

Vliv množství polybutenu na mechanické vlastnosti směsi PP+PB

Jaroslav Rudolf

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav RUDOLF**
Osobní číslo: **T09464**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vliv množství polybutenu na mechanické vlastnosti směsi PP + PB**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Příprava zkušebních vzorků pro experimentální část**
- 3. Provedení experimentu**
- 4. Vyhodnocení naměřených výsledků**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. David Maňas, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**

Ve Zlíně dne 13. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem množství polybutenu na mechanické vlastnosti směsi polypropylenu a polybutenu.

Teoretická část bakalářské práce popisuje co je polypropylen a polybuten, jejich výrobu a zpracování. Dále popisuje dvě základní mechanické zkoušky a to tahovou zkoušku a test vrubové houževnatosti.

V praktické části je popis použitých zařízení a použitých materiálů. Praktická měření byla provedena pro čistý polypropylen a různé druhy polybutenu.

Klíčová slova: polypropylen, polybuten, mechanické vlastnosti, tahová zkoušky, rázová zkouška

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with influence of polybutene amount in polypropylene-polybutene compounds on mechanical properties.

Theoretical part of bachelor thesis describes PP and PB, their manufacture and processing. It furthermore describes two basic mechanical tests i.e. tensile test and impact strength test.

There is a description of used devices and materials in practical part. Practical measurements for pure PP and different types of PB were carried out.

Keywords: PP, PB, mechanical properties, tensile test, impact test

Děkuji vedoucímu práce panu doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D., za odborné vedení bakalářské práce, poskytování rad a materiálních podkladů k práci. Rovněž děkuji panu Ing. Martinovi Ovsíkovi za pomoc při praktické části.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené literatury a elektronických zdrojů.

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

Ve Zlíně

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYPROPYLEN	12
1.1 VÝROBA POLYPROPYLENU	12
1.2 ZPRACOVÁNÍ POLYPROPYLENU	13
1.3 VLASTNOSTI POLYPROPYLENU	13
1.4 MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA POLYPROPYLENU	14
1.5 VYUŽITÍ POLYPROPYLENU	15
2 POLY(1-BUTEN)	17
2.1 VÝROBA POLY(1-BUTENU)	17
2.2 ZPRACOVÁNÍ POLY(1-BUTENU)	18
2.3 VLASTNOSTI POLY(1-BUTENU).....	18
2.4 MOLEKULÁRNÍ STRUKTURA POLY(1-BUTENU)	18
2.5 VYUŽITÍ POLY(1-BUTENU).....	19
3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY	20
3.1 STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM.....	21
3.1.1 Základní definice a vztahy statické zkoušky tahem	21
3.1.2 Zkušební zařízení pro zkoušku tahem.....	23
3.1.3 Zkušební tělesa pro zkoušku tahem	24
3.2 STANOVENÍ RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI METODOU CHARPY	24
3.2.1 Základní definice a vztahy rázové zkoušky	25
3.2.2 Zkušební zařízení rázové zkoušky	27
3.2.3 Zkušební tělesa rázové zkoušky	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
4 STANOVENÍ CÍLU BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	30
5 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ	31
5.1 ZWICK 1456	31
5.2 RESIL IMPACTOR JUNIOR.....	32
6 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ	33
6.1 POLYPROPYLEN.....	33
6.2 POLYBUTEN.....	34
7 TAHOVÉ VLASTNOSTI	35
7.1 SHRNUTÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ SMĚSI PP+PB PRO 25% PB.....	35
7.2 SHRNUTÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ SMĚSI PP+PB PRO 50% PB.....	37
8 RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST METODOU CHARPY	39
8.1 SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ RÁZOVÉ ZKOUŠKY SMĚSI PP+PB	40
9 DISKUSE VÝSLEDKŮ	41
9.1 TAHOVÉ VLASTNOSTI	41
9.1.1 Shrnutí tahových vlastností směsi PP+PB pro 25% PB.....	41
9.1.2 Shrnutí tahových vlastností směsi PP+PB pro 50% PB.....	43

9.2	RÁZOVÁ HOUŽEVATOST METODOU CHARPY	45
9.2.1	Shrnutí vlastností rázové zkoušky směsi PP+PB	45
ZÁVĚR	.....	47
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	.....	48
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	.....	49
SEZNAM OBRÁZKŮ	.....	51
SEZNAM TABULEK	.....	53

ÚVOD

Tato bakalářská práce je zaměřena na vliv množství polybutenu na mechanické vlastnosti směsi polypropylenu a polybutenu. To znamená, jak určité množství polybutenu, ovlivní mechanické vlastnosti směsi polypropylenu a polybutenu.

Poly(1-buten) je v podstatě izotaktický polymer, který patří mezi stereoregulátory polyolefinů a má polymorfní chování. Izotaktický poly(1-buten) krystalizuje do tří různých krystalografických modifikací. Vzhledem k jeho odolnosti proti korozi a chemické odolnosti má široké spektrum aplikací v každodenním využití.

Polypropylen je termoplastický polymer, který patří do skupiny polyolefinů. Polyolefiny jsou polymery používané v mnoha odvětvích a chemicky nejjednodušší. Objevil ho profesor Natta v roce 1954.

V současné době se používají polymerní materiály ve všech sférách lidského života. Jejich výroba probíhá již po celém světě a jejich spotřeba roku od roku vzrůstá. V dnešní moderní době se s nimi setkáváme na každém kroku a život bez nich si už nikdo z nás nedokáže představit.

Svou bakalářskou práci jsem rozdělil na dvě základní části a ty do několika menších kapitol a podkapitol.

První část je teoretická a zabývá se poznatky, jejichž znalost je pro správné provedení praktické části nezbytná. Tato část má 3 kapitoly.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYPROPYLEN

Polypropylen (zkráceně PP) je termoplastický polymer ze skupiny polyolefinů, které patří mezi nejběžnější plasty, používá se v mnoha odvětvích potravinářského a textilního průmyslu a v laboratorních vybaveních. Prodává se pod obchodním názvem Triplen, Tatren, Mosten atd.[5]

Polypropylen patří k nejmladším plastickým hmotám. Objevil ho profesor milánské polytechniky Natta v roce 1954, jemuž se podařilo použitím speciálních polymeračních iniciátorů, tzv. stereospecifických katalyzátorů, polymerovat propylen na lineární polymer mimořádných vlastností. [2]

Krystalická struktura polypropylenu se dá významně ovlivnit při zpracování. Velmi rychlým ochlazením taveniny lze získat vysoce transparentní tenkostěnné výrobky (fólie). Rychlým ochlazením vznikají sférolity o velmi malých průměrech a rozdíl indexu lomu krystalické a amorfni fáze je malý. S přibývajícím průměrem sférolitů klesá rázová houževnatost a stoupá tuhost. Zvýšení houževnatosti, transparence a flexibility lze dosáhnout snížením stupně krystalinity.[1]

1.1 Výroba polypropylenu

Výchozí surovinou pro výrobu polypropylenu je nenasycený uhlovodík propylen $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$, který se polymeruje. Klasický postup polymerizace je založen na Zieglerových-Nattových katalyzátorech tvořených nejčastěji kombinací triethylaluminia s chloridem titanitým TiCl_3 .

Výrobní postup se skládá z vlastní polymerace propylenu, z extrakce podílu ataktického polymeru, filtrace extrahovaného polymeru, následujícího odstranění zbytku katalyzátorů a sušení. Dále se vyčištěný polymer homogenizuje s přísadami (stabilizátory, antioxidanty, barviva) a po granulaci se balí a expeduje. [2]

Polymerace propylenu probíhá v polymerátoru při nízkém tlaku, mírně zvýšené teplotě (50 až 100°C) a za iniciačního účinku stereospecifických katalyzátorů v reakčním prostředí vhodných rozpouštědel.[2]

Stereospecifické polymerační katalyzátory tvoří zpravidla systém dvou nebo tří složek, obsahující chlorid titanitý jako katalyzátor, triethylaluminium jako aktivátor a někdy ještě

vhodnou přísadu ovlivňující řetězení a molekulovou hmotnost polymeru. Tyto složky jsou rozpuštěny nebo suspendovány ve vhodném rozpouštědle. Katalyzátor i rozpouštědlo ovlivňují jak výtěžek izotaktického podílu, tak i všechny vlastnosti polymeru. V praxi je důležité, aby podíl izotaktické složky byl alespoň 90 %, v případě vláken nejméně 95 – 97 %. [2]

1.2 Zpracování polypropylenu

Před zpracováním je třeba polymer upravit, a to přidáním vhodných tepelných a světelných stabilizátorů, které mohou být práškové nebo kapalné.

Polypropylen lze výborně tvářet a zpracovávat jako jiné termoplastické hmoty. Pro zpracovatelský průmysl se vyrábí řada druhů propylenu pro vstřikování, výrobu fólií, vytlačování a výrobu vláken. Volba jednotlivých druhů závisí jednak na technologickém procesu zpracování, jednak na požadovaných vlastnostech výrobků v aplikaci. Vstřikováním se polypropylen zpracovává na běžných vstřikovacích strojích, používaných pro termoplastické polymery. Zhotovují se tlustostěnné a velkoplošné výrobky. Vytlačováním na šnekových vytlačovacích strojích se z polypropylenu vyrábějí trubky, fólie, desky i různé profilové výrobky. Desky i trubky se spojují svařováním, lepení je obtížné. Polypropylenové fólie lze potiskovat. Nanášením polypropylenu na kovové dílce se získávají velmi odolné ochranné povlaky kovových dílců, odolné proti působení chemických činidel. Vyfukováním se mohou vyrábět z polypropylenového předlisku na vyfukovacích automatech i dutá tělesa (láhve, sudy, kanistry). Zvlákněním z taveniny polypropylenu se vyrábějí také velmi kvalitní technická vlákna. [2]

1.3 Vlastnosti polypropylenu

Polypropylen je lehčí plastická hmota, která plave ve vodě. Je to bezbarvý polymer, fyziologicky nezávadný a bez zápachu. Zajímavou vlastností polypropylenu je malá propustnost vzduchu, plynů a pár. Proto je tento materiál vhodný pro použití v obalové technice. [2]

Má výborné mechanické vlastnosti, tudíž se vyznačuje velkou tvrdostí, pevností a tepelnou odolností. Snáší i krátkodobé ohřátí na 140°C. Za zvýšených teplot má polypropylen sklon k autooxidaci, a musí se proto stabilizovat. [2]

Polypropylen je krystalický polymer o stupni krystalinity 60 až 75%. Vzhledem ke své krystalinitě je polypropylen neprůhledný. Bod tání je 160 až 170°C. Má nízkou hustotu 0,90 až 0,92 g/cm³. Za normální teploty je nerozpustný ve většině organických rozpouštědel a až při teplotě 90°C se rozpouští v chlorovaných a aromatických uhlovodících. Nízká odolnost proti UV záření se zlepšuje přidáním stabilizátorů. [1]

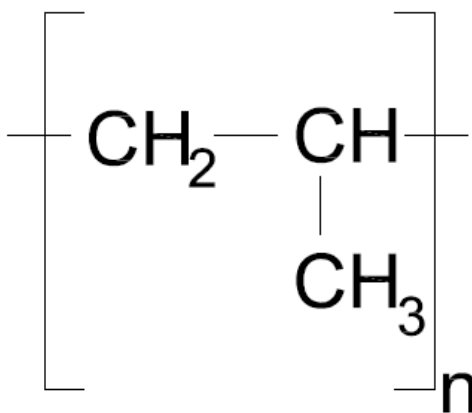
Porovnání vlastností izotaktického, syndiotaktického a ataktického polypropylenu je uvedeno v tabulce (Tab. 1.).

Vlastnosti	Izotaktický	Syndiotaktický	Ataktický
Hustota [g/cm ³]	0,92 - 0,94	0,8 - 0,91	0,85 - 0,90
Bod tání [°C]	165	135	-
Rozpustnost v uhlovodíku při 20 °C	nerozpouští se	střední	vysoká
Pevnost	vysoká	střední	velmi nízká

Tab. 1. Vlastnosti izotaktického, syndiotaktického a ataktického PP [1]

1.4 Molekulární struktura polypropylenu

Polypropylen má hlavní řetězec tvořen uhlíkovými atomy, přičemž na každém druhém uhlíku je vázána methylová skupina [2]:



Obr. 1. Struktura polypropylenu

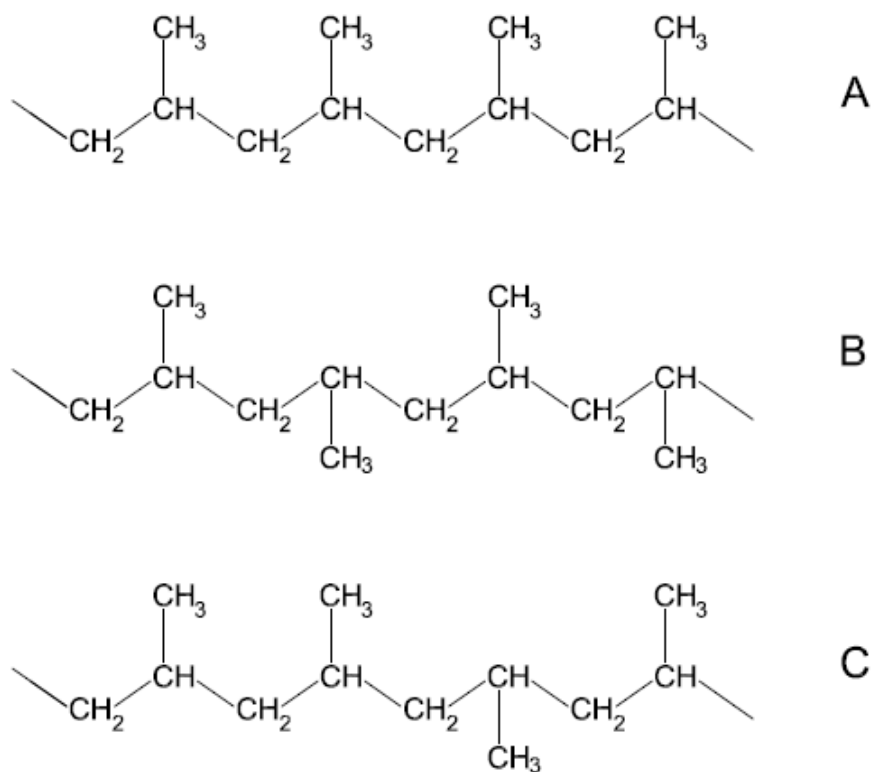
Polypropylenové jednotky jsou nesymetrické, takže se mohou do makromolekuly skládat různým způsobem. Podle podmínek, za nichž polymerace probíhá, mohou vzniknout tři druhy polymeru, které profesor Natta nazval polymer[2]:

- 1) izotaktický
- 2) syndiotaktický
- 3) ataktický

1.5 Využití polypropylenu

Pro své mimořádné vlastnosti se polypropylen uplatňuje v řadě technických aplikací a při výrobě spotřebního zboží. Vstřikované výrobky mají nejrůznější použití. Pro svou tuhost, mechanickou pevnost a dobré elektroizolační vlastnosti jsou vhodným materiálem zejména na technické výlisky, např. v automobilovém průmyslu tvoří vstřikované dílce součástí přístrojových desek, ventilátorů, víka rozvaděče apod. Dobrá tekutost polypropylenu při zpracování umožňuje výrobu technicky náročných výlisků, vhodných pro elektrotechniku. Výborná tepelná odolnost proti sterilizačním teplotám je výhodná pro zdravotnické výrobky, např. dílce injekčních stříkaček, hadiček, součástí přístrojů a mísy pro nemocné. Významné je rovněž jeho uplatnění při výrobě spotřebního zboží. Dělají se z něho hračky, kbelíky, dále součásti vysavačů, ventilátorů, sušičů na vlasy, praček, chladniček apod.

V obalové technice se využívají fólie k balení potravin a textilií. Tuhost fólie je výhodná při balení na balících automatech. Svůj význam mají tyto fólie jako izolační materiál v elektrotechnice. Polypropylenové desky se využívají v chemickém průmyslu k vykládání chemických zařízení. Za nejvýznamnější využití polypropylenu je potrubí pro studenou i teplou vodu, především teplou. Jako vlákna se polypropylen uplatňuje při výrobě technických tkanin a výrobků z nich (pytle, filtrační plachetky). Pro svou odolnost proti oděru jsou tato vlákna využívána zvláště pro výrobu koberec. [2]



Obr. 2. Stereometrie polypropylenu

- A) izotaktický
- B) syndiotaktický
- C) ataktický

U izotaktického polymeru jak je patrné z Obr. 2. A jsou methylové skupiny propylenu pravidelně seřazeny vždy podél téže strany hlavního uhlíkatého řetězce makromolekuly.

U syndiotaktického polymeru jak je vidět na Obr. 2. B se methylové skupiny propylenu pravidelně střídají po obou stranách hlavního uhlíkatého řetězce makromolekuly.

U ataktického polymeru jak zobrazuje Obr. 2. C jsou methylové skupiny propylenu uloženy nepravidelně po obou stranách hlavního uhlíkatého řetězce makromolekuly. [2]

2 POLY(1-BUTEN)

Poly(1-buten) - (zkráceně PB) byl poprvé syntetizován v roce 1954. Poly(1-buten) je semi-krytalický termoplast ze skupiny polyolefinů. H. Z. Friedländer připravil v roce 1963 pouze nízkomolekulární olejovité amorfnní polymery, ale již roku 1964 se R. O. Symcoxovi podařilo získat vysokomolekulární krytalický poly(1-buten). Do výroby byl zaveden začátkem 70. let.

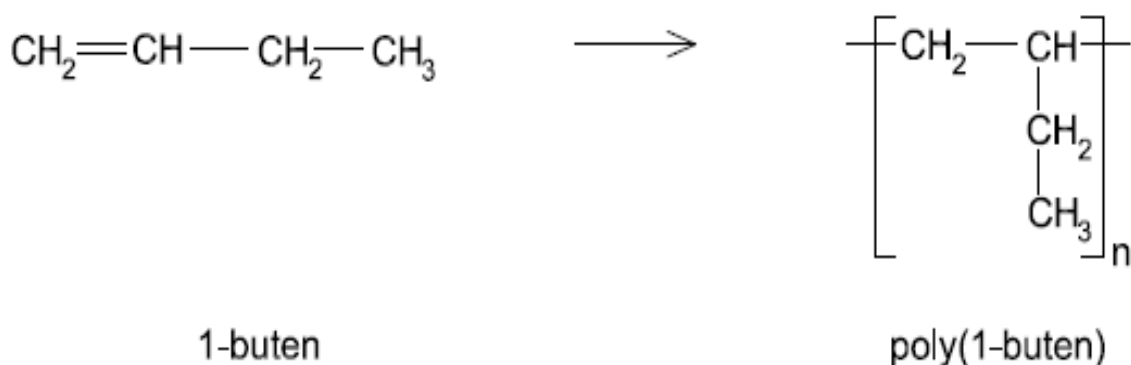
2.1 Výroba poly(1-butenu)

Hlavní surovinou pro výrobu poly(1-butenu) je 1-buten, který se technicky získává z frakce C₄, vedlejšího produktu vznikajícího při tepelném nebo katalytickém štěpení ropy.

Polymerací 1-butenu za katalytického účinku Zieglerových-Nattových stereospecifických katalyzátorů vzniká převážně izotaktický poly(1-buten). [2]

Technicky se polymerace provádí v roztoku rozpouštědla a z reakční polymerní směsi se zbytkový katalyzátor odstraňuje vodou. Po oddělení ataktického polymeru se výsledný, převážně izotaktický poly(1-buten) odstředí a po ochlazení se granuluje. [2]

Schéma polymerace [3]:



Obr. 3. Polymerace 1-butenu

2.2 Zpracování poly(1-butenu)

Zpracovává se obdobně jako ostatní polyolefiny vytlačováním, vstřikováním, vyfukováním, válcováním, lehčením apod. [3]

Vytlačováním při teplotách od 190 do 220°C na vytlačovacích strojích se získávají desky, trubky a fólie. Desky se vytlačují na zařízení se štěrbinovou hubicí. Pro vytlačování transparentních fólií je vhodný modifikovaný polybuten. Hotové trubky nelze navinovat, aby se krystalizací polymeru nefixoval navinutý tvar. Velké trubky a zásobníky až do průměru 3 m se vyrábějí navíjením vytlačovaného pásu. [3]

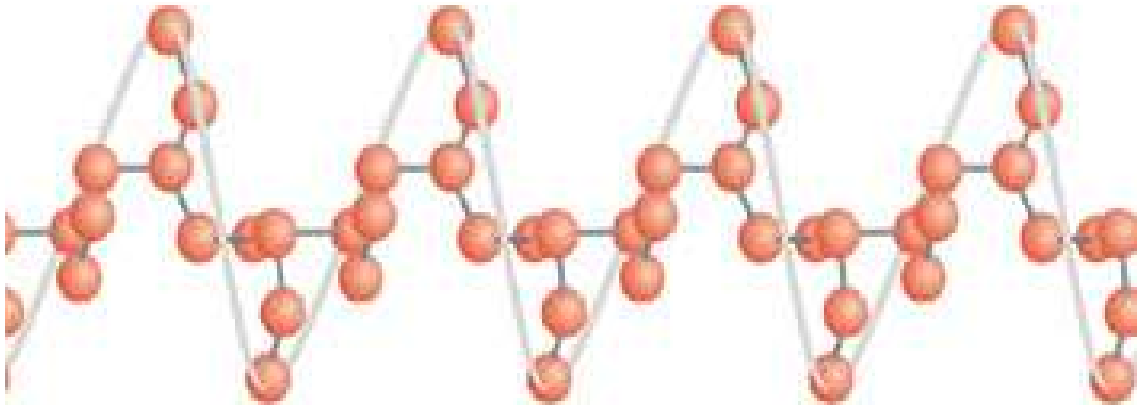
2.3 Vlastnosti poly(1-butenu)

Velká relativní molekulová hmotnost a krystalická struktura poly(1-butenu) příznivě ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti. Má vysokou rázovou pevnost, tvrdost a tuhost. Při dlouhodobém tepelném namáhání je odolný asi do 100°C, při mechanickém zatížení asi do 93°C. Bod tání stabilní formy poly(1-butenu) je 124°C. Odolává UV záření.[2]

Poly(1-buten) má dobrou chemickou odolnost, která těsně souvisí s jeho parafinickým charakterem. Kromě horkých aromatických a chlorovaných uhlovodíků a oxidačních kyselin odolává většině látek, zejména minerálním kyselinám, louhům, tukům, alkoholům, olejům a rozpouštědlům, ale stejně jako u většiny polymerů, tato odolnost klesá s rostoucí teplotou. Má velmi dobré vlastnosti nepropouštět vlhkost a to vede k použití v balení horkých jídel.

2.4 Molekulární strukturapoly(1-butenu)

Je výjimečný v tom, že existuje ve třech krystalických formách. První forma (tetragonální) vzniká přímo ochlazením taveniny, ale je nestabilní a při skladování přechází za 3 až 10 dnů do stabilní (rombické) formy. Třetí forma (stabilní) vzniká při krystalizaci z roztoku. Změnami při skladování se také mění hustota a bod tání ze 124°C na 135°C. Po 10 dnech skladování bývá stupeň krystalinity kolem 50%. Technické produkty tají při teplotách 125 až 130°C a mají hustotu 0,915 g/cm³. [1]



Obr. 4. Struktura lineární izotaktický (šroubovice) [4]

2.5 Využití poly(1-butenu)

Využívání poly(1-butenu) je teprve v počátcích. Hlavní širší použití je v oblastech potrubních materiálů, jak pro tlakové, tak pro vedení horkých médií do 90 °C. Další uplatnění se nachází v potravinářském průmyslu při výrobě obalů potravin (sáčky, fólie, pytle). Poly(1-buten) se hojně využívá i při výstelce ohřívačů vody, velkých zásobníků chemikálií a obkladů nádrží, dále na výrobu podrážek, kde se ocení hlavně tepelná vodivost a ohebnost materiálu. Poly(1-buten) se používá i na opláštění silových a sdělovacích kabelů. Dá se spojovat svařováním, lepení je však obtížné a vyžaduje povrchovou úpravu. [2]

3 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Materiály jsou při zpracování a používání vystaveny různému namáhání, jako je tah, tlak, krut, stříh a ohyb. Tato namáhání nepůsobí samostatně, ale v různých kombinacích. Aby materiál odolal těmto námahám, musí mít určité vlastnosti, jako je pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost a jiné. Na mechanické vlastnosti má vliv i teplota. Při změnách teploty se mění krystalická struktura látky a tím pádem i vlastnosti dané látky. [6]

Zkoušení materiálů je v praxi nezbytnou součástí nejen vlastního výrobního postupu, ale i kontroly výrobků a polotovarů a je i důležitým prostředkem a základem vývojových a výzkumných prací. K posuzování mechanických vlastností materiálů slouží mechanické zkoušky. [7]

Mechanické zkoušky dělíme podle několika hledisek [7]:

1) Podle teploty, při které se zkouška provádí:

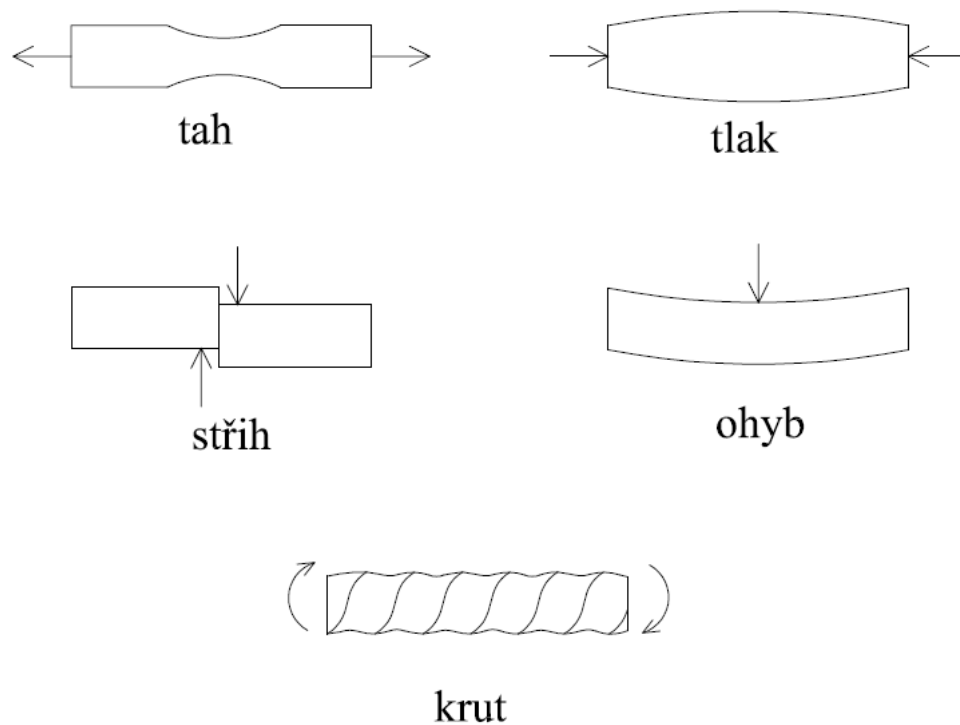
- zkoušky při normální teplotě
- zkoušky při zvýšené teplotě
- zkoušky při snížené teplotě

2) Podle charakteru působící síly:

- statické - rychlost zatěžování vzorku je konstantní
- dynamické - síla narůstá rychle, během krátkého okamžiku dosahuje síla maxima
- únavové - cyklické, síla mění jak svou velikost, tak i směr

3) Podle druhu působícího namáhání:

- tahem
- tlakem
- krutem
- stříhem
- ohybem



Obr. 5. Druhy mechanického namáhání

3.1 Statická zkouška tahem

Tahová zkouška je jednou z prvních zkoušek, podle kterých se hodnotila pevnost materiálu. Na zkušební těleso působí stále se zvětšující síla, až dojde po určité deformaci k destrukci materiálu, tzv. přetržení. Pevnost v tahu je vyjadřována silou, vztaženou na jednotkový průřez, tedy napětím potřebným k přetržení hmoty. Zavedením dokonalých systémů snímání napětí a deformace a jejich grafickým záznamem jsou získávány pracovní diagramy, kde celá tahová křivka poskytuje širší a přesnější informaci o deformačním chování materiálů za různých podmínek zkoušení. [8]

3.1.1 Základní definice a vztahy statické zkoušky tahem

Zkušební vzorek, zatěžovaný silou F se prodlužuje z počáteční měřené délky L_0 na konečnou délku L_U . Počáteční plocha příčného průřezu zkušebního vzorku S_0 se přitom mění na konečnou plochu S_U . Působící síla F vztažená na jednotku plochy se nazývá napětí. Vzhledem k tomu, že osově tahové napětí působí kolmo na ploše příčného průřezu, jedná se o napětí normálové (jmenovité) σ . [7]

Vztah pro výpočet normálového napětí [7]:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} [\text{MPa}] \quad (1)$$

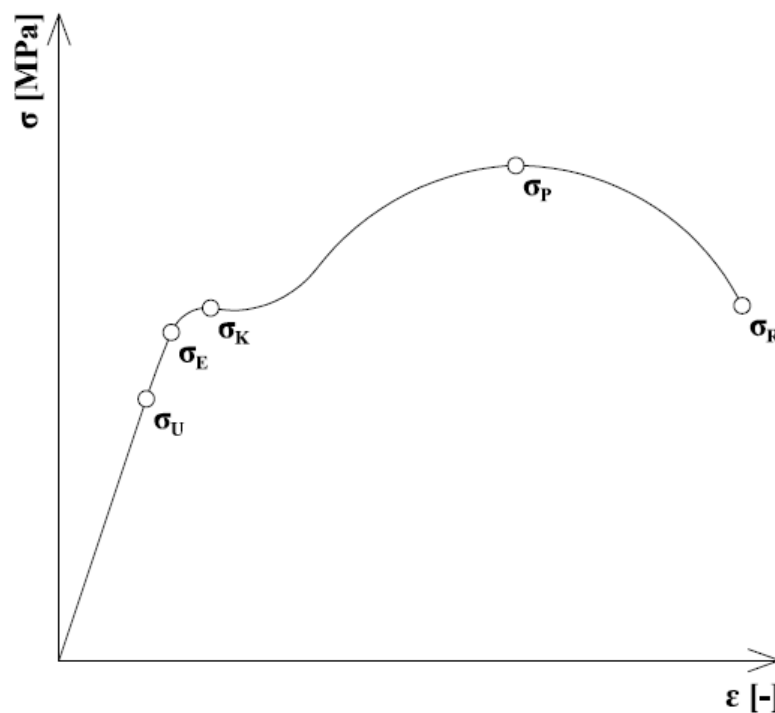
Absolutní prodloužení zkušební vzorku po přetržení [7]:

$$\Delta L = L_U - L_0 [\text{mm}] \quad (2)$$

Je možno přepočítat a vyjádřit rovněž jako poměrné prodloužení [7]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_U} = \frac{L_U - L_0}{L_U} [-] \quad (3)$$

Z uvedených vztahů vyplývá, že zaznamenaná závislost zatěžující síly F na absolutním prodloužení ΔL odpovídá závislosti normálového napětí σ na poměrném prodloužení ε . Nazývá se smluvním nebo pracovním diagramem zkoušky tahem.



Obr. 6. Obecná tahová křivka

Počáteční přímkový úsek diagramu vyjadřuje úměrnost napětí a deformace podle Hookova zákona [7]:

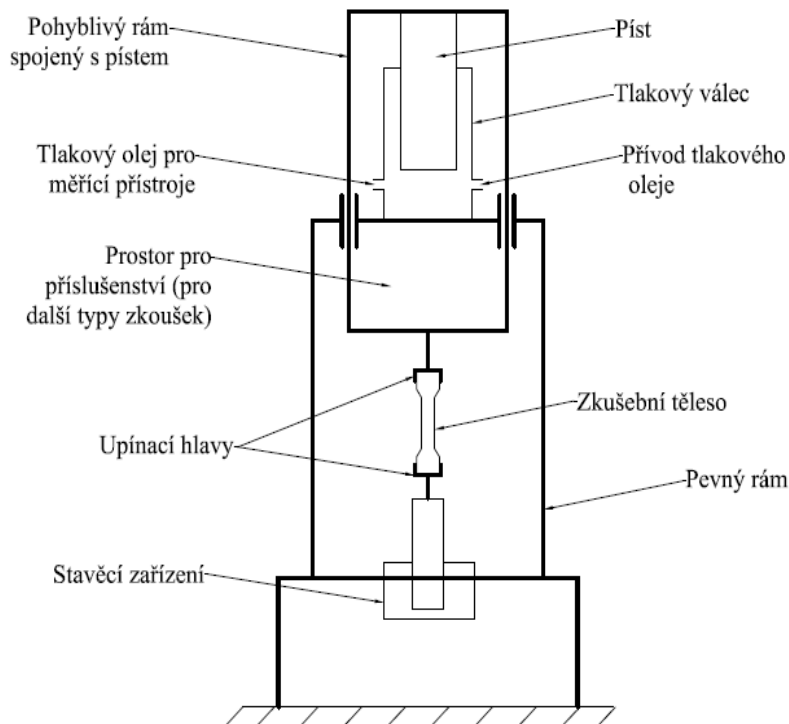
$$\sigma = E \cdot \varepsilon [\text{MPa}] \quad (4)$$

kde E je Youngův modul pružnosti v tahu.

- σ_U [MPa] – mez úměrnosti - bod na křivce, kde končí hookovské chování (prodloužení je přímo úměrné napětí)
- σ_E [MPa] – mez pružnosti - bod na křivce, do kterého je ještě deformace vratná (po uvolnění napětí se deformace vrací do původního stavu)
- σ_K [MPa] – mez kluzu - v tomto bodě dochází k protažení bez zvýšení napětí a nastává nevratná plastická deformace
- σ_P [MPa] – mez pevnosti – maximální napětí v tahu, působící na zkušební těleso při zkoušce
- σ_R [MPa] – mez přetržení – působící napětí, při němž dochází k přetržení zkušebního tělesa

3.1.2 Zkušební zařízení pro zkoušku tahem

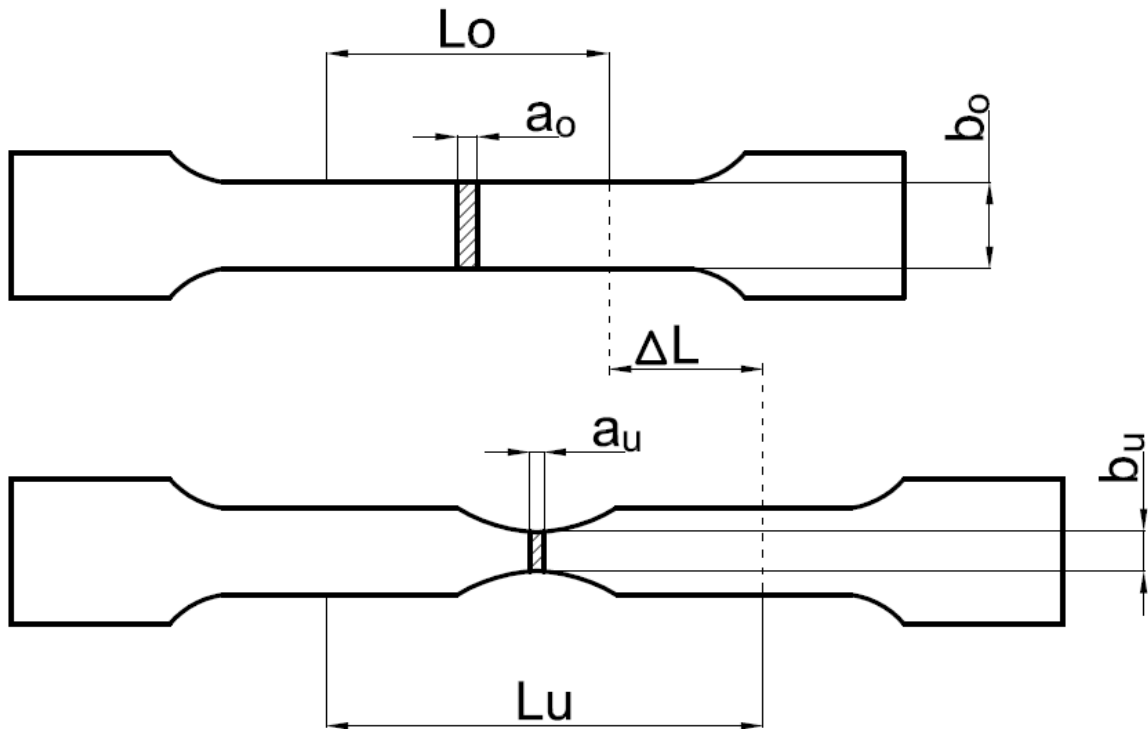
Do tlakového válce se přivádí olej, tím se nadzvedává pohyblivý rám stroje a dochází k působení napětí na zkušební těleso. Zkušební tělesa se pro zkoušku pevnosti v tahu upínají do upínacích hlav.



Obr. 7. Zkušební stroj pro statickou zkoušku tahem

3.1.3 Zkušební tělesa pro zkoušku tahem

Zkouška se provádí na zkušebních tělesech, které musí být vyrobeny podle příslušné materiálové specifikace. Tyto tělesa se upínají do stroje tak, aby osa zkušebního tělesa ležela přesně v ose čelistí stroje.



Obr. 8. Zkušební tělesa pro zkoušku tahem

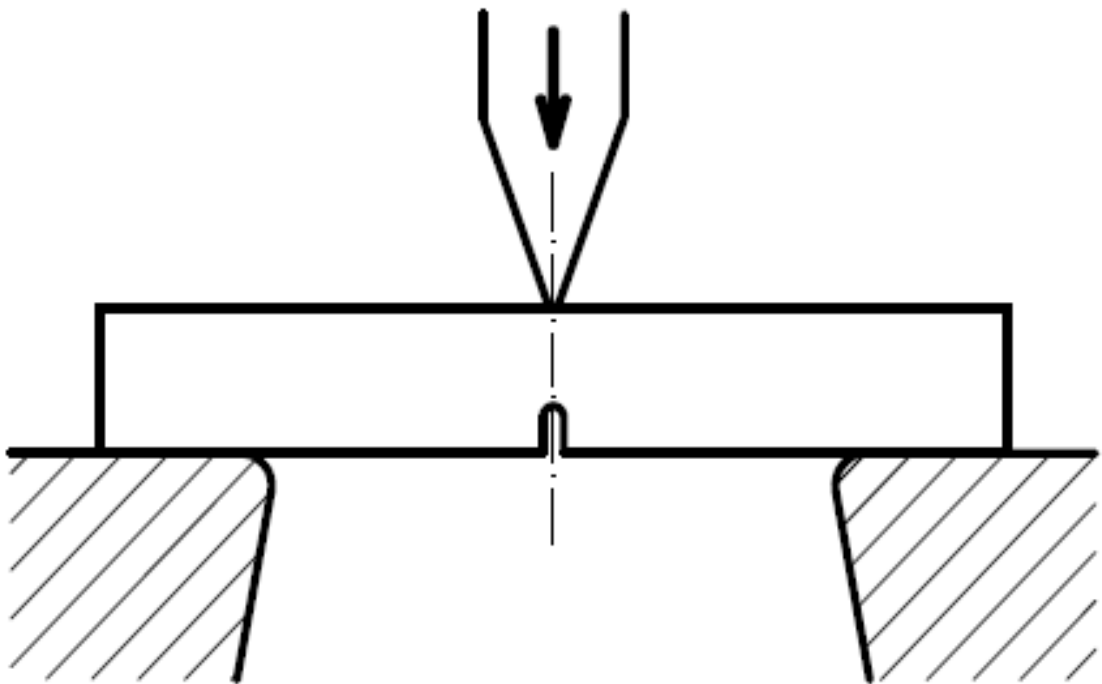
3.2 Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy

Rázové zkoušky patří mezi zkoušky dynamické. Slouží k určení množství práce nebo energie, které je potřebné na porušení zkušební vzorku. Zkouší se nejčastěji jedním rázem, kdy se na porušení zkušební tyčinky použije najednou dostatečného množství energie. Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu nebo krutu.[7]

Nejpoužívanější zkouškou z této skupiny je zkouška pevnosti v ohybu rázem. Je velmi dobrým ukazatelem rázové houževnatosti a křehkosti materiálů. Provádí se nejčastěji na Charpyho kyvadlovém kladivu. Těžké kladivo, otočné kolem osy, se zdvihne a upevní v počáteční poloze. V nejnižší poloze kladiva se umístí ve stojanu kyvadlového kladiva zkušební tyč ze zkoušeného materiálu. Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje

po kruhové dráze, narazí na zkušební tyč, přerazí ji a vykývne do konečné polohy. Tato poloha je nižší než poloha počáteční, protože na přeražení zkušební tyče se spotřebovala určitá práce. [7]

Aby byla hranice mezi křehkými a houževnatými materiály zřetelnější nebo aby se houževnaté materiály vůbec podařilo přerazit, používají se pro zajišťování rázové houževnatosti velice často také vzorky opatřené vrubem. Vruby mají normou přesně definovaný tvar i velikost. Rázová houževnatost zajištěná na těchto vzorcích se pak označuje jako vrubová houževnatost.[7]



Obr. 9. Princip rázové zkoušky metodou Charpy

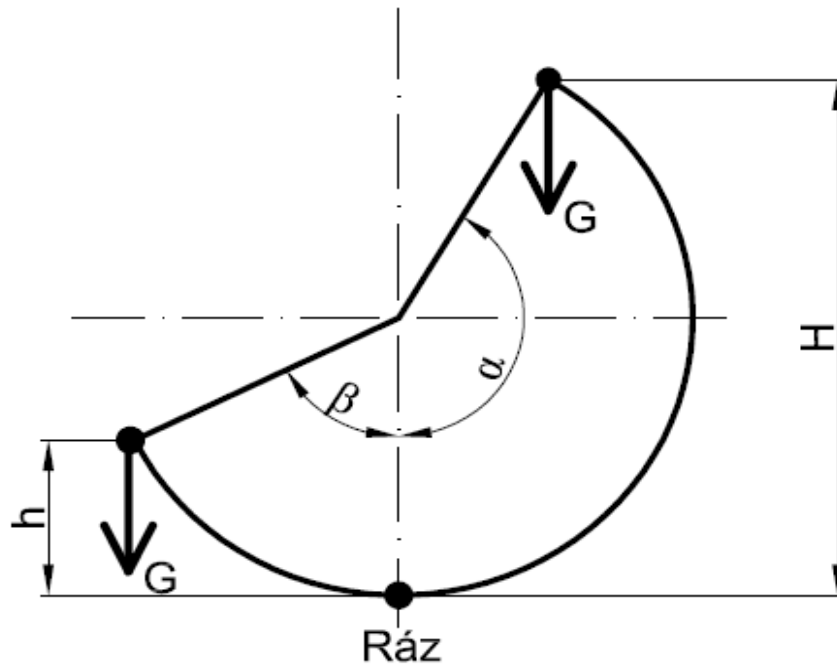
3.2.1 Základní definice a vztahy rázové zkoušky

Energie spotřebovaná na přerážení tělesa W je dána potencionální energií [8]:

$$W_{p1} = G H; W_{p2} = G h$$

$$W = W_{p1} - W_{p2} = G (H - h) = G [r (1 - \cos \alpha) - r (1 - \cos \beta)] = G r (\cos \beta - \cos \alpha) [J]$$

(12)



Obr. 10. Měření nárazové práce na kyvadlovém kladivu Charpy

kde H je výchozí výška kladiva vzhledem ke zkušební tyči, h je konečná výška vzhledem ke zkušební tyči, α je výchozí úhel kladiva, β je konečný úhel kladiva, r je poloměr kyvu kladiva, G je tíha kladiva.[8]

Energie spotřebovaná k přerázení zkušebního tělesa bez vrubu vztažená na plochu jeho příčného průřezu [8]:

$$A_n = \frac{W}{b h} [\text{J}/\text{m}^2] \quad (13)$$

kde W je energie spotřebovaná při přerázení, b je šířka zkušebního tělesa a h je tloušťka zkušebního tělesa.

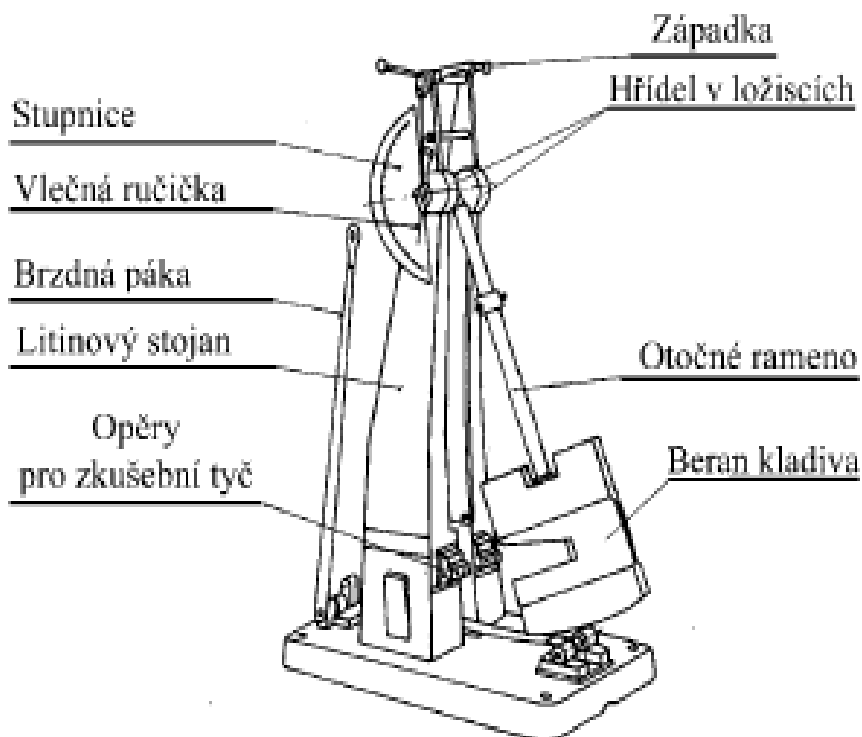
Energie spotřebovaná k přerázení zkušebního tělesa opatřeného s vrubem různých tvarů vztažená na plochu jeho příčného průřezu [8]:

$$A_k = \frac{W}{b h_k} [\text{J}/\text{m}^2] \quad (14)$$

kde W je energie spotřebovaná při přerážení, b je šířka zkušebního tělesa, h_k je tloušťka zkušebního tělesa v místě vrubu. [8]

3.2.2 Zkušební zařízení rázové zkoušky

Charpyho kladivo se skládá z masivního litinového stojanu, hřídele, která je ve stojanu uložena pomocí kvalitních ložisek, otočného ramene, které je pevně uchyceno ke hřídeli, beranu zavěšeného na otočném rameni, unášče pevně spjatým s hřídelí, který při ohybu unáší vlečnou ručičku, vlečné ručičky, stupnice, pásové brzdy, páky ovládající brzdu. [9]

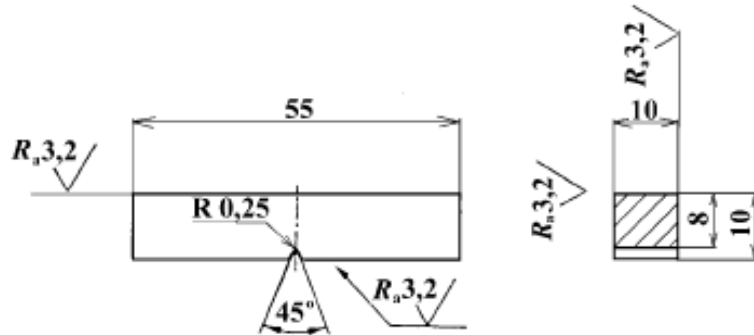


Obr. 11. Schéma Scharpyho kladiva [9]

3.2.3 Zkušební tělesa rázové zkoušky

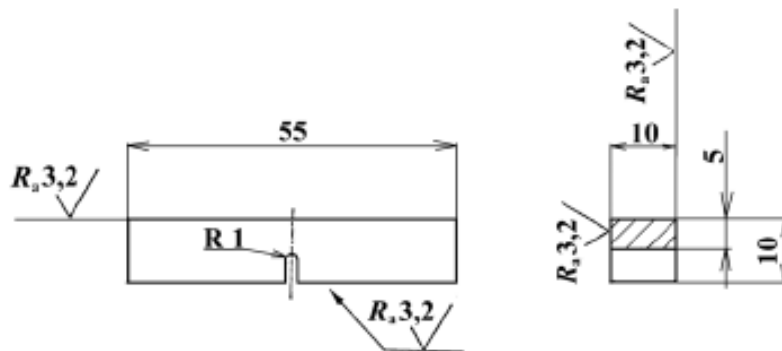
Základní zkušební těleso má tvar tyče čtvercového průřezu s délkou strany 10 mm a délkou 55 mm. Uprostřed délky je vytvořen vrub. Jsou předepsány dva typy vrubů - ve tvaru U a V.

Vrub ve tvaru V má hloubku 2 mm a poloměr zaoblení kořene vrubu 0,25 mm. Ramena vrubu svírají úhel 45°. Není – li možno ze zkoušeného materiálu zhotovit zkušební tyč základní, musí být použita zkušební tyč menších rozměrů o šířce 7,5 mm nebo 5 mm. Vrub je pak na jedné z užších ploch.[9]



Obr. 12. Zkušební tyč s V-vrubem [9]

Vrub ve tvaru U nebo ve tvaru klíčového otvoru má hloubku 5 mm a poloměr zaoblení kořene vrubu 1 mm.[9]



Obr. 13. Zkušební tyč s U-vrubem [9]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLU BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je stanovení vlivu množství polybutenu na mechanické vlastnosti směsi PP+PB. PB byl dávkován do PP v množství 25% a 50%. Měření mechanických vlastností bylo provedeno pomocí tahové zkoušky a zkoušky vrubové houževnatosti. Měřeno bylo vždy 10 zkušebních těles. Naměřené hodnoty byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

Cíle bakalářské práce byly následující:

- 1) Vypracování literární studie na dané téma
- 2) Příprava zkušebních vzorků na experimentální část
- 3) Provedení experimentu
- 4) Vyhodnocení naměřených výsledků

5 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

5.1 Zwick 1456

Pro zkoušku tahem byl použit zkušební stroj Zwick 1456. Na stroji je možné provádět zkoušky tahem, tlakem, ohybem i cyklické zkoušky míjivým zatížením. Průběh zkoušky a naměřené veličiny jsou vyhodnocovány na osobním počítači v programu testXpert.



Obr. 14. Universální zkušební stroj Zwick 1456

Maximální zkušební síla	20 kN
Celková výška	2012 mm
Celková šířka	630 mm
Hmotnost	150 kg
Strojová výška	1284 mm
Šířka pracovního prostoru	420 mm

5.2 ResilImpactorJunior

Pro dynamickou rázovou zkoušku vrubové houževnatosti byla použita Charpyho metoda za pomoci zkušebního stroje ResilImpactor Junior.

Naměřená data byla zpracována na osobním počítači.



Obr. 15. ResilImpactor Junior

Rázová energie	25 J
Celkové rozměry	900x500x800 mm
Hmotnost	180 kg
Napětí	230 V – 50 Hz
Výkon	50 W

6 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

6.1 Polypropylen

Polypropylen (zkráceně PP) je termoplastický polymer ze skupiny polyolefinů, které patří mezi nejběžnější plasty, používá se v mnoha odvětvích potravinářského a textilního průmyslu a v laboratorních vybaveních. Prodává se pod obchodním názvem Triplen, Tatren, Mosten atd.[5]

Výchozí surovinou pro výrobu polypropylenu je nenasycený uhlovodík propylen $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$, který se polymeruje. Klasický postup polymerizace je založen na Zieglerových-Nattových katalyzátorech tvořených nejčastěji kombinací triethylaluminia s chloridem titanitým TiCl_3 . [2]

Polypropylenové jednotky jsou nesymetrické, takže se mohou do makromolekuly skládat různým způsobem. Podle podmínek, za nichž polymerace probíhá, mohou vzniknout tři druhy polymeru, které profesor Natta nazval polymer[2]:

- 1) izotaktický
- 2) syndiotaktický
- 3) ataktický

Polypropylen lze výborně tvářet a zpracovávat jako jiné termoplastické hmoty. Pro zpracovatelský průmysl se vyrábí řada druhů propylenu pro vstřikování, výrobu fólií, vytlačování a výrobu vláken. Vstřikováním se polypropylen zpracovává na běžných vstřikovacích strojích, používaných pro termoplastické polymery. Zhotovují se tlustostěnné a velkoplošné výrobky. Vytlačováním na šnekových vytlačovacích strojích se z polypropylenu vyrábějí trubky, fólie, desky i různé profilové výrobky. Desky i trubky se spojují svařováním, lepení je obtížné. Nanášením polypropylenu na kovové dílce se získávají velmi odolné ochranné povlaky kovových dílců, odolné proti působení chemických činidel. [2]

Polypropylen je lehčí plastická hmota, která plave ve vodě. Je to bezbarvý polymer, fyziologicky nezávadný a bez zápachu. Zajímavou vlastností polypropylenu je malá propustnost vzduchu, plynů a pár. Proto je tento materiál vhodný pro použití v obalové technice.[2]

Má výborné mechanické vlastnosti, vyznačuje velkou tvrdostí, pevností a tepelnou odolností. Za zvýšených teplot má polypropylen sklon k autooxidaci, a musí se proto stabilizovat.[2]

6.2 Polybuten

Poly(1-buten) - (zkráceně PB) byl poprvé syntetizován v roce 1954. Poly(1-buten) je semi-krytalický termoplast ze skupiny polyolefinů. H. Z. Friedländer připravil v roce 1963 pouze nízkomolekulární olejovité amorfní polymery, ale již roku 1964 se R. O. Symcoxovi podařilo získat vysokomolekulární krytalický poly(1-buten). Do výroby byl zaveden začátkem 70. let.

Hlavní surovinou pro výrobu poly(1-butenu) je 1-buten, který se technicky získává z frakce C₄, vedlejšího produktu vznikajícího při tepelném nebo katalytickém štěpení ropy.

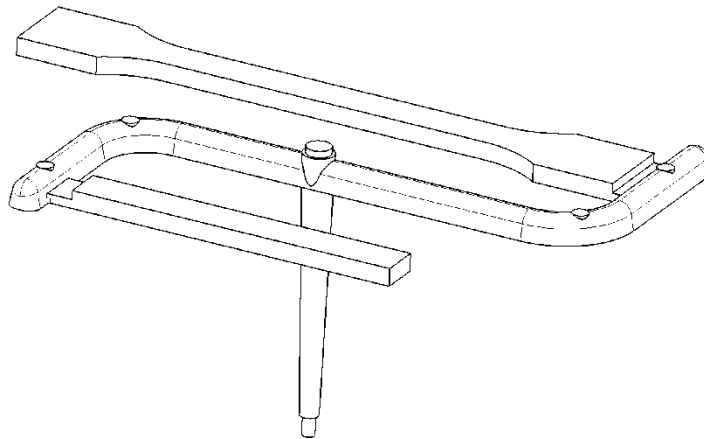
Zpracovává se obdobně jako ostatní polyolefiny vytlačováním, vstřikováním, vyfukováním, válcováním, lehčením apod. [3]

Poly(1-buten) má dobrou chemickou odolnost. Kromě horkých aromatických a chlorovaných uhlovodíků a oxidačních kyselin odolává většině látek, zejména minerálním kyselinám, louhům, tukům, alkoholům, olejům a rozpouštědlům, ale stejně jako u většiny polymerů, tato odolnost klesá s rostoucí teplotou. Má velmi dobré vlastnosti nepropouštět vlhkost a to vede k použití v balení horkých jídel.

Využívání poly(1-butenu) je teprve v počátcích. Hlavní širší použití je v oblastech potrubních materiálů, jak pro tlakové, tak pro vedení horkých médií do 90 °C. Další uplatnění se nachází v potravinářském průmyslu při výrobě obalů potravin (sáčky, fólie, pytle).

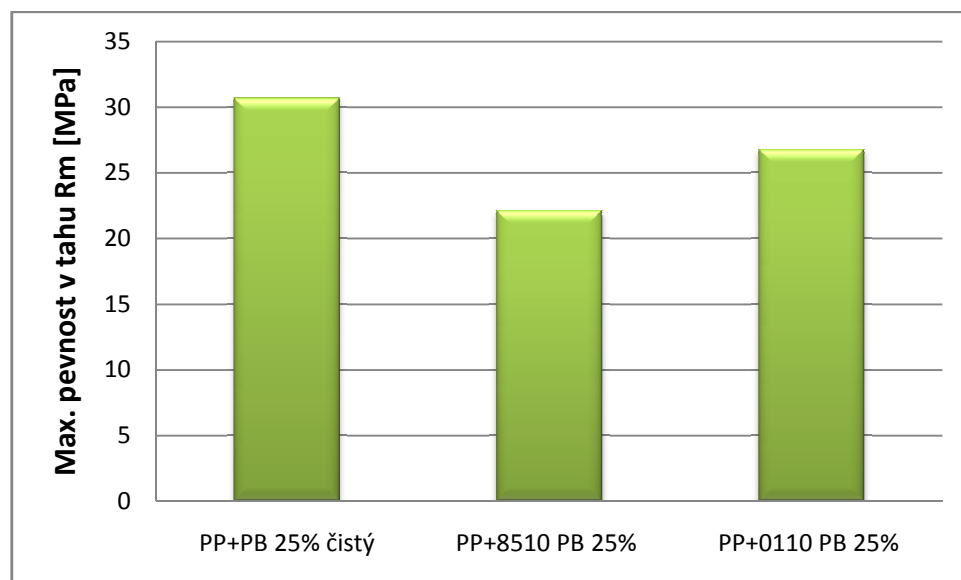
7 TAHOVÉ VLASTNOSTI

Tahová zkouška byla provedena na univerzálním zkušebním stroji Zwick 1456. Zkušební tělíska byla vyrobena vstříkovaním. Zkouška proběhla podle normy ČSN EN ISO 527.



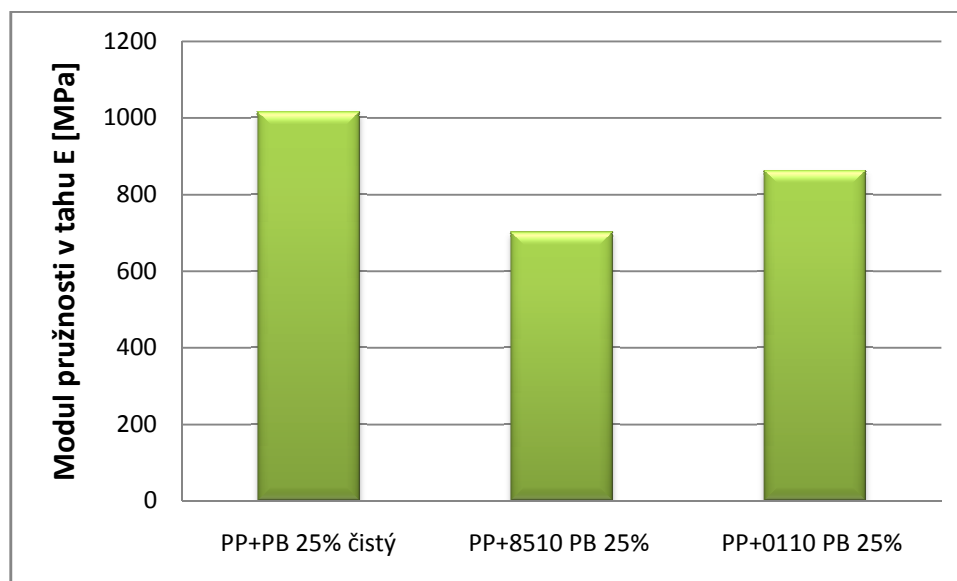
Obr. 16. Zkušební tělesa pro zkoušku tahem

7.1 Shrnutí tahových vlastností směsi PP+PB pro 25% PB



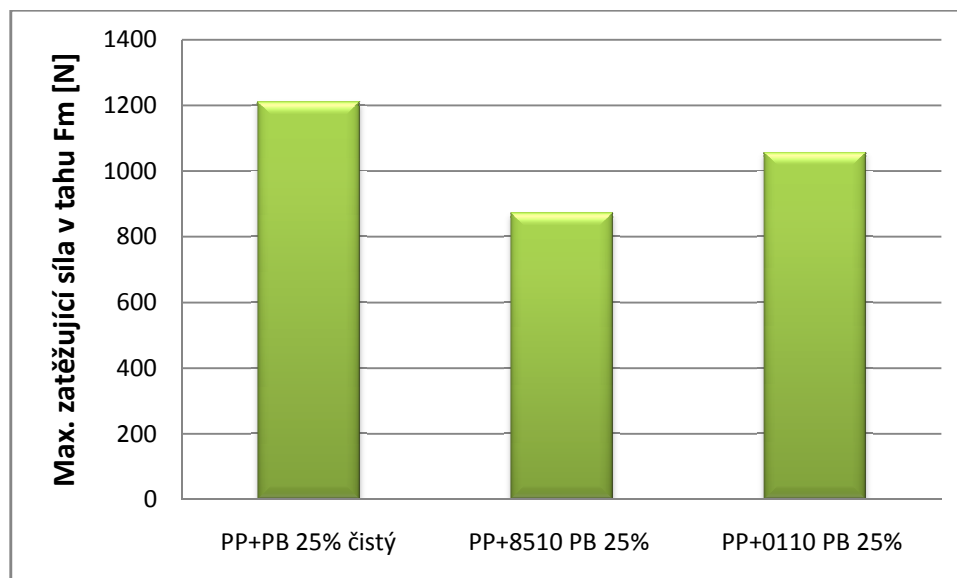
Obr. 17. Maximální pevnost v tahu pro 25% PB

Při zkoušce tahem bylo zjištěno, že ze zkoušených materiálů směsi s 25% PB byla dosažena největší pevnost v tahu u vzorku PP+PB 25% čistý s hodnotou 30,675 MPa a nejmenší pevnost v tahu je u vzorku PP+8510 PB 25% s hodnotou 22,108 MPa (Obr. 17).



Obr. 18. Modul pružnosti v tahu pro 25% PB

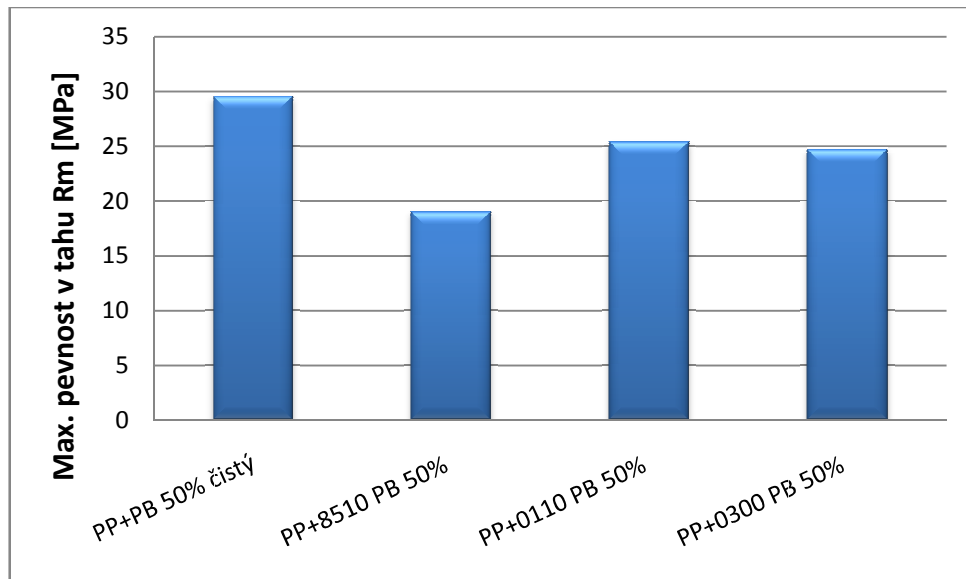
Z tahové zkoušky testovaných materiálů směsi s 25% PB vyplynulo, že největší modul pružnosti (tuhost) u vzorku PP+PB 25% čistý s hodnotou 1015,172 MPa a nejmenší modul pružnosti (tuhost) je u vzorku PP+8510 PB 25% s hodnotou 701,407 MPa (Obr. 18).



Obr. 19. Maximální zatěžující síla v tahu pro 25% PB

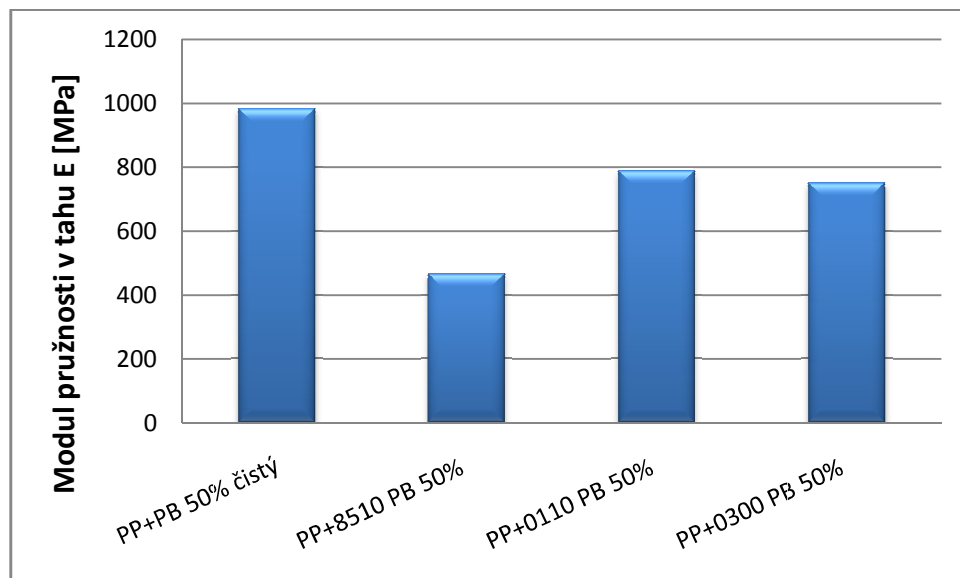
Při tahové zkoušce vyplynulo, že u směsi s 25% PB je největší maximální zatěžující síla u vzorku PP+PB 25% čistý s hodnotou 1211,088 N a nejmenší maximální zatěžující síla je u vzorku PP+8510 PB 25% s hodnotou 872,853 N (Obr. 19).

7.2 Shrnutí tahových vlastností směsi PP+PB pro 50% PB



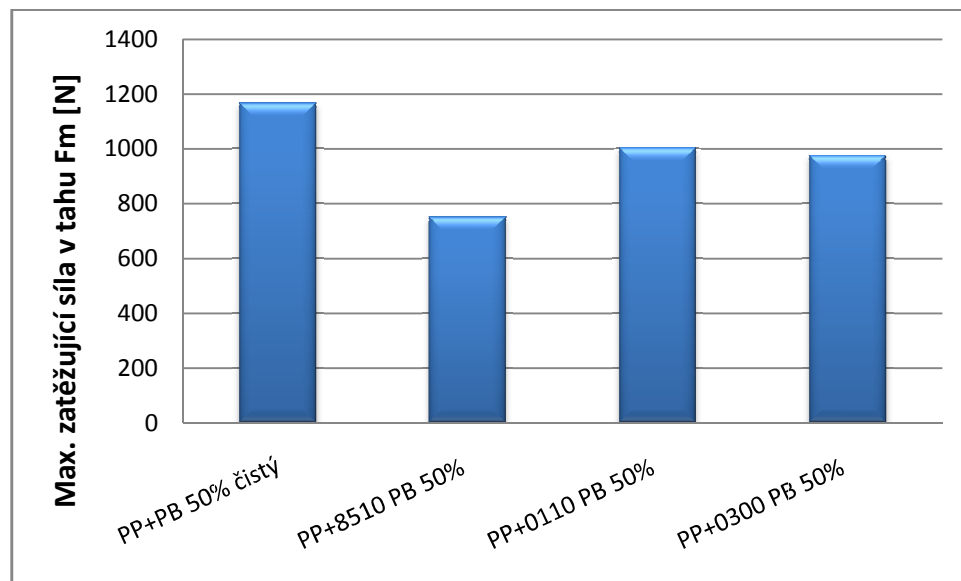
Obr. 20. Maximální pevnost v tahu pro 50% PB

Z výsledku měření tahové zkoušky je patrné, že ze zkoušených materiálů směsi s 50% PB je největší pevnost v tahu u vzorku PP+PB 50% čistý s hodnotou 29,545 MPa a nejmenší pevnost v tahu je u vzorku PP+8510 PB50% s hodnotou 19,022 MPa (Obr. 20).



Obr. 21. Modul pružnosti v tahu pro 50% PB

Z tahové zkoušky testovaných materiálů směsi s 50% PB vyplynulo, že je největší modul pružnosti (tuhost) u vzorku PP+PB 50% čistý s hodnotou 983,427 MPa a nejmenší modul pružnosti (tuhost) je u vzorku PP+8510 PB 50% s hodnotou 466,791 MPa (Obr. 21).



Obr. 22. Maximální zatěžující síla v tahu pro 50% PB

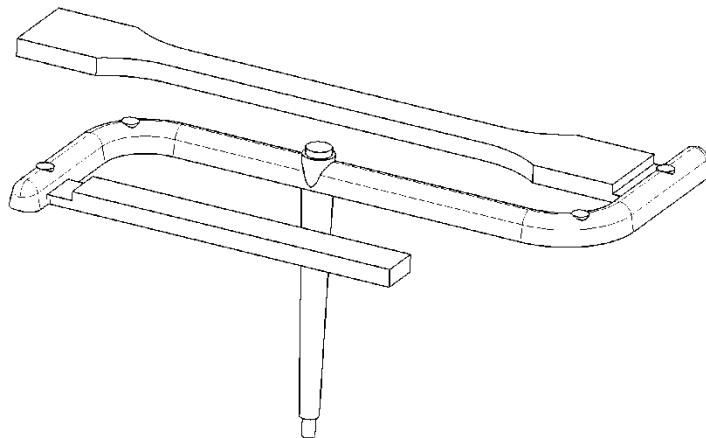
Při tahové zkoušce vyplynulo, že ze zkoušených materiálů směsi s 50% PB je největší maximální zatěžující síla u vzorku PP+PB 50% čistý s hodnotou 1166,49 N a nejmenší maximální zatěžující síla je u vzorku PP+8510 PB 50% s hodnotou 751,004 N (Obr. 22).

8 RÁZOVÁ HOUŽEVNOST METODOU CHARPY

Zkouška rázové houževnatosti byla provedena na zkušebním stroji ResilImpactor Junior. Zkušební tělíska byla vyrobena vstřikováním a vrub byl vyroben na vrubovacím přístroji NotchvisCeast. Zkouška proběhla podle normy ČSN EN ISO 179-2.

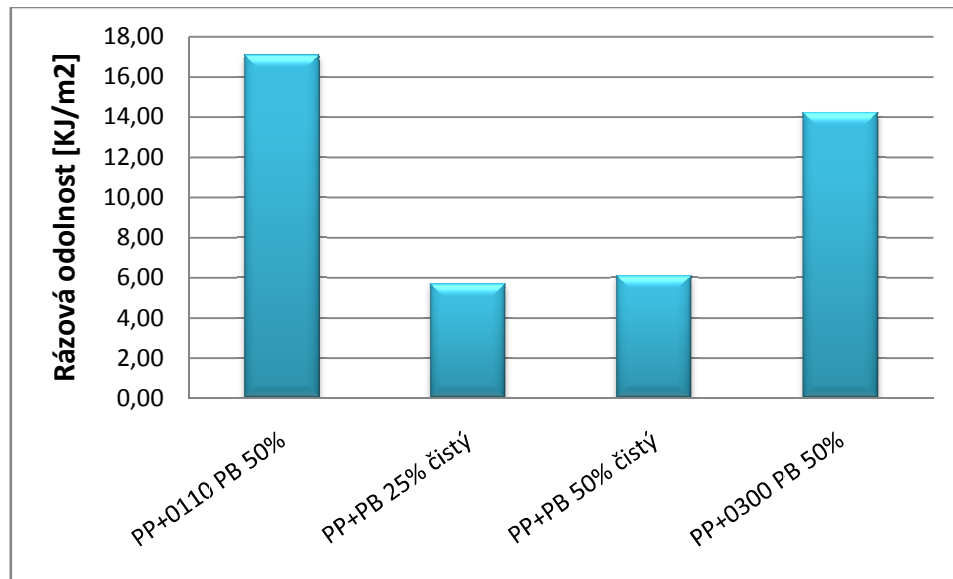


Obr. 23. Vrubovací přístroj NotchvisCeast



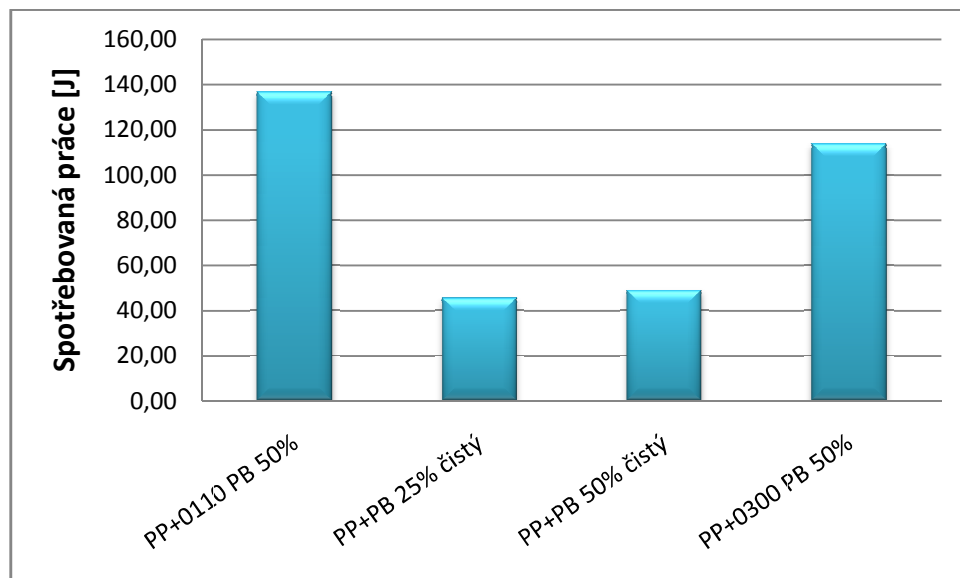
Obr. 24. Zkušební tělíska pro zkoušku rázové houževnatosti

8.1 Shrnutí vlastností rázové zkoušky směsi PP+PB



Obr. 25. Rázová odolnost metodou Charpy

Ze zkoušky vrubové houževnatosti testovaných materiálů vyplynulo, že největší rázová odolnost je u vzorku PP+0110 PB 50% s hodnotou 17,08 kJ/m² a nejmenší rázová odolnost je u vzorku PP+PB 25% čistý s hodnotou 5,69 kJ/m² (Obr. 25).



Obr. 26. Spotřebovaná práce metodou Charpy

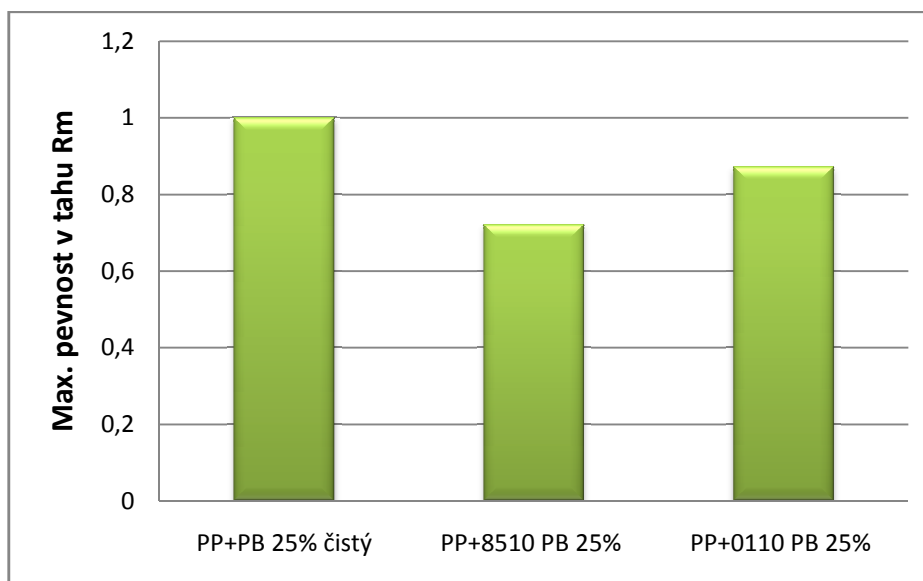
Při zkoušce vrubové houževnatosti bylo zjištěno, že ze zkoušených materiálů byla dosažena největší spotřebovaná práce u vzorku PP+0110 PB 50% s hodnotou 136,61 J a nejmenší spotřebovaná práce je u vzorku PP+PB 25% čistý s hodnotou 45,46 J (Obr. 26).

9 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Bakalářská práce se zabývá vlivem přidaného množství PB na mechanické vlastnosti PP. Polybuten byl přidáván do polypropylenu v množství 25% a 50%. Z připravené směsi granulátu byla technologií vstřikování vyrobena zkušební tělesa určená pro tahovou a rázovou zkoušku. Testováno bylo vždy 10 kusů zkušebních těles. Z provedených experimentů byly soubory naměřených hodnot zpracovány a výsledky graficky znázorněny. Pro snadnější orientaci a rychlé porovnání naměřených hodnot, byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření, k maximální hodnotě dosažené v průběhu příslušného měření.

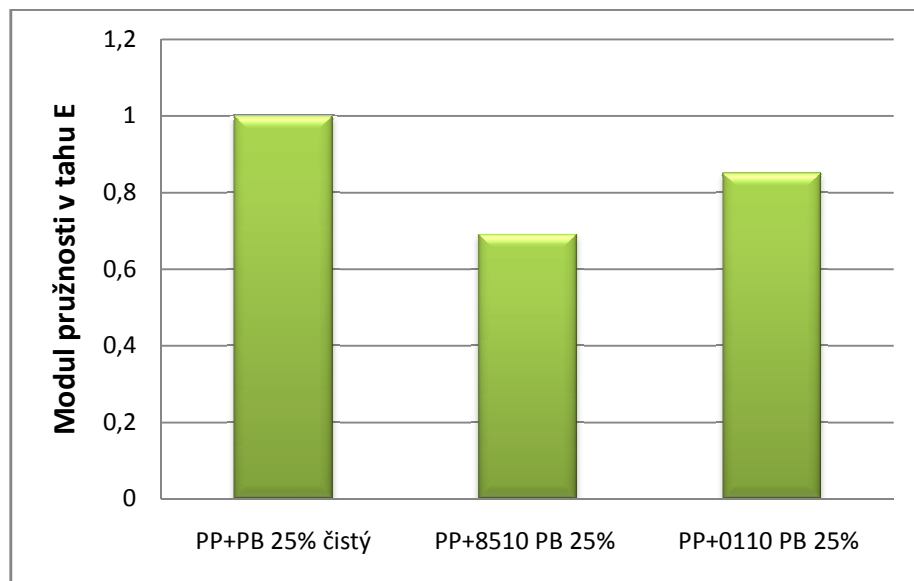
9.1 Tahové vlastnosti

9.1.1 Shrnutí tahových vlastností směsi PP+PB pro 25% PB

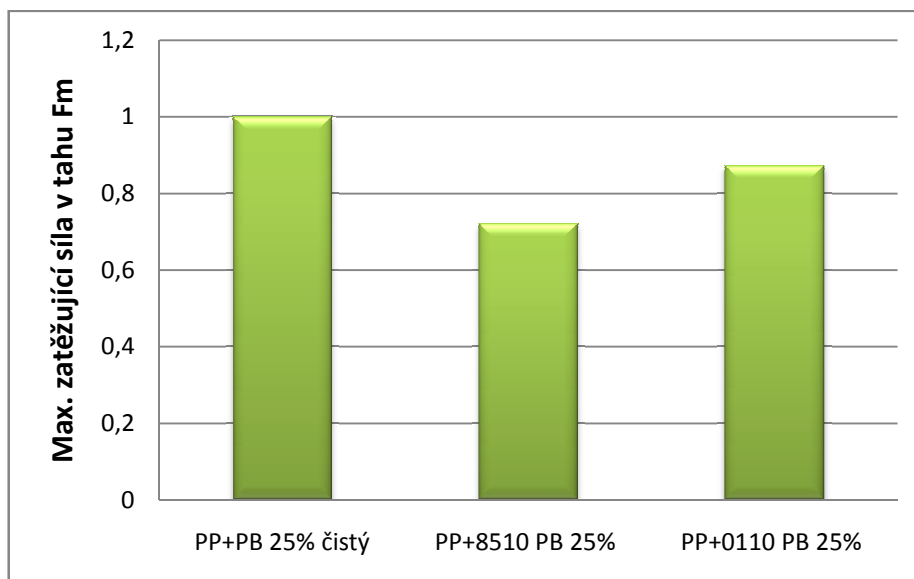


Obr. 27. Maximální pevnost v tahu pro 25% PB - bezrozměrný

Maximální pevnost v tahu byla zjištěna u směsi PP+PB25% čistý, naopak nejmenší hodnota maximální pevnosti v tahu byla dosažena u PP+8510PB25%. Stejně výsledky byly naměřeny i v případě tuhosti a maximální síly sledovaných polymerních materiálů. Jak již bylo zmíněno, nejmenší hodnoty byly zjištěny u materiálu PP+8510PB25%, kdy maximální pevnost poklesla o 25% (obr. 27, 28, 29). Pokles naměřených hodnot souvisí se strukturou a morfologií testovaných polymerních materiálů, kdy se testují jak čisté materiály, tak kopolymery.

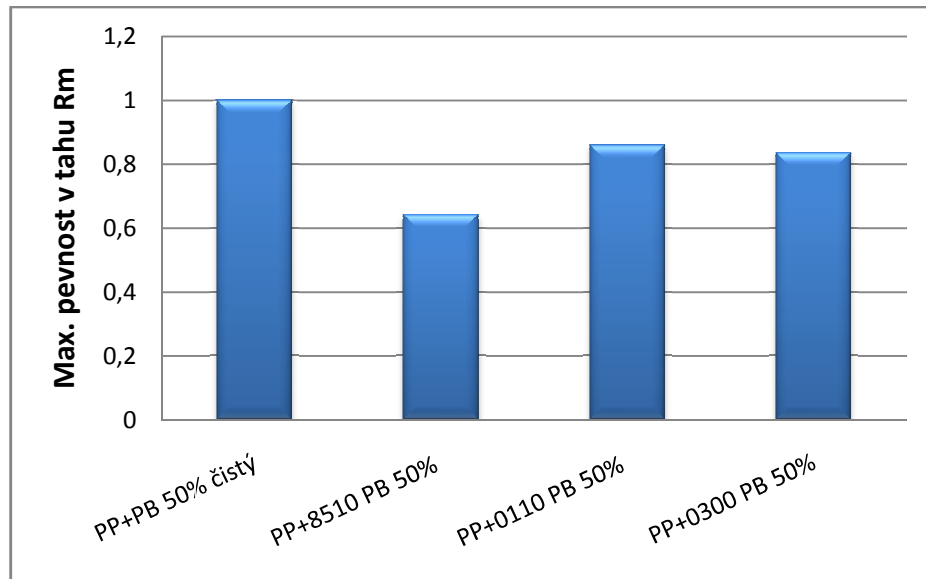


Obr. 28. Modul pružnosti v tahu pro 25% PB - bezrozměrný



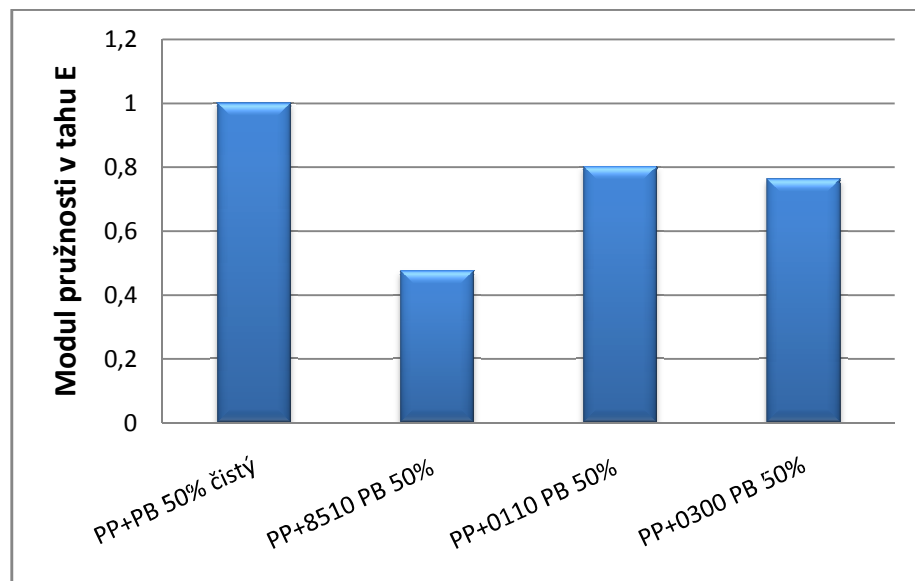
Obr. 29. Maximální zatěžující síla v tahu pro 25% PB - bezrozměrný

9.1.2 Shrnutí tahových vlastností směsi PP+PB pro 50% PB

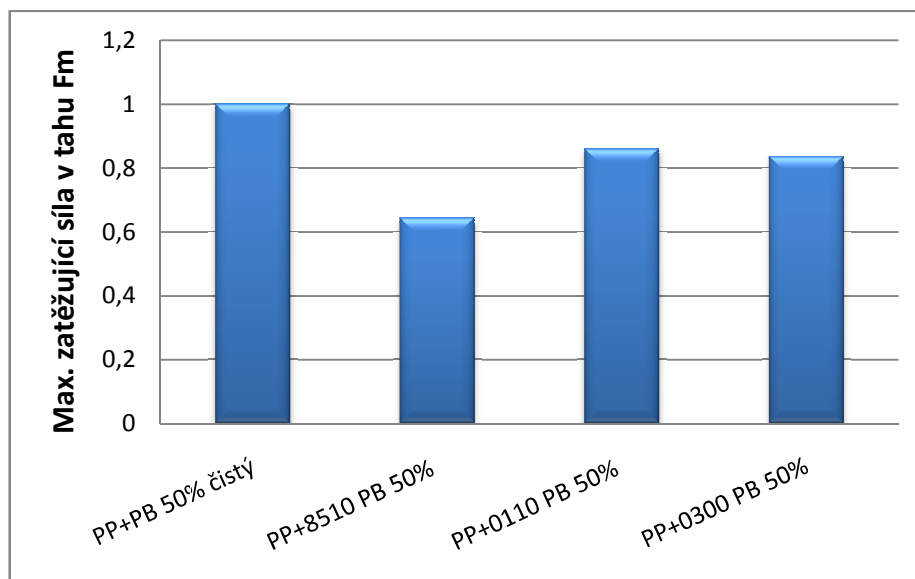


Obr. 30. Maximální pevnost v tahu pro 50% PB – bezrozměrný

Nejvyšší hodnota maximální pevnosti v tahu byla zjištěna u směsi PP+PB50% čistý, naopak nejmenší hodnota maximální pevnosti v tahu byla dosažena u PP+8510PB50%. Stejně výsledky byly naměřeny i v případě tuhosti a maximální síly sledovaných polymerních materiálů. Jak již bylo zmíněno, nejmenší hodnoty byly zjištěny u materiálu PP+8510PB50%, kdy maximální pevnost poklesla o 30% (obr. 30, 31, 32). Pokles naměřených hodnot souvisí se strukturou a morfologií testovaných polymerních materiálů, kdy se testují jak čisté materiály, tak kopolymery.



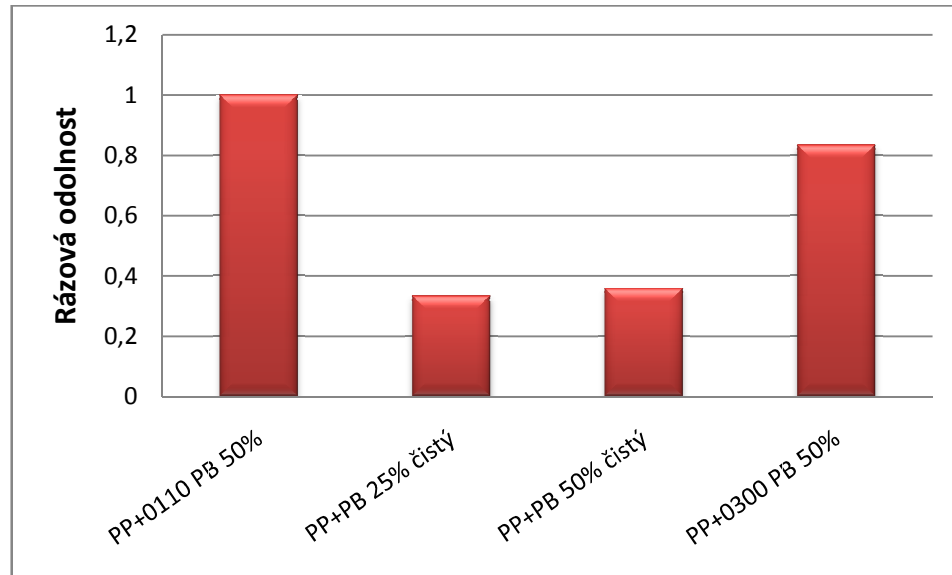
Obr. 31 Modul pružnosti v tahu pro 50% PB - bezrozměrný



Obr. 32. Maximální zatěžující síla v tahu pro 50% PB - bezrozměrný

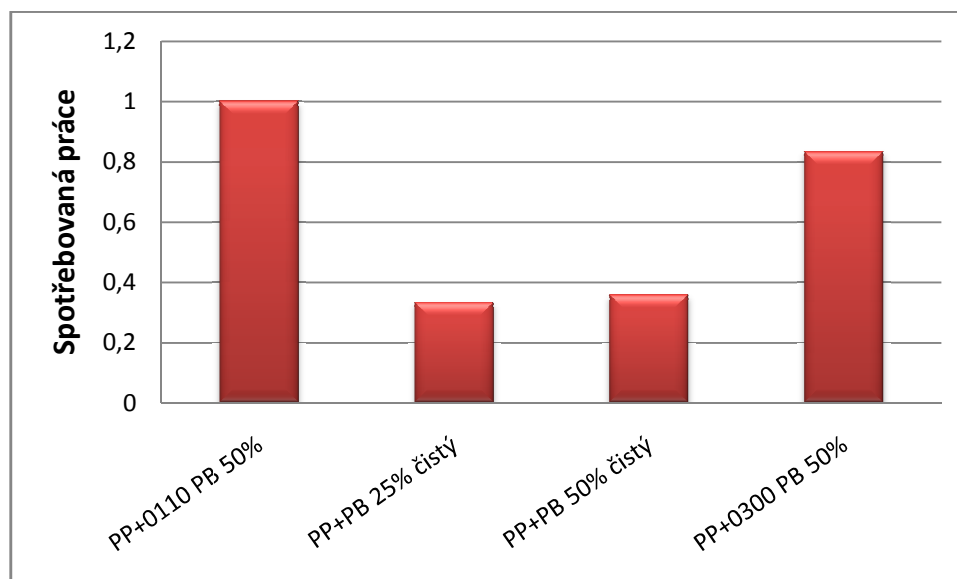
9.2 Rázová houževatost metodou Charpy

9.2.1 Shrnutí vlastností rázové zkoušky směsi PP+PB



Obr. 33. Rázová odolnost metodou Charpy - bezrozměrný

Největší hodnota rázové odolnosti byla zjištěna u směsi PP+0110PB50%, naopak nejmenší hodnota rázové odolnosti byla dosažena u PP+PB25% čistý. Stejně výsledky byly naměřeny u spotřebované práce přerážených polymerních materiálů. Jak již bylo zmíněno, nejmenší hodnoty byly zjištěny u materiálu PP+PB25% čistý, kdy rázová odolnost klesla o 60% (obr. 33, 34). Pokles naměřených hodnot souvisí se strukturou a morfologií testovaných polymerních materiálů, kdy se testují jak čisté materiály, tak kopolymery.



Obr. 34. Spotřebovaná práce metodou Charpy - bezrozměrný

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá vlivem přidaného množství PB na mechanické vlastnosti PP. Polybuten byl přidáván do polypropylenu v množství 25% a 50%. Z připravené směsi granulátu byla technologií vstřikování vyrobena zkušební tělesa určená pro tahovou a rázovou zkoušku. Testováno bylo vždy 10 kusů zkušebních těles. Z provedených experimentů byly soubory naměřených hodnot zpracovány a výsledky graficky znázorněny. Pro snadnější orientaci a rychlé porovnání naměřených hodnot, byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření, k maximální hodnotě dosažené v průběhu příslušného měření.

Z naměřených výsledků měření vyplynulo, že nejlepší pevnost v tahu vykázal materiál PP+PB25% čistý. Nejhorší výsledky maximální pevnosti v tahu byly zjištěny u materiálu PP+8510PB25%. Velmi podobných hodnot bylo dosaženo i směsí PP+PB50%. Pokud se týká hodnocení tuhosti a maximální síly dosažené v průběhu tahové zkoušky, nejlépe opět dopadl materiál PP+PB 25% čistý. Nejhuře dopadl materiál PP+8510PB25%. Vyšší plnění polypropylenu polybutenem nepřineslo zlepšení hodnot maximální síly tuhosti ani maximální pevnosti v tahu, ale hodnoty se mírně zhoršily.

U vrubové houževnatosti dopadl nejlépe testovaný materiál PP+50%PB0110. Nejhorší vlastnosti bylo dosaženo u materiálu PP+25%PBčistý.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MLEZIVA, J., ŠŇUPÁREK, J. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: SOBOTÁLES, 2000. 544 s. ISBN 80-85920-72-7.
- [2] DOLEŽAL, V. *Plastické hmoty*. 3. přepr. vyd. Praha: SNTL, 1977. 385 s. ISBN není.
- [3] ZÁMORSKÝ, Z. *Nauka o polymerech II*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1980. 235 s. ISBN není.
- [4] *BasellPolyolefins: Polybutene-1*[online]. 2008 [cit. 2012-01-15]. Dostupný z WWW:<<http://www.bpf.co.uk/Plastipedia/Polymers/Polybutene1.aspx>>
- [5] WIKIPEDIE. *Polypropylen*[online]. 2012 [cit. 2012-01-15].Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Polypropylen>>
- [6] WIKIPEDIE. *Mechanické vlastnosti materiálů*[online]. 2012 [cit. 2012-01-21].Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mechanické_vlastnosti_materiálů>
- [7] *Konstrukční materiály* [online]. [cit. 2012-01-21]. Dostupný z WWW: <<http://webs.zcu.cz/fel/ket/ETM/Cviceni/2.%20cviceni/Mechanick%E9%20zkou%9Aky%20pevn%FDch%20materi%E11%F9.pdf>>
- [8] SCHÄTZ, M., VONDRÁČEK, P. *Zkoušení polymerů*. 2. přepr a dopl. vyd. Praha: VŠCHT, 1988. 276 s. ISBN není.
- [9] *Zkouška rázem v ohybu*[online]. [cit. 2012-01-22]. Dostupný z WWW:<<http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/umvi/zk.raz.ohybu.pdf>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PP	Polypropylen
PB	Polybuten
σ	Normálové napětí
F	Zatěžující síla
S_0	Plocha průřezu zkušební tělesa
ΔL	Absolutní prodloužení.
L_u	Zvětšení délky zkušební tělesa mezi značkami vyznačujícími počáteční měřenou délku
L_0	Počáteční měřená délka zkušební tělesa
ε	Poměrné prodloužení
E	Yongův modul pružnosti
σ_U	Mez úměrnosti
σ_E	Mez pružnosti
σ_K	Mez kluzu
σ_P	Mez pevnosti
σ_R	Mez přetržení
W	Spotřebovaná energie na přeražení tělesa
W_{p1}	Energie před přeražením zkušební tělesa
W_{p2}	Energie po přeražením zkušební tělesa
G	Tíha kladiva
H	Výchozí výška kladiva vzhledem ke zkušební tyči
h	Konečná výška kladiva vzhledem ke zkušební tyči
r	Poloměr kyvu kladiva
α	Výchozí úhel kladiva
β	Konečný úhel kladiva

A_n	Plocha příčného průřezu zkušební tělesa
b	Šířka zkušební tělesa
h	Tloušťka zkušební tělesa
A_k	Plocha příčného průřezu zkušební tělesa v místě vrubu
h_k	Tloušťka zkušební tělesa v místě v rubu

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Struktura polypropylenu</i>	14
<i>Obr. 2. Stereometrie polypropylenu</i>	16
<i>Obr. 3. Polymerace 1-butenu</i>	17
<i>Obr. 4. Struktura lineární izotaktický (šroubovice)</i>	19
<i>Obr. 5. Druhy mechanického namáhání</i>	21
<i>Obr. 6. Obecná tahová křivka</i>	22
<i>Obr. 7. Zkušební stroj pro statickou zkoušku tahem</i>	23
<i>Obr. 8. Zkušební tělesa pro zkoušku tahem</i>	24
<i>Obr. 9. Princip rázové zkoušky metodou Charpy</i>	25
<i>Obr. 10. Měření nárazové práce na kyvadlovém kladivu Charpy</i>	26
<i>Obr. 11. Schéma Scharpyho kladiva</i>	27
<i>Obr. 12. Zkušební tyč s V-vrubem</i>	28
<i>Obr. 13. Zkušební tyč s U-vrubem</i>	28
<i>Obr. 14. Universální zkušební stroj Zwick 1456</i>	31
<i>Obr. 15. Resil Impactor Junior</i>	32
<i>Obr. 16. Zkušební tělesa pro zkoušku tahem</i>	35
<i>Obr. 17. Maximální pevnost v tahu pro 25% PB</i>	35
<i>Obr. 18. Modul pružnosti v tahu pro 25% PB</i>	36
<i>Obr. 19. Maximální zatěžující síla v tahu pro 25% PB</i>	36
<i>Obr. 20. Maximální pevnost v tahu pro 50% PB</i>	37
<i>Obr. 21. Modul pružnosti v tahu pro 50% PB</i>	37
<i>Obr. 22. Maximální zatěžující síla v tahu pro 50% PB</i>	38
<i>Obr. 23. Vrubovací přístroj Notchvic Ceast</i>	39
<i>Obr. 24. Zkušební tělíska pro zkoušku rázové houževnatosti</i>	39
<i>Obr. 25. Rázová odolnost metodou Charpy</i>	40
<i>Obr. 26. Spotřebovaná práce metodou Charpy</i>	40
<i>Obr. 27. Maximální pevnost v tahu pro 25% PB - bezrozměrný</i>	41
<i>Obr. 28. Modul pružnosti v tahu pro 25% PB - bezrozměrný</i>	42
<i>Obr. 29. Maximální zatěžující síla v tahu pro 25% PB - bezrozměrný</i>	42
<i>Obr. 30. Maximální pevnost v tahu pro 50% PB – bezrozměrný</i>	43
<i>Obr. 31 Modul pružnosti v tahu pro 50% PB - bezrozměrný</i>	44
<i>Obr. 32. Maximální zatěžující síla v tahu pro 50% PB - bezrozměrný</i>	44

<i>Obr. 33. Rázová odolnost metodou Charpy - bezrozměrný.....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 34. Spotřebovaná práce metodou Charpy - bezrozměrný</i>	<i>46</i>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Vlastnosti izotaktického, syndiotaktického a ataktického PP 14