorek obsahující 5 % DP 8510 byl hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ velmi podobný vzorku s příměsí 5 % LDPE. Byl zhotoven pouze vzorek, který obsahoval 5 % DP 8510, ale vzhledem k podobným vlastnostem byl přiřazen do výzkumu k polyethylenům.

Při celkovém porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku (černě) lze předpokládat, že všechny použité příměsi v grafu na obr. č. 35 pozitivně ovlivnily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$, kdy došlo k jejímu snížení. Z výsledku je dále viditelné, že pro všechny typy příměsí je vhodnější použít nižší % příměsí (dle výsledků do 20 %) ve vzorcích. S narůstajícím % příměsí docházelo ke zvýšení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$, nebo se hodnota výrazně neměnila. Pro upřesnění výsledků pro vzorky obsahující příměs DP 8510 by bylo vhodné připravit a změřit vzorky obsahující další koncentrace (1 % a 10 %).

11.1.2 Příměsi SAN, ABS, PS, a-PS



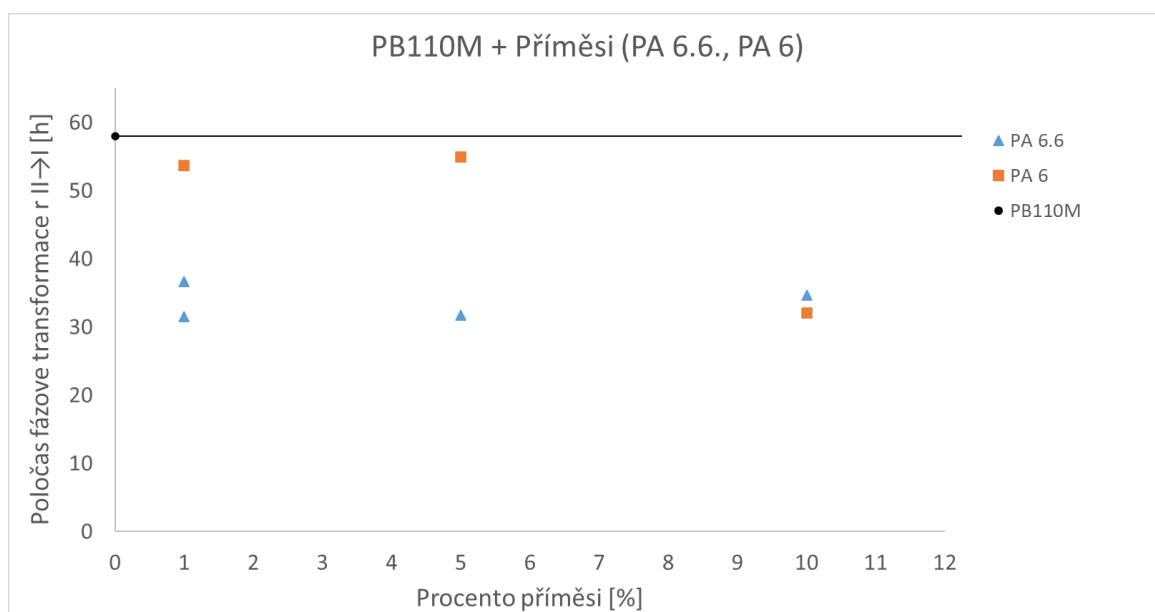
Obrázek 36– Grafické výsledky vzorků s příměsí SAN, ABS, PS, a-PS

Z grafu na obrázku č. 36 lze pozorovat, že hodnoty poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ u vzorků s příměsí SAN (modře) postupně klesaly se zvyšujícím se procentem příměsí. Lze tak usoudit, že pro příměs SAN jsou vhodnější vyšší koncentrace příměsí. Vzorky obsahující příměs ABS (zeleně) vykazovaly s narůstajícím procentem příměsí zvýšení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$. Lze tedy předpokládat, že vzorkům obsahující ABS vyhovují menší % příměsí. Vzorky obsahující příměs PS (oranžově) nevykazovaly výraznou změnu hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ při různých

koncentracích příměsí, celkově však všechny vzorky obsahující PS snížily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. Vzorek obsahující 5% příměsí a-PS (červeně) byl hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ velmi podobný vzorku s příměsí 5 % ABS. Byl zhotoven pouze jeden vzorek s obsahem 5 % a-PS, ale vzhledem k podobným vlastnostem byl přiřazen do výzkumu ke skupině styrenů.

Při celkovém porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku (černě) lze vidět, že vzorky v grafu na obr. č. 36 obsahující příměsí ABS, PS a a-PS pozitivně ovlivnily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$, kdy došlo k jejímu snížení. Se zvyšujícím se % příměsí však docházelo k nárůstu hodnoty $r_{II \rightarrow I}$, je tedy vhodné předpokládat, že těmto vzorkům vyhovují nižší koncentrace příměsí (dle výsledků do 5 %). Vzorky obsahující příměs SAN naopak hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ zvýšily. S rostoucím % příměsí se hodnota $r_{II \rightarrow I}$ začala shodovat s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku. U vzorků s příměsí SAN lze předpokládat, že vzorkům vyhovují vyšší koncentrace příměsí (dle výsledků přibližně od 10 %).

11.1.3 Příměsí PA 6, PA 6.6



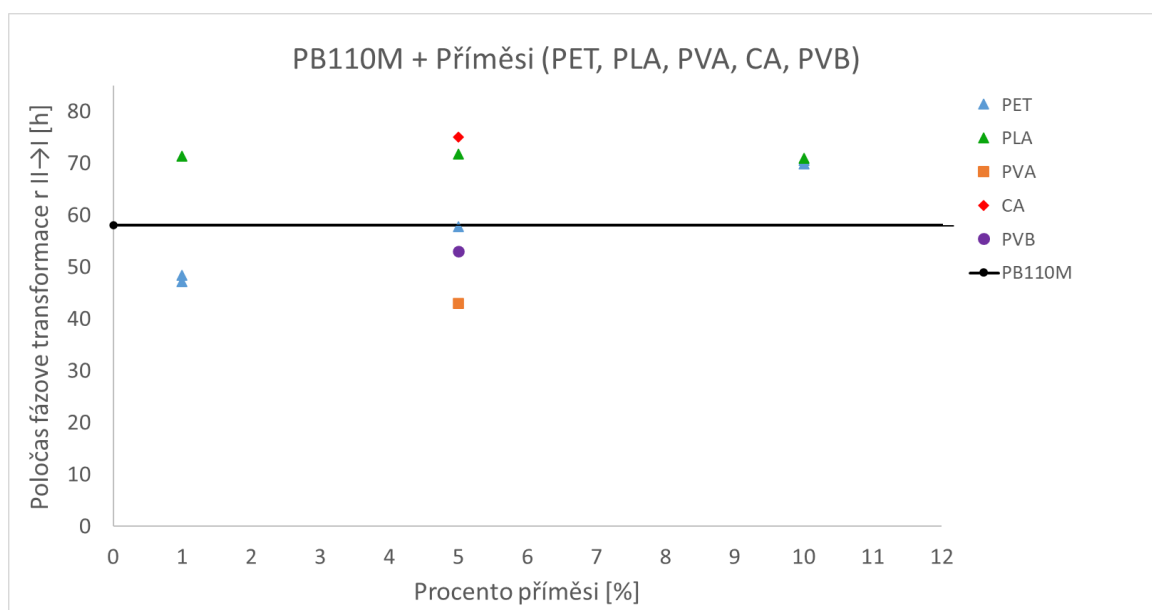
Obrázek 37 – Grafické výsledky vzorků s příměsí PA 6, PA 6.6

Z grafu na obrázku č. 37 lze pozorovat, že u vzorků s příměsí PA 6.6 (modře) nedošlo k výrazným změnám hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ s narůstajícím % příměsí. Průměrná hodnota $r_{II \rightarrow I}$ u těchto vzorků byla přibližně 33,7 h. Podle výsledného grafu však došlo k nepatrnému nárůstu hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ při obsahu 10 %. Lze tedy předpokládat, že výraznější změny by se mohly projevit při vyšších koncentracích příměsí PA 6.6 (nad 10 %). Vzorky obsahující PA 6 (oranžově) měly do 5 % přibližně stejnou hodnotu $r_{II \rightarrow I}$, až při koncentraci 10 % došlo

k výraznějšímu poklesu hodnoty $r_{II \rightarrow I}$. Lze tedy předpokládat, že stejně jako u PA 6.6 vyhovují vzorkům s příměsí PA 6 vyšší obsahy příměsí.

Při celkovém porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku (černě) lze předpokládat, že všechny použité příměsi v grafu na obr. č. 37 pozitivně ovlivnily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$, kdy došlo k jejímu snížení. Výraznější snížení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ bylo však pozorováno u vzorků s příměsí PA 6.6. U vzorků PA 6 bylo výraznější snížení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ pozorováno až při koncentraci 10 %. U těchto výsledků se však musí vzít v potaz i to, do jaké míry bylo snížení poločasu fázové transformace vzorků ovlivněno vysokou teplotou při přípravě vzorků. Pro ideální zamíchání příměsí PA 6 a PA 6.6 s materiál PB110M bylo potřeba navýšit teploty jednotlivých pásem dvoušneku z původních 165/140/140 °C na teploty 280/270/265 °C. Teplota tání u použitého i-PB-1 se pohybuje v rozmezí 117–128 °C, zatímco teplota tečení u PA 6 a PA 6.6 je přibližně 260–280 °C.

11.1.4 Příměsi PET, PLA, PVA, CA, PVB

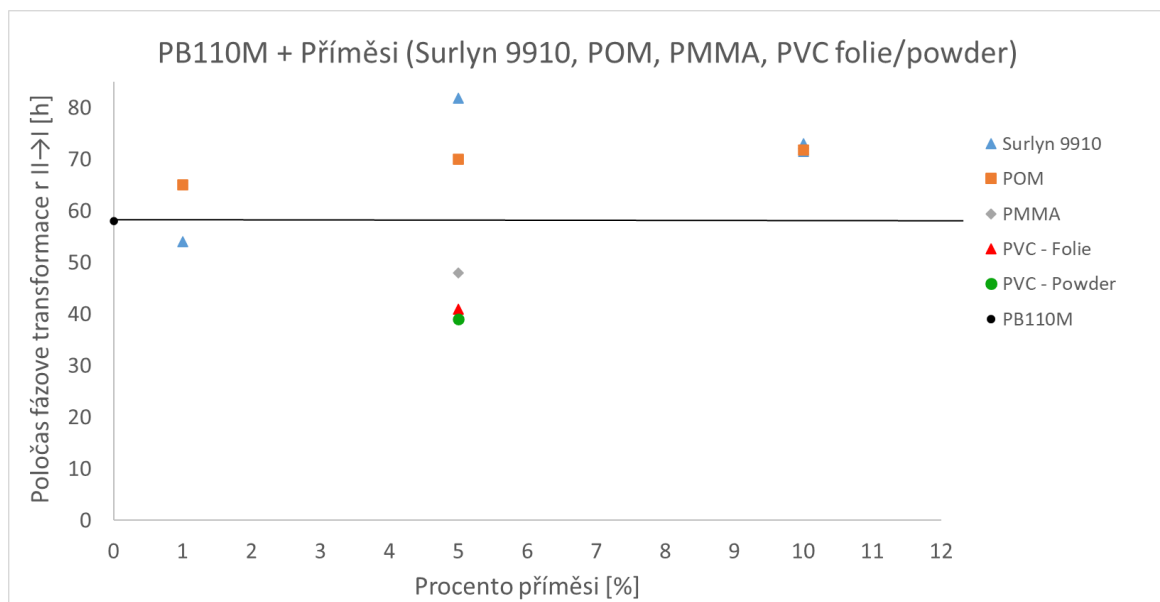


Obrázek 38 – Grafické výsledky vzorků s příměsí PET, PLA, PVA, CA, PVB

Z grafu na obrázku č. 38 lze pozorovat, že hodnoty poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ u vzorků s příměsí PET (modře) postupně narůstaly se zvyšujícím se % příměsí. Lze tak usoudit, že pro příměs PET jsou vhodnější nižší koncentrace příměsí. Vzorky obsahující příměs PLA (zeleně) nevykazovaly téměř žádnou změnu hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ při různých % příměsí, celkově však tyto vzorky zvýšily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. U vzorků obsahující příměsí 5 % PVA (oranžově) a 5 % PVB došlo ke snížení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$. Vzorek obsahující 5 % CA (červeně) naopak hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ zvýšil.

Při celkovém porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku (černě) lze vidět, že vzorky v grafu na obr. č. 38 obsahující příměs PLA a CA zvýšily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. U vzorků obsahujících příměs PET bylo dosaženo nižší hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ pouze v případě vzorku obsahujícího 1 % příměsi. V případě 5 % byla hodnota $r_{II \rightarrow I}$ srovnatelná s hodnotou referenčního vzorku a vzorek s 10 % příměsi měl již výrazně vyšší hodnotu než referenční vzorek. Lze tedy předpokládat, že vzorky s příměsí PET vyhovují koncentrace nižší než 1 % příměsi. Vzorek obsahující 5 % příměsi PVA a PVB snížil hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ oproti referenční hodnotě. Vzorky s obsahem PVA, PVB a CA byly k dispozici pouze s 5 % příměsi. Pro upřesnění výsledků pro tyto dva vzorky je vhodné připravit a změřit vzorky obsahující další koncentrace (1 % a 10 %) příměsi.

11.1.5 Příměsi Surlyn 9910, POM, PMMA, PVC folie / powder



Obrázek 39– Grafické výsledky vzorků s příměsí Surlyn 9910, POM, PMMA, PVC folie / powder

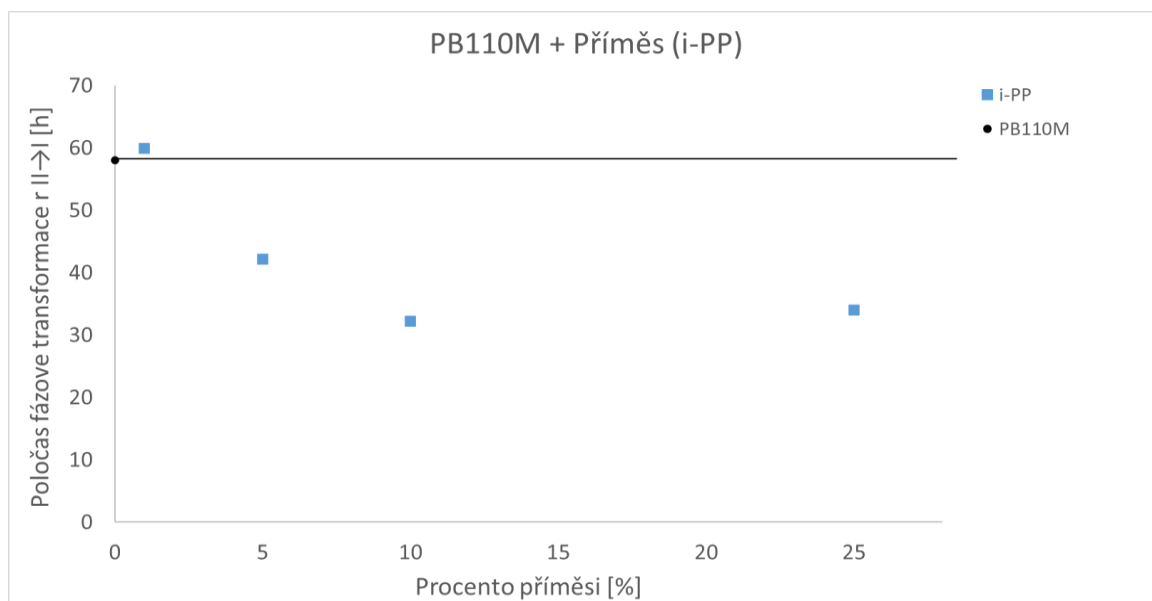
Z grafu na obrázku č. 39 lze pozorovat, že hodnoty poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ u vzorků s příměsí Surlyn 9910 (modře) měly proměnlivé chování při rozdílných % příměsi. Dle výsledků lze předpokládat, že této příměsi budou vyhovovat menší koncentrace příměsi (pod 1 %). Vzorky obsahující větší koncentraci než 1 % spíše zvýšily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. U vzorků obsahujících příměs POM (oranžově) hodnota $r_{II \rightarrow I}$ narůstala se zvyšujícím se % příměsi. Rozdíl nárůstu mezi vzorky s příměsí POM však nebyl příliš znatelný a dle výsledků lze předpokládat, že vzorkům obsahujícím POM budou vyhovovat menší koncentrace příměsi (pod 1 %). Vzorek obsahující 5 % PMMA (šedě) snížil hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. Vzorky obsahující 5 % PVC (folie – červeně a powder – zeleně) také snížily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. Lze tedy

předpokládat, že u příměsi PVC (v pevném skupenství) nehraje významnou roli, v jaké formě (folie / prášek) je tato příměs přimíchána do PB 110M. Dle výsledků měly oba vzorky obsahující příměs PVC přibližně stejnou hodnotu $r_{II \rightarrow I}$, kdy jejich rozdíl činil přibližně 2 hodiny s tím, že nižší hodnota $r_{II \rightarrow I} = 39$ h byla naměřena u vzorku obsahující PVC ve formě prášku.

Při celkovém porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku (černě) lze vidět, že vzorky v grafu na obr. č. 39 obsahující příměs Surlyn 9910 a POM zvýšily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. Vzorky obsahující příměs PMMA, PVC folie / powder hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ snížily. Pro upřesnění výsledků těchto příměsí je vhodné připravit a změřit vzorky obsahující další koncentrace (1 % a 10 %) příměsí.

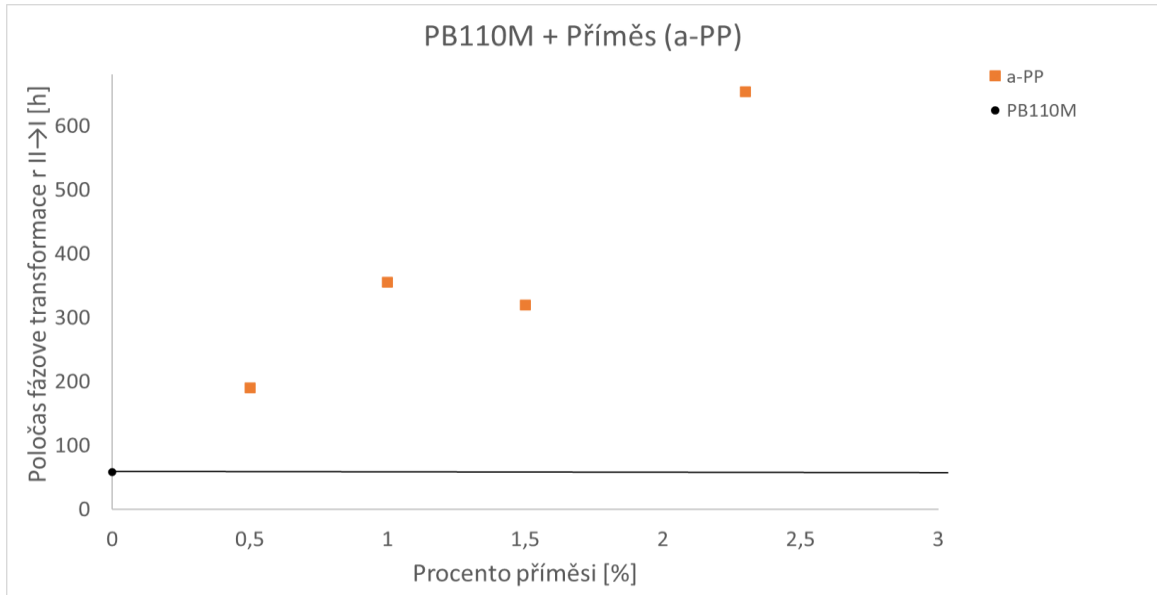
11.1.6 Příměsi i-PP, a-PP

Vzhledem k příliš vysokým rozdílům v hodnotách $r_{II \rightarrow I}$ byly tyto dvě příměsi rozděleny do samostatných grafů.



Obrázek 40 – Grafické výsledky vzorků s příměsí i-PP

Z grafu na obrázku č. 40 lze vidět, že vzorky obsahující příměs i-PP (modře) postupně snižovaly hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ s rostoucím % příměsí, kdy u vzorků obsahující 10 % a 25 % byl rozdíl v hodnotě $r_{II \rightarrow I}$ neznatelný. Při porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku (černě) lze vidět, že příměs i-PP snižuje hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ ve všech případech kromě vzorku obsahující 1 % i-PP, kde byla hodnota $r_{II \rightarrow I}$ nepatrně vyšší. Dle výsledků tak lze předpokládat, že této příměsí vyhovují koncentrace mezi 5–10 %.



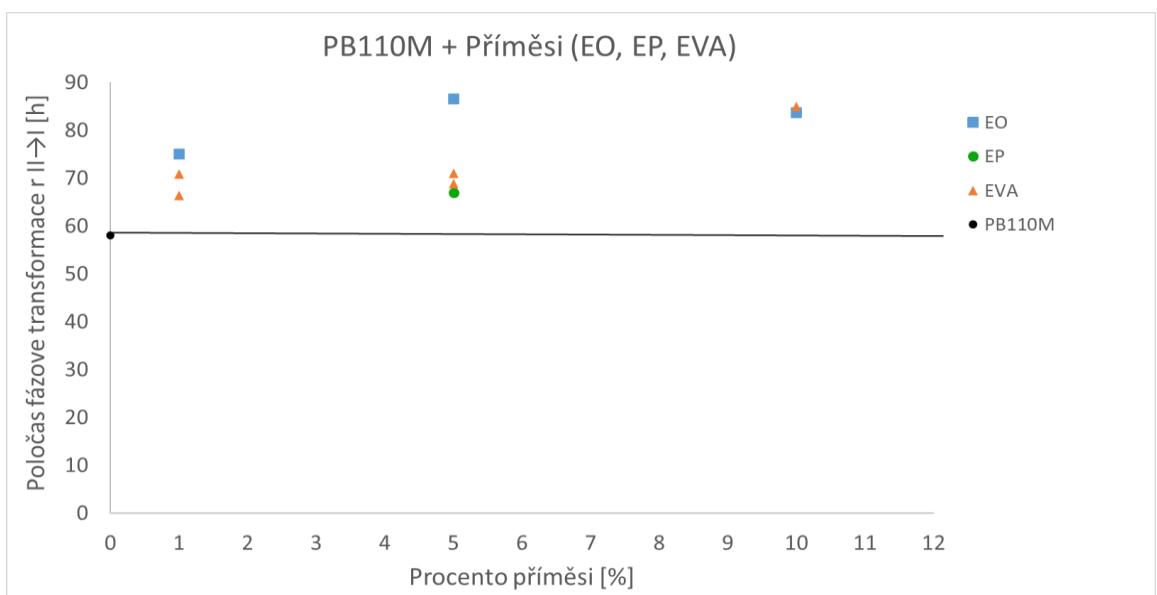
Obrázek 41 – Grafické výsledky vzorků s příměsí a-PP

Z grafu na obrázku č. 41 lze vidět, že vzorky obsahující příměs a-PP (oranžově) výrazně navýšily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$.

Při porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku (černě) lze vidět, že příměs a-PP extrémně zvyšuje hodnotu $r_{II \rightarrow I}$.

11.2 Vzorky s elastomerními a termoplasticky elastomerními příměsemi

11.2.1 Příměsi EO, EP, EVA

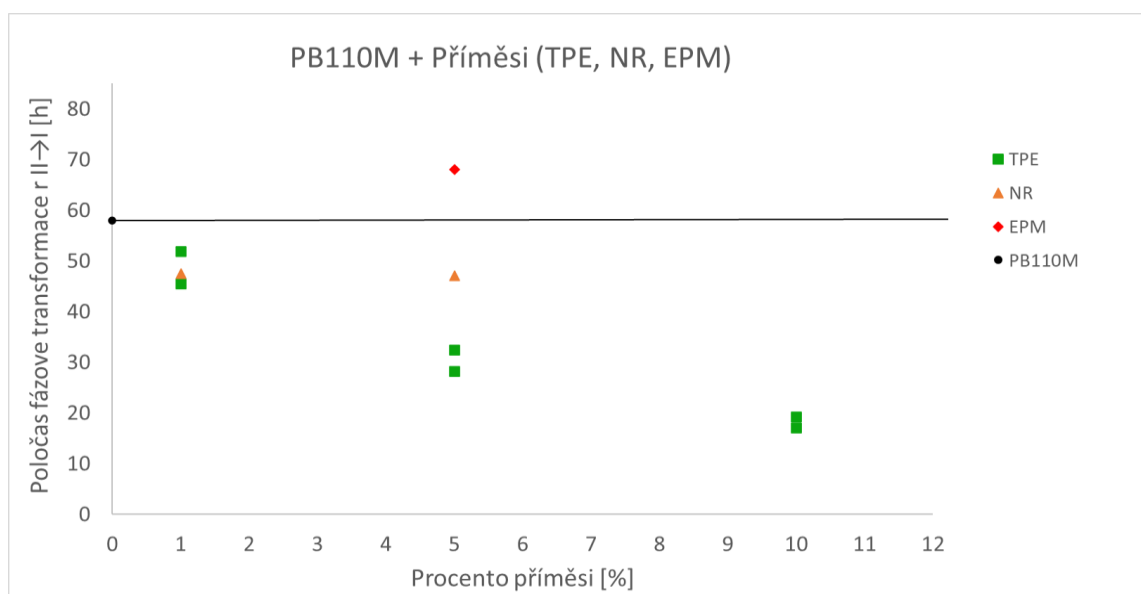


Obrázek 42 – Grafické výsledky vzorků s příměsí EO, EP, EVA

Z grafu na obrázku č. 42 lze pozorovat, že hodnoty poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ byly u vzorků s příměsí EO (modře) zvýšeny. Od obsahu 5 % EO však $r_{II \rightarrow I}$ neměnil výrazněji svoji hodnotu. Z výsledku tak lze usoudit, že ke snížení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ by mohlo dojít při nižších koncentracích než 1 %. Výsledky vzorků obsahujících příměs EVA (oranžově) vykazovaly postupný nárůst hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ se zvyšujícím se % příměsí. Vzorek obsahující 5 % EP (zeleně) měl za účinek zvýšení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$.

Při celkovém porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku (černě) lze vidět, že všechny příměsi použité v grafu na obr. č. 42 měly negativní vliv na hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ a došlo k jejímu zvýšení. Pro upřesnění výsledku u vzorku s příměsí EP by bylo vhodné připravit a změřit vzorky obsahující další koncentrace (1 % a 10 %) příměsí.

11.2.2 Příměsi TPE, NR, EPM



Obrázek 43 – Grafické výsledky vzorků s příměsí TPE, NR, EPM

Z grafu na obrázku č. 43 lze pozorovat, že u vzorků s příměsí TPE (zeleně) došlo k postupnému snižování hodnoty poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ s narůstajícím % příměsí. Vzorky obsahující příměs NR nejevily téměř žádné změny v hodnotách $r_{II \rightarrow I}$ při odlišných koncentracích, i přesto byla hodnota $r_{II \rightarrow I}$ snížena. Vzorek obsahující 5 % EPM měl negativní účinek na hodnotu $r_{II \rightarrow I}$.

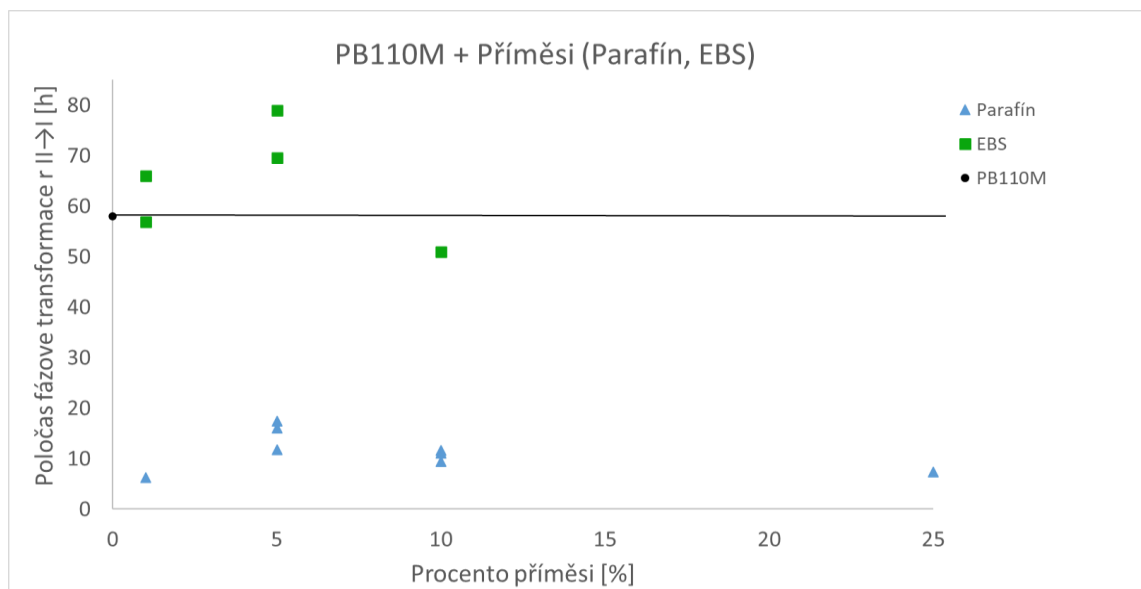
Při celkovém porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku (černě) lze vidět, že vzorky s příměsemi TPE a NR měly nižší hodnotu $r_{II \rightarrow I}$, kdy k velmi výraznému poklesu došlo především u vzorků obsahujících příměs TPE. Dle výsledků lze předpokládat, že této příměsí

vyhovují vyšší koncentrace. Pro upřesnění výsledků u vzorku s příměsí EPM by bylo vhodné připravit a změřit vzorky obsahující další koncentrace (1 % a 10 %) příměsí.

11.3 Vzorky s nezařazenými příměsemi

Jde o příměsi, které nespádají do skupiny plastů – polymerů.

11.3.1 Příměsi Parafín, EBS



Obrázek 44 – Grafické výsledky vzorků s příměsí Parafín, EBS

Z grafu na obrázku č. 44 lze pozorovat, že se hodnoty poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ u vzorků s příměsí Parafínu téměř nelišily. Průměrná hodnota těchto vzorků byla přibližně $r = 11,4$ h. Lze tak předpokládat, že použití odlišných obsahů příměsí (1 % - 25 %) nemá výraznější vliv na hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. U vzorků obsahujících příměs EBS (zeleně) docházelo do koncentrace 5 % k zvyšování hodnoty $r_{II \rightarrow I}$. Vzorek, který obsahoval 10 % příměsí EBS, měl naopak hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ nižší. Lze tedy předpokládat, že příměsi EBS vyhovují spíše koncentrace (nad 10 %).

Při celkovém porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku (černě) lze vidět, že vzorky s příměsemi Parafínu a PVB měly nižší hodnotu $r_{II \rightarrow I}$, kdy k velmi výraznému poklesu došlo především u vzorků obsahujících příměs Parafín. Pro upřesnění výsledků u vzorku s příměsí PVB by bylo vhodné připravit a změřit vzorky obsahující další koncentrace (1 % a 10 %) příměsí. Vzorky obsahující příměs EBS naopak hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ ovlivnily negativně. Výjimku tvoří pouze vzorek obsahující 10 % EBS. Pro upřesnění výsledků by bylo vhodné připravit a změřit vzorky obsahující vyšší koncentrace (od 10 %).

12 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Z výsledků lze vidět, že u vzorků obsahujících termoplastické příměsi měla největší pozitivní vliv na hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ příměs HDPE v porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I} = 58$ h referenčního vzorku. Konkrétně šlo o vzorek obsahující příměs 5 % HDPE a jeho hodnota $r_{II \rightarrow I} = 12,8$ h. Toto mohlo být způsobeno tím, že HDPE má dlouhé lineární řetězce, které snadno krystalizují a jsou drženy pohromadě slabšími Van der Waalsovými nebo vodíkovými vazbami, jelikož je HDPE nepolárního charakteru. Naopak nejnegativnější vliv na hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ měla příměs a-PP, kdy vzorek obsahující 2,3 % a-PP měl hodnotu $r_{II \rightarrow I} = 653$ h. Takto výrazně vyšší hodnota byla pravděpodobně zapříčiněna vysokou viskozitou, kdy se a-PP chovalo spíše jako zahušťovadlo, které zpomalovalo segmentální pohyblivost i-PB-1 a došlo ke zpomalení řetězců i-PB-1. Z výsledků pro vzorek s příměsí 2,3 % a-PP bylo možné vidět, že příměs a-PP monumentálně zvýšila indukční periodu $IP = 456$ h. Během dalších přibližně 173 h i tak nedošlo k výraznému růstu krystalů i-PB-1. U všech ostatních vzorků obsahujících jiné příměsi než a-PP byl zaznamenán výrazně rychlejší kontinuální růst krystalů i-PB-1. Lze tedy předpokládat, že příměs a-PP nejen že blokuje růst krystalů i-PB-1, ale také zpomaluje samotné vytváření zárodků nukleí i-PB-1.

Výsledky vzorků obsahujících elastomerní a termoplasticky elastomerní příměsi ukázaly, že největší pozitivní vliv na hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ v porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku měla příměs TPE. Jednalo se o vzorek obsahující 10 % TPE a jeho $r_{II \rightarrow I} = 17$ h. Toto mohlo být způsobeno například obsahem plastifikátoru nebo změkčovadla v TPE, což může mít za následek zvýšení segmentální pohyblivosti i-PB-1. Naopak vzorek obsahující 5 % EO měl nejnegativnější vliv na $r_{II \rightarrow I} = 86,5$ h. Příměs EO se v tomto případě mohla zachovat jako inhibitor, který by negativně ovlivnil nukleaci a zpomalil tak proces rekrystalizace.

Dle výsledků obsahujících nezařazené příměsi lze vidět, že největší pozitivní vliv měla na hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ příměs Parafinu v porovnání s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku. Konkrétně se jednalo o vzorek obsahující 1 % Parafinu s hodnotou $r_{II \rightarrow I} = 6,3$ h. Přidáním Parafinu pravděpodobně došlo ke snížení tření a zvýšení flexibility ve směsi, což mělo za následek zvýšení segmentální pohyblivosti i-PB-1. Naopak nejnegativněji ovlivnila hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ příměs EBS, kdy vzorek obsahující 5 % EBS měl hodnotu $r_{II \rightarrow I} = 79$ h. Příčinou může být charakter mezimolekulárních sil i-PB-1. Jestliže mají molekuly EBS a polymerní řetězce i-PB-1 silnou interakci, mohlo dojít ke snížení segmentální rychlosti i-PB-1.

Dle výsledků u vzorků obsahujících termoplastické příměsi (veškerých koncentrací) lze předpokládat, že příměsi PE, HDPE, LDPE, LLDPE, PA 6, PA 6.6, ABS, a-PS, PVC – powder, PVC – folie, PVA, DP 8510, PS, PMMA a PVB čistě pozitivně ovlivnily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. Čistě negativně hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ ovlivnily všechny koncentrace příměsí a-PP, CA, PLA, POM a SAN.

U vzorků obsahujících příměsi Surlyn 9910 a PET se nedalo přímo určit, zdali ovlivňují hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ pouze negativně, nebo pozitivně. Dle výsledků je však pravděpodobnější, že tyto příměsi měly spíše negativní vliv na hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. Naopak je to u vzorků obsahujících příměsi i-PP, kdy měly tyto příměsi spíše pozitivní vliv.

Dle výsledků u vzorků obsahujících elastomerní a termoplasticky elastomerní příměsi (veškeré koncentrace) lze vidět, že příměsi TPE a NR čistě pozitivně ovlivnily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. Čistě negativně byla hodnota $r_{II \rightarrow I}$ ovlivněna u vzorků obsahujících příměsi EVA, EP, EPM a EO (veškeré koncentrace).

Dle výsledků u vzorků obsahujících nezařazené příměsí (veškeré koncentrace) lze vidět, že čistě pozitivně ovlivnily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$ příměsi Parafinu. U vzorků obsahujících koncentrace příměsí EBS se nedalo přímo určit, zdali měla pozitivní, nebo negativní vliv. Dle výsledků lze vidět, že měla příměs EBS spíše negativní vliv na $r_{II \rightarrow I}$.

Při sledování hodnoty podílu krystalické K a amorfni A fáze u vzorků obsahujících termoplastické příměsi nebyla nalezena souvislost mezi těmito dvěma hodnotami a koncentrací příměsí. Podle výsledků první tři vzorky s největším podílem K fáze měly rozdílné koncentrace. Šlo o vzorek obsahující příměs 1 % i-PP s hodnotou $K = 63$ %, vzorek obsahující příměs 5 % HDPE s hodnotou $K = 60$ % a vzorek obsahující 10 % HDPE s hodnotou $K = 60$ %. Lze tedy předpokládat, že podíl příměsí přímo neovlivnil podíly K a A fáze. Toto pozorování bylo provedeno i u zbylých dvou skupin se stejným výsledkem, kdy nebyla nalezena žádná souvislost mezi obsahem příměsí a podíly K a A fáze.

Dále byly sledováno, zda měly hodnoty podílu K a A fáze souvislost s pozitivně ovlivněnou hodnotou $r_{II \rightarrow I}$. Podle výsledků však tato souvislost nebo přímý vliv hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ na podíl K a A fáze nebyla nalezena. U termoplastických příměsí měl například vzorek obsahující 5 % PLA hodnotu $K = 56$ % a $r_{II \rightarrow I} = 71,8$ h, zatímco vzorek s příměsí 5 % HDPE, který nejvíce snížil $r_{II \rightarrow I} = 12,8$ h, měl hodnotu podílu $K = 45$ %. Toto pozorování bylo provedeno na většině vzorků, stejně tak jako na zbylých dvou skupinách

typů příměsí se stejnými výsledky. Lze tedy předpokládat, že pozitivně ovlivněná hodnota $r_{II \rightarrow I}$ neměla přímý vliv na hodnoty podílu K a A fáze.

13 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S DALŠÍMI VÝZKUMY

Vyhodnocené výsledky této diplomové práce byly porovnány s dalšími výzkumy, které měly stejné nebo podobné sledované hodnoty. Celkové porovnání však není možné provést, jelikož v této diplomové práci bylo použito mnoho typů příměsí, kdy nalezené výzkumy pracují s výrazně méně typy příměsí. Dalším problémem jsou samotné podmínky provedení výzkumu. Vážení vzorků, míchání nebo měření mohlo být provedeno v odlišných časových intervalech, různých teplotách a dalších okolních podmínkách.

Ma Ya-Ping et al. se zabývali výzkumem strukturou a vlastnostmi směsí isotaktického polybutenu-1 a isotaktického polypropylenu. Počáteční příprava vzorků Ma Ya-Pinga et al. byla velmi podobná přípravě vzorků provedené v této diplomové práci. Vzorky v jejich výzkumu byly nejprve smíchány a následně mechanicky lisovány při teplotě 190 °C po dobu 5 minut a tlakem 10 MPa. Následně byly při pokojové teplotě ponechány po dobu 10 dnů stárnout. V této diplomové práci byla lisovací teplota 160 °C pod dobu 5 minut a vzorky byly ponechány stárnout po dobu 30 dnů. Dále vzorky této diplomové práce již nebyly upravovány, zatímco u výzkumu Ma Ya-Pinga et al. byly dále vzorky syntetizované v reaktoru pomocí dvoustupňové sekvenční metody polymerizací za použití Ziegler-Nattovy technologie s podporou MgCl₂. [114]

Dle výsledků Ya-Pinga et al. došli k závěru, že směs i-PB-1/i-PP měla výrazný vliv na snížení hodnoty poločasu fázové transformace r II→I. [114] Jejich výsledek se shodoval s výsledky této diplomové práce, kdy podíl K fáze po 10 dnech mě hodnotu $K = 52,2 \%$. [114] Výsledek Ma Ya-Pinga et al. byl také dosti podobný výsledkům, které byly v této diplomové práci zaznamenány u vzorků obsahujících 10 % a 25 % příměsí, kdy jejich hodnoty K fáze byly 52 % a 55 %.

Yan Xiang-jie et al. se zabývali výzkumem vlivu polypropylenu na metastabilní fázi II na stabilní fázi I polybutenu-1. Jejich vzorky byly opět vytvářeny obdobně, kdy byl použit mechanický lis s lisovací teplotou 200 °C po dobu 5 minut a tlaku 16 MPa. Vzorky byly následně ponechány stárnutí při pokojové teplotě po dobu 18 dnů. [115]

Yan Xiang-jie et al. došli k závěru, že směs i-PB-1/PP významně ovlivňuje krystalizační strukturu a transformaci krystalické formy II→I i-PB-1. Nejvyšší rychlost fázové transformace byla zaznamenána u vzorku i-PB-1/PP s podílem 80/20. Při obsahu $PP \leq 20$ hmot. % docházelo k postupnému narůstání rychlosti fázového přechodu r II→I. [115] V této diplomové práci nebyla použita příměs PP, nicméně jejich výsledek odpovídá

výsledkům této diplomové práce získaných ze vzorků obsahující příměs i-PP, kdy se zvyšujícím se % příměsi i-PP docházelo k postupnému snižování poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$. Jestliže v práci Ma Ya-Pinga et al. bylo použito $PP \geq 25$ hmot. %, začalo docházet ke zpomalování poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$. [115] Jejich výsledek se opět shodoval s výsledkem této diplomové práce, kdy u vzorku obsahující 25 % příměsi i-PP došlo ke zvýšení $r_{II \rightarrow I}$.

Michael Nase et al. se zabývali výzkumem effect of polymorphism of isotactic polybutene-1 on peel behavior of polyethylene/polybutene-1 peel system. Jejich příprava vzorků se zde zcela lišila od přípravy vzorků v této diplomové práci. Příprava vzorků provedená Nasem et al. následovně: Smíchaná směs vzorků byla vložena do zředěného roztoku za účelem vytvořit dispergovaný stav. Tento stav se udržel ve zředěném roztoku při tuhnutí rozpouštědla a následné sublimaci. Roztok polymeru byl poté po kapkách přidán do kapalného dusíku k rychlému zmrazení a rozpouštědlo bylo sublimováno ve vakuu. Cílem tohoto postupu bylo rozplést molekulové řetězce. [116]

Dle výsledků Nase et al. došlo u vzorků obsahujících příměs LDPE ke snížení poločasu fázové transformace. [116] V této diplomové práci bylo u všech vzorků obsahující příměs LDPE zaznamenány stejné výsledky, kdy také došlo ke snížení poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$. Nicméně jak již bylo zmíněno, tyto dvě práce mají naprosto odlišný postup přípravy vzorků a porovnání těchto výsledků nemusí být relevantní. V obou pracích byl zaznamenán problém mísení těchto dvou složek. Použitý typ míchání (vytlačovací stroj – dvoušnek) nebyl schopen materiály promísit. Proto je pravděpodobné, že příprava vzorků provedená Nasem et al. byla více efektivní. Materiály se nemísí z důvodu kompatibility blokových polymerů. [116]

Kaszoniová et al. se zabývali vlivem některých fyzikálních faktorů na fázový přechod $II \rightarrow I$ izotaktického polybutenu-1. Část vzorků tohoto výzkumu byla připravena obdobným způsobem jako v této diplomové práci. Vzorky připravené Kaszoniovou et al. byly roztaveny a lisovány při teplotě 160 °C po dobu 5 minut do tvaru desky s 1 mm tloušťky. Vzorky byly poté volně chlazeny při pokojové teplotě. Kaszoniová et al. došli k závěru, že použité příměsi i-PP, Parafín a HDPE snížil hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. Dále byly jejich v práci zmíněny příměsi LDPE, a-PS, PMMA, PVA a PLA, které částečně ovlivnily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. [44] Výsledky této diplomové práce byly opět srovnatelné u těchto příměsí, kdy všechny zmíněné příměsi (kromě PLA) pozitivně ovlivnily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. Ve výzkumu Kaszoniové et al. byly také zmíněny příměsi a-PP a EPM, které výrazně snížily hodnotu $r_{II \rightarrow I}$. Tyto příměsi

se pravděpodobně chovaly jako zahušťovadla a měly za následek zpomalení segmentální pohyblivosti i-PB-1. [44] V této diplomové práci vzorky s příměsí a-PP a EPM taktéž projevily zvýšení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$.

Větší část vzorků této diplomové práce nebylo možné porovnat, jelikož se jimi nezabývaly žádné z nalezených studií. Nejčastěji bylo možné nalézt výzkumy, které používaly příměsi i-PB-1/PP, i-PB-1/PE nebo byly výzkumy zaměřené pouze na teploty tání T_{m1} a T_{m2} . Důvodem může být například špatná mísitelnost některých použitých příměsí, jako byly například PET a PA 6. Tyto příměsi bylo možné smíchat až při výrazně vysokých teplotách, a to mohlo ovlivnit rychlost fázové transformace a zkreslit tak finální výsledky. V potaz lze také vzít, že jsou záměrně používány pouze příměsi, u kterých již bylo prokázáno, že poločas fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$ snižují, jelikož v praxi je kladen vysoký důraz na snížení této hodnoty. V poslední řadě může hrát roli typ výrobního procesu příměsí, který byl použit. U těchto postupů se často používají přísady, které mohou mít za následek snížení poločasu fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$.

Další pozorování a výzkum by bylo vhodné zaměřit na detailnější analýzu struktury vzorků s příměsemi, které výrazněji snižovaly hodnoty $r_{II \rightarrow I}$. Jednalo by se především o příměsi Parafín, TPE, HDPE a další polyethyleny, PA 6.6 a PA 6. Pro další analýzy by se mohla použít metoda dielektrické spektroskopie. Touto metodou lze analyzovat struktury směsí polymerů a vliv příměsí, segmentální pohyblivost i-PB-1, konformaci, teplotní nebo tlakové účinky.

Do pozorování byly zařazeny i vzorky obsahující pouze 5 % příměsí. Šlo o příměsi DP 8510, a-PS, PVC – folie, PVC – powder, PMMA, PVB, PVA, CA, EPM, EP. Pro zpřesnění výsledků, zda mají tyto příměsi negativní, nebo pozitivní vliv na hodnotu $r_{II \rightarrow I}$, by bylo do budoucna vhodné připravit vzorky s dalšími koncentracemi těchto příměsí (1 % a 10 %) a změřit je pomocí RTG difrakční analýzy.

ZÁVĚR

V této diplomové práci bylo cílem pozorování vlivu vybraných příměsí na strukturu polymeru i-PB-1 (PB 110M). Vzorky byly rozříděny do tří skupin podle typu příměsí (termoplasty/ elastomery/ nezařazené). U vzorků s příměsemi byly sledované tyto hodnoty: poločas fázové transformace $r_{II \rightarrow I}$, indukční perioda IP, typ fázové transformace (M, N, P), podíl krystalické fáze K a podíl amorfní fáze A.

Vzorky s příměsemi byly porovnávány, podle již zmíněné hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ s hodnotou $r_{II \rightarrow I}$ referenčního vzorku, díky čemuž bylo možné určit, zda příměs tuto hodnotu pozitivně, či negativně ovlivnila.

Dle výsledků došlo čistě ke snížení $r_{II \rightarrow I}$ v porovnání s referenčním $r_{II \rightarrow I} = 58$ h u vzorků obsahující příměsí PE, HDPE, LDPE, LLDPE, PA 6, PA 6.6, ABS, a-PS, PVC – powder, PVC – folie, PVA, DP 8510, PS, PMMA, PVB, TPE, NR a Parafin. Nejnižší hodnota $r_{II \rightarrow I} = 6,3$ h byla zaznamenána u vzorku s 1 % Parafinu. K dalšímu výraznému snížení hodnoty $r_{II \rightarrow I} = 12,8$ h došlo u vzorku s 5 % HDPE. Výrazný pokles lze také vidět u vzorku s 10 % TPE, kde byla hodnota $r_{II \rightarrow I} = 17$ h. Jako poslední výrazněji nižší hodnota $r_{II \rightarrow I} = 31,5$ h patřila vzorku s 1 % PA 6.6.

Lze předpokládat, že hodnota $r_{II \rightarrow I}$ se snížila díky vyšší segmentální pohyblivosti i-PB-1, která ovlivňuje nukleaci a růst krystalů i-PB-1. Například u skupiny příměsí obsahující monomer polyethylenu je pravděpodobné, že díky své nepolární charakteristice a dlouhým lineárním řetězcům může docházet k relativně rychlé rekrytalizaci, což by odpovídalo i naměřeným výsledkům. Dalším důvodem, kdy bylo možné dosáhnout vyšší segmentální pohyblivosti i-PB-1 byla přítomnost plastifikátoru nebo změkčovadla, které mají na tuto veličinu pozitivní vliv. Jako další možnou příčinou vyšší segmentální pohyblivosti i-PB-1.

Čistě k navýšení $r_{II \rightarrow I}$ v porovnání s referenčním $r_{II \rightarrow I} = 58$ h došlo u vzorků obsahující příměsí a-PP, CA, PLA, POM, SAN, EVA, EP, EPM a EO. Dle výsledků byla nejvyšší hodnota $r_{II \rightarrow I} = 653$ h u vzorku s 2,3 % a-PP. Další výrazně vyšší hodnota $r_{II \rightarrow I} = 86,5$ h byla zaznamenána u vzorku s 5 % EO. Jako poslední výrazněji vyšší hodnota $r_{II \rightarrow I} = 85$ h patřila vzorku s 10 % EVA.

Jestliže díky vyšší segmentální pohyblivosti i-PB-1 dochází ke snížení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$ mělo zde naopak platit, že dochází k jejímu snížení. To může nastat, pokud má příměs vysokou viskozitu a působí jako zahušťovadlo, kdy zpomaluje segmentální pohyblivost i-PB-1. Některé příměsí se také mohou chovat jako inhibitory, které negativně ovlivňují nukleaci a

proces krystalizace i-PB-1. Jestliže je plast polární může dojít vlivem silných mezimolekulových vazbách ke zpomalení segmentální pohyblivosti. Tento předpoklad odpovídá některým naměřeným výsledkům, kdy například vzorků s příměsí PVC a PET došlo ke zvýšení hodnoty $r_{II \rightarrow I}$.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. RYBNIKÁŘ, František, 2000. *Makromolekulární chemie*. Učební texty vysokých škol. Brno: Vysoké učení technické. ISBN 80-214-1556-8.seznam použitých symbolů a zkratek
2. BĚHÁLEK, Luboš, 2014. *Technologický slovník: (česko-anglický a anglicko-český slovník)*. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN ISBN978-80-7494-151-1.
3. DESIDERY, Luca a LANOTTE, Michele, 2022. *Polymers and plastics: Types, properties, and manufacturing*. Online. *Plastic Waste for Sustainable Asphalt Roads*. S. 3-28. ISBN 9780323857895. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85789-5.00001-0>. [cit. 2024-01-16].
4. ŠIMČÍK, Miroslav. *Vliv dávek ionizačního záření na index hořlavosti a zapalitelnosti konstrukčních polymerů*. Vedoucí Fojtl, Ladislav. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství, 2015. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/33755>.
5. LENFELD, Petr, 2016. *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci. ISBN 978-80-7494-304-1.
6. QIPENG, Guo, 2018. *Thermosets: Structure, Properties and Applications*. Second edition. Elsevier. ISBN 978-0-08-101021-1.
7. PARAMESWARANPILLAI, Jyotishkumar; MIDHUN DOMINIC, C.D.; MAVINKERE RANGAPPA, Sanjay; SIENGCHIN, Suchart a OZBAKKALOGLU, Togay, 2022. *Introduction to elastomers*. Online. *Elastomer Blends and Composites*. S. 1-9. ISBN 9780323858328. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85832-8.00002-X>. [cit. 2024-01-20].
8. GREENE, Joseph P., 2021. *Elastomers and Rubbers*. Online. *Automotive Plastics and Composites*. S. 127-147. ISBN 9780128180082. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818008-2.00016-7>. [cit. 2024-01-20].
9. SEONGKYUN, Kim; JOON CHUL, Park; MI YOUNG, Jo; JUN IL, Park; JAE YEONG, Bae et al., 2017. *Elastomers and Composites: Selection Attributes and Trends of Thermoplastic Elastomers for Automobile Parts*. Online. 52. South Korea. ISSN 2092-9676. Dostupné z: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000424600800007>. [cit. 2024-01].

10. BOONMAHITTHISUD, Anyaporn a BOONKERD, Kanoktip, 2021. Sustainable development of natural rubber and its environmentally friendly composites. Online. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. Roč. 28. ISSN 24522236. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100446>. [cit. 2024-01-23].
11. KALIYATHAN, Abitha Vayyaprontavida; MATHEW, Anitha; RANE, Ajay Vasudeo; KANNY, Krishnan a THOMAS, Sabu, 2018. Natural rubber and silicone rubber-based biomaterials. Online. *Fundamental Biomaterials: Polymers*. S. 71-84. ISBN 9780081021941. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102194-1.00004-9>. [cit. 2024-01-23].
12. PARAMESWARANPILLAI, Jyotishkumar; MIDHUN DOMINIC, C.D.; MAVINKERE RANGAPPA, Sanjay; SIENGCHIN, Suchart a OZBAKKALOGLU, Togay, 2022. Introduction to elastomers. Online. *Elastomer Blends and Composites*. S. 1-9. ISBN 9780323858328. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85832-8.00002-X>. [cit. 2024-01-23].
13. *Materials In Today's World: Basic Polymer Structure*. Online. Dostupné z: <https://www.e-education.psu.edu/matse81/node/2210>. [cit. 2023-01].
14. VAN KREVELEN, D.W. a NIJENHUIS, K. Te, 2009. *Properties of Polymers*. Fourth Edition. Elsevier Science. ISBN 978-0-08-054819-7.
15. CAVALLO, Dario; GARDELLA, Lorenza; PORTALE, Giuseppe; MÜLLER, Alejandro J. a ALFONSO, Giovanni C., 2014. Self-nucleation of isotactic poly(1-butene) in the trigonal modification. Online. *Polymer*. Roč. 55, č. 1, s. 137-142. ISSN 00323861. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2013.11.030>. [cit. 2024-01-25].
16. PROKOPOVÁ, Irena, 2007. *Makromolekulární chemie*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 978-80-7080-662-3.
17. IZZO, Lorella et al., 2011. Impact of polymer tacticity on the physico-chemical behaviour of polymers proposed as therapeutics. *International Journal of Pharmaceutics* [online]. 408(1-2), 213-222 [cit. 2024-01-26]. ISSN 03785173. Dostupné z: [doi:10.1016/j.ijpharm.2011.02.003](https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2011.02.003)

18. RAM, Shanker a T.K. MANDAL, 2004. Photoluminescence in small isotactic, atactic and syndiotactic PVA polymer molecules in water. *Chemical Physics* [online]. 303(1-2), 121-128 [cit. 2024-01-27]. ISSN 03010104. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemphys.2004.05.006
19. FELLOWS, Christopher M. et al., 2020. Definitions and notations relating to tactic polymers (IUPAC Recommendations 2020). *Pure and Applied Chemistry* [online]. 92(11), 1769-1779 [cit. 2024-01-27]. ISSN 1365-3075. Dostupné z: doi:10.1515/pac-2019-0409
20. WANG, Zhen-Gang, 2017. 50th Anniversary Perspective: Polymer Conformation—A Pedagogical Review. *Macromolecules* [online]. 50(23), 9073-9114 [cit. 2024-01-27]. ISSN 0024-9297. Dostupné z: doi:10.1021/acs.macromol.7b01518
21. KHALIFEH, Sulaiman, 2020. INTRODUCTION TO POLYMERS FOR ELECTRONIC ENGINEERS. *Polymers in Organic Electronics* [online]. Elsevier, 1-31 [cit. 2024-01-27]. ISBN 9781927885673. Dostupné z: doi:10.1016/B978-1-927885-67-3.50006-7
22. ZHANG, Michael, Bao-Hua GUO a Jun XU, 2017. A Review on Polymer Crystallization Theories. *Crystals* [online]. 7(1) [cit. 2024-01-27]. ISSN 2073-4352. Dostupné z: doi:10.3390/cryst7010004
23. How polymers works: The Crux of Crystallinity. In: *Polymer science learning centre* [online]. [cit. 2024-01-27]. Dostupné z: <https://pslc.ws/macrog/crystal.htm>
24. HŘIBOVÁ, Martina, 2014. Krystalizace vybraných polymerů - strukturní a morfologické studie: Crystallization of chosen polymers - structural and morphological studies : teze habilitační práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-807-4544-163.
25. XIN, Rui et al., 2018. Polymorphic Behavior and Phase Transition of Poly(1-Butene) and Its Copolymers. *Polymers* [online]. 10(5) [cit. 2024-01-29]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym10050556
26. XU, Jun, Günter REITER a Rufina ALAMO, 2021. Concepts of Nucleation in Polymer Crystallization. *Crystals* [online]. 11(3) [cit. 2024-01-29]. ISSN 2073-4352. Dostupné z: doi:10.3390/cryst11030304

27. BÁRTA, Vladimír. Tuhnutí - Krystalizace. <https://slideplayer.cz/> [online]. [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2756853/>
28. ZHANG, Michael, Bao-Hua GUO a Jun XU, 2017. A Review on Polymer Crystallization Theories. *Crystals* [online]. 7(1) [cit. 2024-01-31]. ISSN 2073-4352. Dostupné z: doi:10.3390/cryst7010004
29. PIORKOWSKA, Ewa a Gregory C. RUTLEDGE, 2013. *Handbook of Polymer Crystallization*. 1. John Wiley. ISBN 9780470380239.
30. JIANG, Xiaoming, Günter REITER a Wenbing HU, 2016. How Chain-Folding Crystal Growth Determines the Thermodynamic Stability of Polymer Crystals. *The Journal of Physical Chemistry B* [online]. 120(3), 566-571 [cit. 2024-01-31]. ISSN 1520-6106. Dostupné z: doi:10.1021/acs.jpcc.5b09324
31. File:Spherulite2de.PNG, 2011. In: Wikimedia Commons [online]. [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spherulite2de.PNG>
32. MATYJASZEWSKI, Krzysztof, 2012. *Polymer Science: A Comprehensive Reference*. 1. Amsterdam: Elsevier. ISBN 978-0-08-087862-1.
33. SCHÖNHALS, A. a F. KREMER, 2012. Amorphous Polymers. *Polymer Science: A Comprehensive Reference* [online]. Elsevier, 201-226 [cit. 2024-02-03]. ISBN 9780080878621. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-53349-4.00010-8
34. YOUNG, R.J., 2001. Polymer Glasses, Mechanical Properties of: Yielding. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* [online]. Elsevier, 7330-7340 [cit. 2024-02-03]. ISBN 9780080431529. Dostupné z: doi:10.1016/B0-08-043152-6/01306-1
35. SCHIRRER, ROBERT, 2001. Damage Mechanisms in Amorphous Glassy Polymers: Crazing. *Handbook of Materials Behavior Models* [online]. Elsevier, 488-499 [cit. 2024-02-03]. ISBN 9780124433410. Dostupné z: doi:10.1016/B978-012443341-0/50055-7
36. YUSOFF, S.N.H.M. et al., 2023. Thermoplastic-based polymer blend nanocomposites for energy storage. *Polymer Blend Nanocomposites for Energy Storage Applications* [online]. Elsevier, 109-160 [cit. 2024-02-03]. ISBN 9780323995498. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-323-99549-8.00008-X

37. Difference Between Amorphous and Crystalline Polymers, 2016. In: *Pediaa* [online]. [cit. 2024-02-03]. Dostupné z: <https://pediaa.com/difference-between-amorphous-and-crystalline-polymers/>
38. BLEY, O., J. SIEPMANN a R. BODMEIER, 2009. Importance of glassy-to-rubbery state transitions in moisture-protective polymer coatings. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* [online]. 73(1), 146-153 [cit. 2024-02-03]. ISSN 09396411. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejpb.2009.05.001
39. QIAN, Renyuan a Yansheng YU, 2009. Transition of polymers from rubbery elastic state to fluid state. *Frontiers of Chemistry in China* [online]. 4(1), 1-9 [cit. 2024-02-03]. ISSN 1673-3495. Dostupné z: doi:10.1007/s11458-009-0014-y
40. LEJEUNE, Joseph et al., 2018. Creep and recovery analysis of polymeric materials during indentation tests. *European Journal of Mechanics - A/Solids* [online]. 68, 1-8 [cit. 2024-02-03]. ISSN 09977538. Dostupné z: doi:10.1016/j.euromechsol.2017.10.003
41. Chemical composition of PE, PP and PB-1. In: *Pbpsa* [online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.pbpsa.com/what-is-pb-1>
42. *British Plastics Federation - BPF: Polybutene-1 (PB-1)* [online]. BPF House 6 Bath Place Rivington Street EC2A 3JE [cit. 2024-02-04]. Dostupné z: <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/Polybutene1.aspx>
43. NIU, Xiu et al., 2022. Interfacial structure and properties of isotactic polybutene-1/polyethylene blends. *E-Polymers* [online]. 22(1), 505-512 [cit. 2024-02-04]. ISSN 1618-7229. Dostupné z: doi:10.1515/epoly-2022-0039
44. KASZONYIOVÁ, M. a F. RYBNIKÁŘ, 2019. The Effect of Some Physical Factors on the II → I Phase Transition of Isotactic Polybutene-1. *Journal of Macromolecular Science, Part B* [online]. 58(8), 689-721 [cit. 2024-02-04]. ISSN 0022-2348. Dostupné z: doi:10.1080/00222348.2019.1642549
45. KASZONYIOVA, M., F. RYBNIKAR a P. H. GEIL, 2019. Phase Transitions in Isotactic Polybutene-1. *Journal of Macromolecular Science, Part B* [online]. 58(2), 263-274 [cit. 2024-02-04]. ISSN 0022-2348. Dostupné z: doi:10.1080/00222348.2019.1578521

46. KASZONYIOVA, M., F. RYBNIKAR a P. H. GEIL, 2007. Polymorphism of Isotactic Poly(Butene-1). *Journal of Macromolecular Science, Part B* [online]. 44(3), 377-396 [cit. 2024-02-04]. ISSN 0022-2348. Dostupné z: doi:10.1081/MB-200057353
47. HŘIBOVÁ, Martina, 2014. Krystalizace vybraných polymerů - strukturní a morfologické studie: Crystallization of chosen polymers - structural and morphological studies : teze habilitační práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN ISBN978-80-7454-416-3.
48. KUTZ, Myer, 2011. *Applied plastics engineering handbook: processing and materials*. Amsterdam: Elsevier. ISBN 978-1-4377-3514-7. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1016/C2010-0-67336-6
49. RAJA, Pandian Bothi et al., 2022. Characterization of nanomaterial used in nanobioremediation. *Nano-Bioremediation: Fundamentals and Applications* [online]. Elsevier, 57-83 [cit. 2024-02-13]. ISBN 9780128239629. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-823962-9.00037-4
50. FRANKLIN AND MARSHALL COLLEGE, 2019. *Introduction to Materials Characterization - CHM 412 Collaborative Text* [online]. [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: [https://chem.libretexts.org/Courses/Franklin_and_Marshall_College/Introduction_to_Materials_Characterization_CHM_412_Collaborative_Text/Diffraction_Techniques/X-ray_diffraction_\(XRD\)_basics_and_application](https://chem.libretexts.org/Courses/Franklin_and_Marshall_College/Introduction_to_Materials_Characterization_CHM_412_Collaborative_Text/Diffraction_Techniques/X-ray_diffraction_(XRD)_basics_and_application)
51. PECHARSKY, Vitalij K. a Peter Y. ZAVALIJ, [2009]. *Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials*. Second edition. New York: Springer. ISBN 978-0-387-09578-3.
52. THOMAS, John Meurig, 2012. The birth of X-ray crystallography. *Nature* [online]. 491(7423), 186-187 [cit. 2024-02-13]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/491186a
53. BORISOV, S. V. a N. V. PODBEREZSKAYA, 2012. X-ray diffraction analysis: A brief history and achievements of the first century. *Journal of Structural Chemistry* [online]. 53(S1), 1-3 [cit. 2024-02-13]. ISSN 0022-4766. Dostupné z: doi:10.1134/S0022476612070013

54. CHODOS, Alan a Jennifer OUELLETTE, 2001. This Month in Physics History. American Physical Society [online]. [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://www.aps.org/publications/apsnews/200111/history.cfm>
55. STARK, Glenn, 2023. X-ray [online]. 12.12.2023 [cit. 2024-02-14]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/X-ray>
56. MAGNITSKIY, Sergey et al., 2013. Observation and theory of X-ray mirages. Nature Communications [online]. 4(1) [cit. 2024-02-14]. ISSN 2041-1723. Dostupné z: doi:10.1038/ncomms2923
57. NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, 2005. Medicínská biofyzika. Praha: Grada. ISBN 80-247-1152-4.
58. BARTHE, Nicole et al., 2020. High-resolution beta imaging. Handbook of Radioactivity Analysis: Volume 2 [online]. Elsevier, 669-727 [cit. 2024-02-14]. ISBN 9780128143957. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-814395-7.00009-X
59. MICHÁLEK, Tomáš, 2010. Internetový portál RTG: Princip vzniku RTG záření v rentgence [online]. In: . [cit. 2024-02-14]. Dostupné z: http://rtg.fbmi.cvut.cz/index.php%3Foption=com_content&view=article&id=56&Itemid=62.html
60. BUNACIU, Andrei A., Elena gabriela UDRIȘTIOIU a Hassan Y. ABOUL-ENEIN, 2014. X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. Critical Reviews in Analytical Chemistry [online]. 45(4), 289-299 [cit. 2024-02-16]. ISSN 1040-8347. Dostupné z: doi:10.1080/10408347.2014.949616
61. CHATTERJEE, S.K., 2010. X-RAY DIFFRACTION: ITS THEORY AND APPLICATIONS. Second edition. PHI Learning Private Limited, New Delhi. ISBN 978-81-203-4194-4.
62. DUŠKOVÁ, Kamila, 2002. Difrakce elektronů v krystalech, zobrazení atomů: Braggova rovnice. In: Slide Player [online]. [cit. 2024-02-16]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/5805982/>
63. SÚKUPOVÁ, Lucie, 2013. Technické aspekty zobrazování: Rentgenka – její stavba a funkce. In: Sukupova [online]. [cit. 2024-02-16]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/rentgenka-a-produkce-rentgenoveho-zareni/>

64. LYONDELLBASELL. Polybutene-1 [online]. [cit. 2024-04-16]. Dostupné z: <https://www.lyondellbasell.com/en/products-technology/polymers/resin-type/polybutene-1/>
65. RICHTER, Marek, 2022. Vliv polymerních příměsí na teplotní charakteristiky isotaktického polybutenu -1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 100 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/50779>. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Hříbová, Martina.
66. KUMAR, Narendra et al., 2022. Plastic pellets. Polymers for 3D Printing [online]. Elsevier, 307-323 [cit. 2024-04-30]. ISBN 9780128183113. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-818311-3.00019-7
67. GREENE, Joseph P., 2021. Microstructures of Polymers. Automotive Plastics and Composites [online]. Elsevier, 27-37 [cit. 2024-04-30]. ISBN 9780128180082. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-818008-2.00009-X
68. EXXONMOBIL, 2024. Product Data Sheet [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://exxonmobilchemical.ides.com/datasheet.aspx?I=58933&FMT=PDF&CULTURE=en-US&PS=PE&E=243997>
69. MATWEB, 2024. Overview of materials for High Density Polyethylene (HDPE), Injection Molded [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fce23f90005d4fbe8e12a1bce53ebdc8>
70. PROTO LABS, 2024. Glass Transition Temperature of Polymers [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.protolabs.com/resources/design-tips/glass-transition-temperature-of-polymers/>
71. MATWEB, 2024. Overview of materials for Low Density Polyethylene (LDPE), Molded [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=557b96c10e0843dbb1e830ceede35b0>
72. MATWEB, 2024. Overview of materials for High Density Polyethylene (HDPE), Injection Molded [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z:

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fce23f90005d4fbe8e12a1bce53ebdc8>

73. SIMANKE, Adriane G., Cristóvão DE LEMOS a Márcia PIRES, 2013. Linear low density polyethylene: Microstructure and sealing properties correlation. *Polymer Testing* [online]. 32(2), 279-290 [cit. 2024-04-30]. ISSN 01429418. Dostupné z: doi:10.1016/j.polymertesting.2012.11.010
74. MATWEB, 2024. Overview of materials for Linear Low Density Polyethylene (LLDPE), Injection Molded [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=bcd1ad1e1a7445aca5321d26f00bdf12>
75. OMNEXUS, 2024. Comprehensive Guide on Polyethylene Terephthalate (PET) [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyethylene-terephthalate-pet-plastic>
76. DE SANTIS, Felice et al., 2017. The rheological and crystallization behavior of polyoxymethylene. *Polymer Testing* [online]. 57, 203-208 [cit. 2024-04-30]. ISSN 01429418. Dostupné z: doi:10.1016/j.polymertesting.2016.11.033
77. K. D. FEDDERSEN, 2024. Polymers: Polyoxymethylene [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://kdfeddersen.com/en/products/polymers/polyoxymethylene>
78. LIEBERZEIT, Peter, Davron BEKCHANOV a Mukhtar MUKHAMEDIEV, 2022. Polyvinyl chloride modifications, properties, and applications: Review. *Polymers for Advanced Technologies* [online]. 33(6), 1809-1820 [cit. 2024-04-30]. ISSN 1042-7147. Dostupné z: doi:10.1002/pat.5656
79. MICHEL, Alain a Alain GUYOT, 1971. Crystallization of poly(vinyl chloride) at high temperatures. *Journal of Polymer Science Part C: Polymer Symposia* [online]. 33(1), 75-86 [cit. 2024-04-30]. ISSN 0449-2994. Dostupné z: doi:10.1002/polc.5070330108
80. ALI, Umar, Khairil Juhanni Bt. Abd KARIM a Nor Aziah BUANG, 2015. A Review of the Properties and Applications of Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA). *Polymer Reviews* [online]. 55(4), 678-705 [cit. 2024-04-30]. ISSN 1558-3724. Dostupné z: doi:10.1080/15583724.2015.1031377

81. REINALDO, Juciklécia da Silva et al., 2017. A Microrheological Study of Poly(Methyl Methacrylate) Elastomer/Poly(Ethylene Terephthalate) (PMMAelast/PET) Blends. *Materials Research* [online]. 20(suppl 2), 694-700 [cit. 2024-04-30]. ISSN 1980-5373. Dostupné z: doi:10.1590/1980-5373-mr-2016-0929
82. LYONDELLBASELL, 2024. Koattro PB M 8510M [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.lyondellbasell.com/en/polymers/p/Koattro-PB-M-8510M/1e58e3d3-3c33-47cb-9e9a-27a7eb10183c>
83. ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 2023. Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "polypropylene" [online]. [cit. 2024-04-30]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/polypropylene>
84. ASAKAWA, H et al., 2011. Crystallization of isotactic polypropylene from mesomorphic phase: a constant heating rate study. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 272 [cit. 2024-04-30]. ISSN 1742-6596. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/272/1/012024
85. NAM, Byung-Kook, O. Ok PARK a Sung-Chul KIM, 2015. Properties of isotactic polypropylene/atactic polypropylene blends. *Macromolecular Research* [online]. 23(9), 809-813 [cit. 2024-04-30]. ISSN 1598-5032. Dostupné z: doi:10.1007/s13233-015-3106-1
86. ANJOS, Erick Gabriel Ribeiro dos et al., 2020. Reactive processing of maleic anhydride-grafted ABS and its compatibilizing effect on PC/ABS blends. *Polímeros* [online]. 30(4) [cit. 2024-04-30]. ISSN 1678-5169. Dostupné z: doi:10.1590/0104-1428.09220
87. BRIATICO-VANGOSA, Francesco a Marta RINK, 2005. Dilatometric behavior and glass transition in a styrene-acrylonitrile copolymer. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* [online]. 43(14), 1904-1913 [cit. 2024-04-30]. ISSN 0887-6266. Dostupné z: doi:10.1002/polb.20476
88. MATWEB, 2024. Overview of materials for Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Extruded [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3a8afcdac864d4b8f58d40570d2e5aa>

89. WYPYCH, George, 2012. PS polystyrene. Handbook of Polymers [online]. Elsevier, 541-547 [cit. 2024-05-01]. ISBN 9781895198478. Dostupné z: doi:10.1016/B978-1-895198-47-8.50162-4
90. SHEN, Zi-rui, Bin LAN a Qi YANG, 2023. Microcrystallization of Atactic Polystyrene Induced by Photooxidation Aging. Macromolecular Materials and Engineering [online]. 308(6) [cit. 2024-05-01]. ISSN 1438-7492. Dostupné z: doi:10.1002/mame.202200624
91. MULDER, Tim et al., 2009. Structural Properties of Atactic Polystyrene of Different Thermal History Obtained from a Multiscale Simulation. Macromolecules [online]. 42(1), 384-391 [cit. 2024-05-01]. ISSN 0024-9297. Dostupné z: doi:10.1021/ma800873z
92. BRUN, N. et al. Study of the thermal behavior of syndiotactic and atactic polystyrene by Raman spectroscopy [online]. 00004- [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: doi:10.1051/jeep/201100004
93. DESIGNERDATA, 2024. Thermo plastics [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://designerdata.nl/materials/plastics/thermo-plastics>
94. OMNEXUS, 2024. Comprehensive Guide on Polyamide (PA) or Nylon [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyamide-pa-nylon>
95. ZHANG, Yingwei et al., 2023. Synthesis and Properties of Polyamide 6 Random Copolymers Containing an Aromatic Imide Structure. Polymers [online]. 15(13) [cit. 2024-05-01]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym15132812
96. OMNEXUS, 2024. Polylactic Acid (PLA): How to select the right grade? [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polylactide-pla-bioplastic>
97. MATWEB, 2024. Overview of materials for Polylactic Acid (PLA) Biopolymer [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ab96a4c0655c4018a8785ac4031b9278>
98. MÜLLER, A. J. et al., 2014. CHAPTER 3. Crystallization of PLA-based Materials. Poly(lactic acid) Science and Technology [online]. Cambridge: Royal

- Society of Chemistry, 66-98 [cit. 2024-05-01]. Polymer Chemistry Series. ISBN 978-1-84973-879-8. Dostupné z: doi:10.1039/9781782624806-00066
99. SONGHAN PLASTIC TECHNOLOGY CO.,LTD., 2024. DuPont™ Surlyn® 9910 Ionomer Resin, Zinc [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: https://www.lookpolymers.com/polymer_DuPont-Surlyn-9910-Ionomer-Resin-Zinc.php
100. MATWEB, 2024. Overview of materials for Cellulose Acetate, Molded [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=dc5eaaf98a96498889cb7292165523a8>
101. CHEMICAL BOOK, 2024. POLY(VINYL ACETATE) [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB3700594.htm
102. EXXONMOBIL, 2024. EVA copolymers [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://www.exxonmobilchemical.com/en/products/polyethylene/eva-copolymer>
103. SONGHAN PLASTIC TECHNOLOGY CO.,LTD., 2024. Dow Engage® 8842 Polyolefin Elastomer [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: https://www.lookpolymers.com/polymer_Dow-Engage-8842-Polyolefin-Elastomer.php
104. CLEGG, G. A., D. R. GEE a T. P. MELIA, 1968. Thermal properties of ethylene/propylene copolymers. Die Makromolekulare Chemie [online]. 116(1), 130-139 [cit. 2024-05-02]. ISSN 0025-116X. Dostupné z: doi:10.1002/macp.1968.021160113
105. CHEMBK, 2024. Ethylene|propylene copolyme [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://www.chembk.com/en/chem/Ethylene%7Cpropylene%20copolymer>
106. MATWEB, 2024. ExxonMobil Santoprene® 221-87 Thermoplastic Elastomer [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=3e091284ffcb4ad99966ff7d1fddab5a&n=1>

107. SEALS+DIRECT, 2024. A Complete Guide to Natural Rubber [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://www.sealsdirect.co.uk/natural-rubber>
108. JAZIRI, Mohamed et al., 2007. Rheological, thermal, and morphological properties of blends based on poly(propylene), ethylene propylene rubber, and ethylene-1-octene copolymer that could result from end of life vehicles: Effect of maleic anhydride grafted poly(propylene) [online]. 47(7), 1009-1015 [cit. 2024-05-02]. ISSN 0032-3888. Dostupné z: doi:10.1002/pen.20758
109. XIAOGUANG QI a S. BOGGS, 2006. Thermal and mechanical properties of EPR and XLPE cable compounds. IEEE Electrical Insulation Magazine [online]. 22(3), 19-24 [cit. 2024-05-02]. ISSN 0883-7554. Dostupné z: doi:10.1109/MEI.2006.1639026
110. ALEKSANDROVA, E. A. et al., 2018. Structural and Mechanical Properties of Paraffin Wax Composites. Chemistry and Technology of Fuels and Oils [online]. 54(1), 37-43 [cit. 2024-05-02]. ISSN 0009-3092. Dostupné z: doi:10.1007/s10553-018-0895-x
111. CHEMBK, 2024. Ethylene Bis Stearamide [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://www.chembk.com/en/chem/Ethylene%20Bis%20Stearamide>
112. ZHANG, Xihong et al., 2015. The mechanical properties of Polyvinyl Butyral (PVB) at high strain rates. Construction and Building Materials [online]. 93, 404-415 [cit. 2024-05-02]. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.04.057
113. CHEMBK, 2024. Polyvinyl Butyral (PVB) [online]. [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: [https://www.chembk.com/en/chem/Polyvinyl%20Butyral%20\(PVB\)](https://www.chembk.com/en/chem/Polyvinyl%20Butyral%20(PVB))
114. MA, Ya-Ping et al., 2020. Structure and Properties of Isotactic Polypropylene/Polybutene-1 In-reactor Alloys. Chinese Journal of Polymer Science [online]. 38(12), 1382-1391 [cit. 2024-05-03]. ISSN 0256-7679. Dostupné z: doi:10.1007/s10118-020-2468-9
115. YAN, Xiang-jie et al., 2024. Influences of Polypropylene on Phase II-I Transformation of Polybutene-1. Polym. Bull. (in Chinese) [online]. 37(3), 8 [cit. 2024-05-03]. Dostupné z: doi:10.14028/j.cnki.1003-3726.2024.23.255

116. NASE, Michael et al., 2008. Effect of polymorphism of isotactic polybutene-1 on peel behavior of polyethylene/polybutene-1 peel systems. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 107(5), 3111-3118 [cit. 2024-05-03]. ISSN 0021-8995. Dostupné z: [doi:10.1002/app.27483](https://doi.org/10.1002/app.27483)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

i-PB-1	Isotaktický polybuten-1
r	Poločas fázové transformace nestabilní fáze II → stabilní fázi I
M	Typ fázové transformace minus
N	Typ fázové transformace neutral
P	Typ fázové transformace plus
IP	Indukční perioda
(K)	Podíl krystalické fáze
(A)	Podíl amorfní fáze
T_m	Teplota tání
T_{m2}	Sekundární teplota tání
T_c	Teplota krystalizace
T_f	Teplota tečení
T_g	Teplota skleného přechodu
EP	Epoxidové pryskyřice (označení u reaktoplastů)
UP	Polyuretanová pryskyřice
PF	Fenolformaldehydová pryskyřice
PIB	Polyisobutylen
E	Modul pružnosti
λ	Tepelná vodivost
λ_p	Vlnová délka
c_0	Rychlost šíření vln
d	Mřížková vzdálenost
n	Celé číslo (řád difrakce)
ρ	Hustota
2Θ	Difrakční úhel

PE	Polyethylen
LDPE	Nízkohustotní polyethylen
LLDPE	Lineární nízkohustotní polyethylen
HDPE	Vysokohustotní polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
POM	Polyoxymethylen
PVC	Polyvinylchlorid
PMMA	Polymethyl metakrylát
PP	Polypropylen
i-PP	Isotaktický polypropylen
a-PP	Ataktický polypropylen
SAN	Styren akrylonitril
ABS	Akrylonitril butadien styren
PS	Polystyren
a-PS	Ataktický polystyren
PA	Polyamid
PA 6	Polyamid 6
PA 6.6	Polyamid 6.6
PLA	Kyselina polymléčná
Surlyn 9910	Termoplastická pryskyřice (kopolymerace ethylenu/kyseliny metakrylové)
CA	Acetát celulózy
PVA	Polyvinylacetát
EVA	Ethylenvinylacetát
EO	Ethylenokten
EP	Ethylenpropylen
TPE	Termoplastický elastomer

NR	Přírodní kaučuk
EPM	Ethylenpropylen monomer
EBS	Ethylen bis steramid
PVB	Polyvinylbutyral
m ³	Metr krychlový (objemová jednotka)
kg	Kilogram (hmotnostní jednotka)
g	Gram (hmotnostní jednotka)
cm ³	Centimetr krychlový (objemová jednotka)
mm	Milimetr (délková jednotka)
nm	Nano metr (délková jednotka)
°C	Stupeň celsia
CuK α	Měď – K α
Ni	Nikl
%	Podíl
%I	Podíl stabilní fáze I
%II	Podíl stabilní fáze II

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Graf průběhu deformace v závislosti na teplotě amorfního a semikrystalického polymeru [4]	13
Obrázek 2 – Uspořádání makromolekul amorfních termoplastů [5]	13
Obrázek 3 – Uspořádání makromolekul semikrystalických termoplastů [5]	13
Obrázek 4 – Uspořádání makromolekul reaktoplastů [5]	14
Obrázek 5 – Uspořádání makromolekul elastomerů [5]	14
Obrázek 6 – Výrobky z TPE [2]	15
Obrázek 7 – Výrobky z pryže [2]	16
Obrázek 8 – Lineární řetězce polymerů [13]	17
Obrázek 9 – Rozvětvené řetězce polymerů [13]	17
Obrázek 10 – Zesíťované řetězce polymerů [13]	18
Obrázek 11 – Vysoce zesíťované polymery [3]	18
Obrázek 12 – Izotaktická konfigurace [17]	19
Obrázek 13 – Syndiotaktická konfigurace [17]	20
Obrázek 14 – Ataktická konfigurace [17]	20
Obrázek 15 – Semikrystalická struktura [2]	22
Obrázek 16 – Uspořádání řetězců (lamely) [23]	22
Obrázek 17 – Schéma krystalických zárodků a jejich růst [27]	24
Obrázek 18 – Schéma sférolitu [31]	25
Obrázek 19 – Struktura amorfních polymerů [33]	25
Obrázek 20 – Oblasti amorfního polymeru [39]	27
Obrázek 21 – Chemické složení PE, PP a PB-1 [41]	28
Obrázek 22 – Schéma vztahů mezi fázemi i-PB-1 [46]	29
Obrázek 23 – DCS vyhodnocení hlavních krystalických fází i-PB-1 (Levý graf) a RTG difrakční vzory fází i-PB-1 s konstrukcí amorfní fáze (Pravý graf) [46]	30
Obrázek 24 – Fázová transformace i-PB-1 typ zárodku M [44]	31
Obrázek 25 – Fázová transformace i-PB-1 typ zárodku N [44]	31
Obrázek 26 – Fázová transformace i-PB-1 typ zárodku P [44]	32
Obrázek 27 – Snímek ruky s prstenem manželky W. C. Roentgena z 8.11. 1895 [54]	34
Obrázek 28 – Vzorec pro výpočet vlnové délky [55]	34
Obrázek 29 – Princip charakteristického RTG záření [59]	35
Obrázek 30 – Princip brzděného RTG záření [59]	36
Obrázek 31 – Braggova rovnice [60]	37
Obrázek 32 – Schéma dopadu rtg záření na mřížku [62]	37

Obrázek 33 – <i>Schéma rentgenky [63]</i>	38
Obrázek 34 – <i>Grafické zpracování dat (referenční vzorek PB 110M)</i>	54
Obrázek 35 – <i>Grafické výsledky vzorků s příměsí PE, LDPE, HDPE, LLDPE a DP 8110</i>	58
Obrázek 36– <i>Grafické výsledky vzorků s příměsí SAN, ABS, PS, a-PS</i>	59
Obrázek 37 – <i>Grafické výsledky vzorků s příměsí PA 6, PA 6.6</i>	60
Obrázek 38 – <i>Grafické výsledky vzorků s příměsí PET, PLA, PVA, CA, PVB</i>	61
Obrázek 39– <i>Grafické výsledky vzorků s příměsí Surlyn 9910, POM, PMMA, PVC folie / powder</i>	62
Obrázek 40 – <i>Grafické výsledky vzorků s příměsí i-PP</i>	63
Obrázek 41 – <i>Grafické výsledky vzorků s příměsí a-PP</i>	64
Obrázek 42 – <i>Grafické výsledky vzorků s příměsí EO, EP, EVA</i>	64
Obrázek 43 – <i>Grafické výsledky vzorků s příměsí TPE, NR, EPM</i>	65
Obrázek 44 – <i>Grafické výsledky vzorků s příměsí Parafin, EBS</i>	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – <i>Vybrané vlastnosti skupin polymerů [2,8,10]</i>	16
Tabulka 2 – <i>Vybrané vlastnosti i-PB-1 [42,43,44]</i>	29
Tabulka 3 – <i>Krystalové modifikace i-PB-1 [47,48]</i>	30
Tabulka 4 – <i>Vybrané vlastnosti PB 110 M [64]</i>	40
Tabulka 5 – <i>Vyhodnocená data vzorků obsahující termoplastické příměsi část I (RTG analýza)</i>	55
Tabulka 6 – <i>Vyhodnocená data vzorků obsahující termoplastické příměsi část II (RTG analýza)</i>	56
Tabulka 7– <i>Vyhodnocená data vzorků obsahující nezařazené příměsi (RTG analýza)</i>	57
Tabulka 8– <i>Vyhodnocená data vzorků obsahující elastomerní a termoplasticky elastomerní příměsi (RTG analýza)</i>	57

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Název přílohy

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY