

Vliv podílu recyklátu na vlastnosti dílů z PA

Andrea Jarošová

Bakalářská práce
2009/2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Andrea JAROŠOVÁ**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vliv podílu recyklátu na vlastnosti dílů z PA**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární rešerši na dané téma**
- 2. Připravte zkušební tělesa s různým podílem recyklátu**
- 3. Proveďte mechanické zkoušky**
- 4. Vyhodnoťte výsledky experimentu**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 22. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
vedoucí katedry

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 obhajoby ¹⁾;
- 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. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 § 60 ³⁾ 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). Odpírá-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 studiem vlivem podílu recyklátu na vlastnosti dílů z polyamidu.

V teoretické části práce se seznámíme se základním rozdělením plastů a zvláště polyamidů, jejich vlastnostmi, výrobou, také s různými druhy recyklace a základními zkouškami materiálu.

V experimentální části se budeme zabývat materiálem a stroji pro výrobu zkušebních těles, stroji pro mechanické zkoušky a vlastním měřením. Následně vyhodnotíme vliv množství recyklátu na mechanické vlastnosti zkušebních těles při pokojové teplotě.

Klíčová slova:

Polyamid, recyklace, mechanické vlastnosti

ABSTRACT

This thesis deals with the influence of the proportion of recycled material on the properties of polyamide parts.

In the theoretical part, we introduce the basic division of plastics, especially polyamides, their properties, production, and the same with different types of recycling material and basic mechanical tests of material.

In the experimental section will be discussed the material and equipments for the manufacture of test pieces, testing equipment and measurement methods. Subsequently, the influence of the quantity of recycled material on the mechanical properties of PA at room temperature.

Keywords:

Polyamide, recycling, mechanical properties

Poděkování patří panu doc. Ing. Miroslavu Maňasovi, Csc. za odbornou konzultaci k dané problematice. A taky Ing. Milanovi Žaludkovi, Ph.D. za pomoc při jednotlivých měřeních.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 PLASTY	12
1.2 DĚLENÍ PLASTŮ	12
1.2.1 Dělení z hlediska původu	12
1.2.2 Dělení z hlediska výroby	12
1.2.3 Dělení z hlediska nemolekulární struktury	12
1.2.4 Dělení z hlediska molekulární struktury	13
1.2.5 Dělení z hlediska složení a teplotního chování	14
1.2.6 Dělení z hlediska aplikací	15
1.2.7 Dělení z hlediska polaritý.....	15
1.2.8 Dělení z hlediska chemického složení	16
1.3 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY VÝROBY POLYMERŮ	16
1.3.1 Polymerace	16
1.3.1.1 Blokovaná polymerace	18
1.3.1.2 Roztoková polymerace	18
1.3.1.3 Emulzní polymerace	18
1.3.1.4 Suspenzní polymerace	18
1.3.2 Polykondenzace.....	19
1.3.3 Polyadice	19
2 POLYAMIDY	20
2.1 VLASTNOSTI PA.....	20
2.2 POLYAMIDY Z KARBOXYLOVÝCH KYSELIN A DIAMINŮ.....	21
2.2.1 Polyamid 66	21
2.2.2 Polyamid 610	22
2.2.3 Polyamid 46	22
2.3 POLYKONDENZACE Ω-AMINOKARBOXYLOVÝCH KYSELIN	22
2.3.1 Polyamid 11	22
2.4 POLYMERACE CYKLICKÝCH LAKTAMŮ.....	22
2.4.1 Hydrolytická polymerace 6 – kaprolaktamu a lauryllaktamu	23
2.4.1.1 Polyamid 6	23
2.4.1.2 Polyamid 12	24
3 RECYKLACE	25
3.1 MATERIÁLOVÁ RECYKLACE	26
3.2 CHEMICKÁ RECYKLACE.....	27
3.3 DEPOLYMERACE.....	28
3.4 SOLVOLÝZA	28
3.5 SUROVINOVÁ RECYKLACE.....	29
4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY	30

4.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA	30
4.2	OHYBOVÁ ZKOUŠKA.....	30
4.3	RÁZOVÁ ZKOUŠKA	31
II	PRAKTICKÁ ČÁST	32
5	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	33
6	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	34
6.1	MATERIÁL PRO VÝROBU ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	34
6.2	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	34
6.3	ZKUŠEBNÍ TĚLESA	35
6.3.1	Vstříkovací stroj	36
7	MECHANICKÉ ZKOUŠKY.....	38
7.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA	38
7.1.1	Vlastní vyhodnocení.....	39
7.2	OHYBOVÁ ZKOUŠKA.....	44
7.2.1	Vlastní vyhodnocení.....	45
7.3	ZKOUŠKA RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI	50
7.3.1	Vlastní vyhodnocení.....	51
7.4	STATISTICKÉ VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	55
8	DISKUZE VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH ZKOUŠEK.....	56
8.1	DISKUZE VÝSLEDKŮ TAHOVÉ ZKOUŠKY	56
8.2	DISKUZE VÝSLEDKŮ OHYBOVÉ ZKOUŠKY	59
8.3	DISKUZE VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	61
	ZÁVĚR	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK.....	69
	SEZNAM PŘÍLOH.....	70

ÚVOD

V posledních několika desetiletích co se používají plasty, začalo se objevovat nekontrolovatelné množství odpadu z plastů. Proto je důležitá jejich recyklace. Abychom věděli, jak mám správně recyklovat, tak musíme znát vlastnosti plastů. Jelikož plasty jsou jedny z nejhůře rozložitelných materiálů je potřeba je třídít a umět je správně zpracovat.

Recyklací plastů se obecně rozumí jejich opětovné využití. Zbytkový odpad z plastů odpadá při výrobě (jako jsou vtokové zbytky při vstřikování, ořezy při výrobě fólií, atd.) nebo po ukončení životnosti výrobků z plastů. Při recyklaci se využívá buď samotný materiál, nebo energie v něm obsažená. Tento odpad se převážně zpracovává „recyklací technologického odpadu“, která spočívá v jeho rozdrčení, po kterém může následovat případná regranulace. Jak drť, tak regranulát se obvykle použije zpět do výroby.

V samotném již už doslouženém plastovém výrobku došlo během jeho užívání k mnoha změnám, jako jsou vnější faktory (světlo, teplo,...). Plast zestárl a došlo i ke změnám jeho vlastností nebo mohlo i dojít k jeho znehodnocení různými nečistotami.

Je proto vhodné naučit se používat plastové materiály, které nejsou náročné pro svoji výrobu a nezatěžují tak i životné prostředí. Recyklace je jednou z možností, jak stávající materiál přetvořit na nový znovu využitelný. Proto by měli být dostupné firmy, které veškerý přebytečný plastový odpad, lze využít v jiný druh produktu.

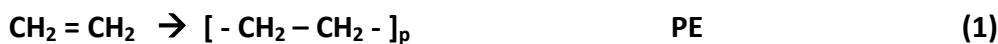
„Nedostatek ropy mě netrápí v souvislosti s pohonnými hmotami, protože budou vyvinuta náhradní paliva. Mě trápí nedostatek ropy v souvislosti s plasty, jejich nedostatek může být jedním z faktorů nového rozdělení společnosti. Jenom bohatí budou mít přístup ke kvalitním výrobkům z plastu. Proto je jejich recyklace tak důležitá.“

Philippe Starck

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

Makromolekulární látky nazýváme obvykle polymery (poly-mnoho, meros-část), protože vznikají z mnoha dílů jednodušší sloučeniny monomeru (monos-jediný). Termín polymer je vlastně neurčitý, není v něm specifikována minimální délka nebo velikost molekuly, kterou můžeme nazývat polymerem. Obecně se však termínu polymer používá pro makromolekuly, které jsou charakterizovány specifickými vlastnostmi, příslušející molekulám a dlouhou řetězovou strukturou. Poněvadž polymer je vystavěn z jedné základní opakující se jednotky, bývá jeho složení obvykle popisováno touto stavební jednotkou, která se nazývá mer (1). Tato jednotka se stále opakuje a tvoří kombinaci s dalšími v základní část struktury polymeru.[1]



1.1 Plasty

Jsou to polymerní materiály, které se v dnešní době používají v mnoha odvětvích lidské činnosti. Je tomu tak, protože lze u nich dosáhnout velmi dobrých mechanických, chemických a tepelných vlastností než u běžně používaných materiálů a tak je v mnoha oblastech úspěšně nahrazují.

1.2 Dělení plastů

Plasty se dělí z mnoha hledisek.

1.2.1 Dělení z hlediska původu

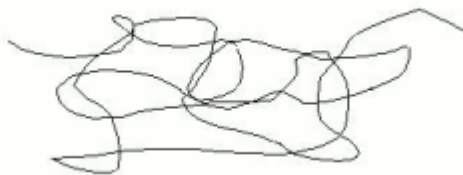
- Přírodní – jsou na bázi celulózy, latexu, kaseinu atd.
- Syntetické – získávají se chemickou výrobou

1.2.2 Dělení z hlediska výroby

- Polymerizáty – polymery vyrobené polymerací, patří sem např. PE, PP, PS
- Polykondenzáty – polymery vyrobené pomocí polykondenzace, patří sem např. PA66
- Polyadukty - polymery vyrobené polyadací, patří sem např. EP

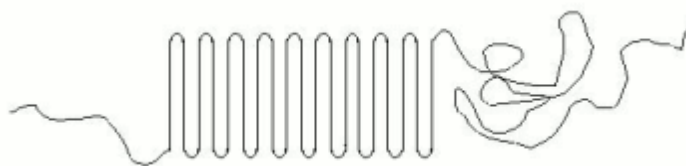
1.2.3 Dělení z hlediska nemolekulární struktury

- Amorfní – za tohoto stavu jsou makromolekuly nahodile uspořádány (viz. Obr. 1)
Hlavními vlastnostmi je pevnost, tvrdost, křehkost a jsou průhledné díky nízkému indexu lomu.



Obr. 1 Amorfní struktura

- Krystalické – jinak se jim říká semikrystalické a to proto, že nikdy nedosáhnou 100% krystality. Makromolekuly jsou jen částečně pravidelně uspořádány ze 40 – 90% (viz. Obr. 2). Tento stav se značí pomocí stupně krystality. Stupeň krystality je podíl uspořádaných makromolekul, které se nachází mezi amorfní strukturou. Vyznačují se houževnatostí a pevností. Jejich modul pružnosti roste se stupněm krystality. Jsou mléčně zakaleny.



Obr. 2 Krystalická struktura

1.2.4 Dělení z hlediska molekulární struktury

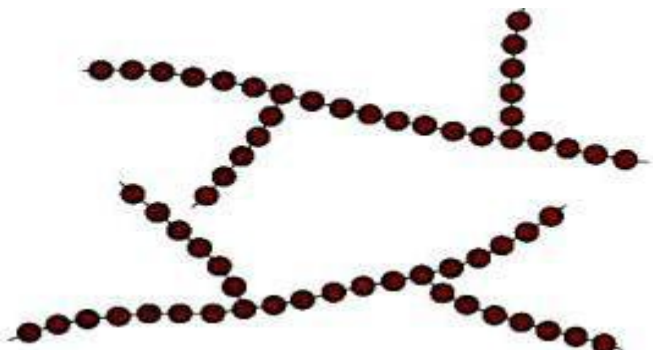
- Lineární – molekuly v řetězci jsou uspořádány lineárně, tzn. vedle sebe (viz obr. 3). Lépe vytvářejí pravidelné prostorové shluky krystalické struktury, proto mají větší krystalický podíl. Dobře se zpracovávají, jsou rozpustné, tavitelné a houževnaté.



Obr. 3 Lineární polymer

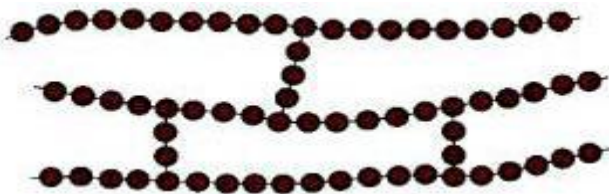
- Rozvětvené – ze základního řetězce vycházejí boční větve (viz. Obr. 4). Mají nižší hustotu než lineární polymer, protože se nedokáže k sobě dostatečně přiblížit v důsledku právě bočního větvení. A díky tomu také špatně krystalizují. Vyznačují se špatnými

mechanickými vlastnostmi následkem poklesu mezimolekulárních sil. V roztaveném stavu špatně tečou.



Obr. 4 Rozvětvený polymer

- Zesíťované – u těchto polymerů si makromolekuly můžeme představit, jako prostorovou síť makromolekulární řetězce jsou spojeny mezi sebou vazbami (viz. Obr. 5). Takto zesíťovaný polymer nelze tavit. Jsou vysoce tvrdé, tuhé a odolné proti působení vysokých teplot. Špatně odolávají rázovému zatížení.



Obr. 5 Zesíťovaný polymer

1.2.5 Dělení z hlediska složení a teplotního chování

- Termoplasty – jsou to polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu. Jdou snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T (u semikrystalických polymerů) nebo teplotu viskózního toku T (amorfní polymery). Tento proces zahřívání a ochlazování se může neomezeně dokola opakovat, protože při zahřátí nedochází ke změnám v chemické struktuře. Patří sem PA, PVC, PS, PP, PE.

- Reaktoplasty – také to jsou polymerní materiály, které při zahřívání měknou a jdou tvářet, ale na rozdíl od termoplastů jen po určitou dobu. Při jejich dalším zahřívání nastane chemická reakce. Dojde k prostorovému zesíťování tzv. vytvrzení. Tento děj nelze vrátit a reaktoplasty nemůžeme tavit ani rozpouštět. Tzn., že není možné opětovné opakování zahřívacího procesu. Nelze je recyklovat. Kdybychom je vystavili dalším tepelným účinkům, nastala by jejich degradace. Patří sem EP a polyesterové hmoty.
- Elastomery – polymerní materiály, které rovněž po začátečním zahřívání začínají měknout a jdou tvářet, ale také jen po omezenou dobu. Při dalším zahřívání dojde k chemické reakci. Dojde k prostorovému zesíťování. U elastomerů se jedná o vulkanizaci. Výjimkou jsou elastomery, jejichž složení je na bázi termoplastů. Probíhá zde jen fyzikální děj.

1.2.6 Dělení z hlediska aplikací

- Standardní použití – jsou součástí běžného života, např. fólie, PVC podlahy atd. Mezi ně patří polyolefiny jako polyetylén, polypropylén (PE, PP), polystyrénové hmoty (PS), polyvinylchlorid (PVC), fenofomaldehydové a močovinoformaldehydové hmoty (PF) aj.
- Konstrukční plasty – využívají se u namáhavějších součástí např. ozubená kola z polyamidu (PA), ve stavebnictví jako tyče a profily z polyoximetylénu (POM), polymethylmetakrylát (PMMA) aj.
- High-tech plasty – jsou to plasty, které odolávají vysokým teplotám, chemickým vlivům a velkému namáhání. Používají se převážně v letectví, kosmickém, v chemickém a také v automobilovém průmyslu. Patří sem např. polybenzenimid (PBI), polyetherimid (PEI), polysulfon (PSU), polyfenylsulfid (PPS), tetrafluoretylén (PTFE), polyimidy (PI).

1.2.7 Dělení z hlediska polarity

- Polární – mají trvalý dipól a mezi polární plasty patří PA, některé pryskyřice, apod.
- Nepochární – nemají trvalý dipól a patří sem PE, PP, PS, apod.

1.2.8 Dělení z hlediska chemického složení

- polyolefiny
- polystyrény
- chloroplasty
- fluoroplasty
- polyestery
- akryláty
- vinylové polymery
- polyamidy
- polyuretany
- silikony
- deriváty celulózy [2]

1.3 Základní způsoby výroby polymerů

Mezi chemické reakce, při nichž vznikají polymery, patří:

- Polymerace
- Polyadice
- Polykondenzace

1.3.1 Polymerace

Chemická řetězová reakce velkého počtu molekul monomeru, při níž dochází ke spojování těchto molekul monomerů v dlouhé makromolekulární řetězce. V této chemické reakci nedochází ke vzniku vedlejších produktů a polymer má stejné složení jako výchozí monomer.

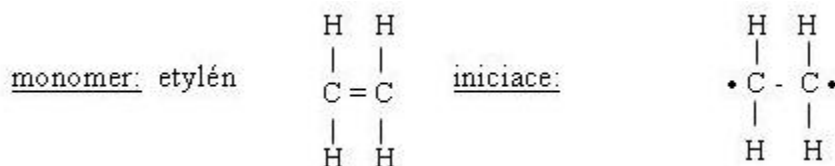
Polymerace má 3 stádia:

- Iniclace
- Propagace

- Terminace

Iniciace

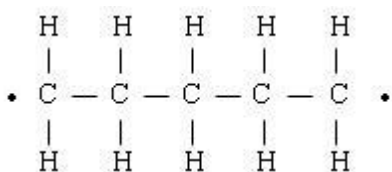
Dochází k rozštěpení dvojně nebo trojně vazby, aby mohla polymerace začít. Vznikají tak dva volné elektrony, které se nazývají volný radikál.



Obr. 6 Iniciace

Propagace

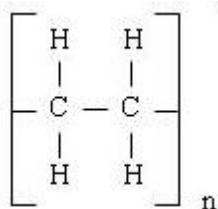
V tomto stádiu už vzniklý radikál dále reaguje s dalším monomerem a tím na konci řetězce znovu vzniká volný elektron a to se opakuje stále dokola. Dochází tak k postupnému růstu řetězce. Vše probíhá za uvolňování tepla.



Obr. 7 Propagace

Terminace

Poslední fáze polymerace. Dochází k ukončení růstu řetězce a obnovení dvojně vazby.



Obr. 8 Terminace

1.3.1.1 Bloková polymerace

Bloková polymerace je proces, při němž se polymeruje neředěný monomer v celém objemu. Jako iniciátor se používá teplo nebo malé množství iniciátoru 0,05%-0,6%. Často se provádí v nádobě, která má tvar výrobku. U této polymerace vzniká vysoce čistý produkt. Nevýhodou je přehřívání reakční směsi a zmenšování objemu, tedy smršťování výrobku.

1.3.1.2 Roztoková polymerace

U roztokové polymerace násada obsahuje monomer, iniciátor a rozpouštědlo. Snadněji se směs míchá a lépe se odvádí teplo. Ve směsi často ředidlo působí jako přenosné činidlo a to snižuje molární hmotnost produktu a jeho výslednou čistotu. Výsledkem je polymerní roztok.

1.3.1.3 Emulzní polymerace

Reakční směs obsahuje monomer, který je rozptýlen ve vodném prostředí, iniciátor, emulgátor (např. mýdlo). Emulgátor neplní v emulzi pouze funkci stabilizační, ale také zprostředkovává interakci mezi monomerem a iniciátorem. Reakce probíhá tak, že každá molekula monomeru obalená v emulgátoru se při polymeraci změní v jedinou makromolekulu. Tím roste nepřerušeně na vysokou molekulovou hmotnost. Emulzní polymerace probíhá nejrychleji, snadno se kontroluje a řídí její proces. Nevýhodou je znečištění produktu velkým množstvím přísad.

1.3.1.4 Suspenzní polymerace

Je to reakce, která je podobná blokové polymeraci. Reagující jsou částičky monomeru rozptýleného mícháním ve vodném roztoku. Velikost částic závisí na rychlosti míchání tak, aby došlo k překonání povrchového napětí a tím nedocházelo ke spojování monomerních částíček. Násada dále obsahuje monomer a v něm rozpuštěný iniciátor a stabilizátory suspenze. Se stoupající přeměnou monomeru ne polymer tzv. konverzí se přidávají látky, které zvyšují viskozitu nebo ulpívají na povrchu částic, aby zabránily shlukování částíček. Lépe se zde odvádí teplo než u blokové polymerace. Polymer se snadněji dávkuje, protože je ve formě kuliček.

1.3.2 Polykondenzace

Je to chemická reakce, probíhající mezi dvěma nízkomolekulárními látkami, při níž vzniká polymer neboli polykondenzát, který má jiné chemické složení než výchozí látky a nízkomolekulární látka např. voda.

1.3.3 Polyadice

Tato reakce probíhá mezi sloučeninami obsahující v molekule funkční skupiny a sloučeninami obsahující dvojně vazby. Chemické složení polyaduktu, který touto reakcí vznikne, je stejné jako složení reagujících látek. Avšak struktura základního článku je jiná než u výchozích látek. [3]

2 POLYAMIDY

Polyamidy jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny -CONH-. Nejvýznamnější a nejrozšířenější jsou polyamidy s alifatickými řetězci, na trhu jsou však i typy aromatické. Polyamidy se vyrábějí čtyřmi postupy:

- Polykondenzací dikarboxylových kyselin a diaminů
- Polykondenzací ω -aminokarboxylových kyselin
- Polymerací cyklických laktamů
- Polykondenzací dichloridů aromatických dikarboxylových kyselin s aromatickými diaminy.

K jednoduchému označování alifatických polyamidů byl zaveden systém, který udává počet uhlíkových atomů ve stavebních jednotkách štětců:

- POLYAMID 6 – je polyamid z kyseliny 6aminokapronové nebo 6 – kaprolaktamu (- $[\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{CO}]_n$ -)
- POLYAMID 66 – je polyamid z hexamethyldiaminu a kyseliny adipové (- $[\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NHCO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}]_n$ -)
- POLYAMID 610 – je polyamid z hexamethyldiaminu a kyseliny sebakové (- $[\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NHCO}(\text{CH}_2)_8\text{CO}]$ -)

2.1 Vlastnosti PA

Vlastnosti PA se mění v závislosti na výchozích monomerech. Typické PA jsou v tuhém stavu z 30 až 50% krystalické a neprůhledné. Řetězové molekuly jsou propojovány vodíkovými můstky mezi amidovými skupinami. Jejich množství ovlivňuje krystalickou strukturu, bod tání, T_g a většinu dalších vlastností. Vysoká houževnatost, tvrdost, odolnost proti oděru a dobré elektroizolační charakteristiky jsou vlastnosti, na nichž spočívá použití polyamidů jako plastů i vláken. Mechanické vlastnosti jsou závislé na typu, molekulové hmotnosti a obsahu vody. Nasákavost je dána koncentrací amidových skupin. Čím vyšší je poměr skupin - CONH- a - CH₂ -, tím větší je nasákavost a změkčující účinek vody. Vedle nasákavosti se jednotlivé typy liší výrazně bodem tání, T_g a rozpustností v různě koncentrované kyselině mravenčí za normální teploty. Vzhledem k relativně polárnímu charakteru a vysoké nasákavosti nedochází u polyamidů ke vzniku elektrostatického

náboje a k přitahování prachových částic. Polarita také usnadňuje snášenlivost s řadou plynů, jako jsou křída, talek, azbest, skleněná vlákna. PA mají úzký rozsah teplot tání a tuhnutí. Všechny polyamidy odolávají účinku pohonných látek, olejů a velké řady technických rozpouštědel i roztoků alkálií. Kyseliny, zvláště koncentrované, je rozpouštějí, až štěpí. PA mají relativně nízkou tavnou viskozitu ve srovnání s ostatními termoplasty.

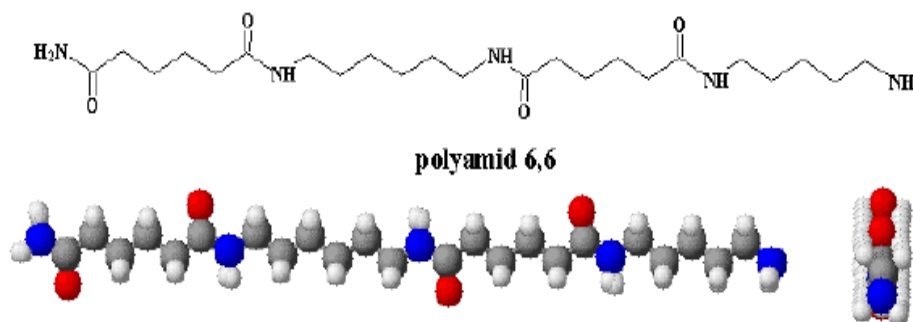
Alifatické PA lze zpracovat všemi postupy obvyklými pro termoplasty a zvláknovat z taveniny. U plastů je nejvýznamnější vstřikování a vytlačování na fólie a monofily. Lze je svařovat, lepit, potiskovat i pokovovat. M_n bývá 15 000 až 50 000, typy připravené polykondenzací v tavenině mívají poměr M_w/M_n kolem 2.

2.2 Polyamidy z karboxylových kyselin a diaminů

Prvním stupněm je vznik soli z ekvimolárního množství diaminu a dikarboxylové kyseliny. Dalším zahříváním soli v inertní atmosféře nastává polykondenzace. V praxi se osvědčily PA z hexamethyldiaminu kyseliny adipové jako PA 66 nebo sebakové PA 610. Hlavním důvodem je nejsnazší dostupnost monomerů.

2.2.1 Polyamid 66

Při přípravě PA 66 se vychází z nejčistších surovin ve stechiometrickém poměru, který se kontroluje měřením pH. Výroba je buď diskontinuální v autoklávech, nebo kontinuální. PA 66 má výhodu ve vysokém bodu tání a poněkud vyšší pevnosti a o něco nižší navlhavosti než PA6. Další výhodou oproti PA6 je to, že neobsahuje volný polymer, takže odpadá jeho odstraňování. PA 66 slouží v širokém měřítku jako plast i jako materiál pro výrobu vláken a fólií.



Obr. 9 Polyamid 66 [11]

2.2.2 Polyamid 610

Obdobnou technologií jako u PA 66 se v menším měřítku připravuje PA 610 z obdobné soli (bod tání 170 °C). PA 610 je hydrofobnější než PA 66 a zachovává si za mokra větší tuhost a proto se dobře hodí na výrobu štětín a žíní pro kartáčnictví.

2.2.3 Polyamid 46

Polyamid 46 je polyamid s vysokou tepelnou odolností. Při pracovních teplotách 85–180 °C si zachovává vynikající mechanické vlastnosti, a proto je často využíván jako náhrada kovu v automobilovém průmyslu.[6]

2.3 Polykondenzace ω -aminokarboxylových kyselin

Volné kyseliny ω -aminokarboxylové nemají jako suroviny pro polyamidy větší technický význam, neboť se relativně obtížně připravují a čistí. Výjimku tvoří kyselina 11-aminoundekanoová, která slouží pro výrobu polyamidu 11. Výchoz surovinou pro její přípravu je ricinový olej. Polyamid z kyseliny 11-aminoundekanoové se připravuje polykondenzací při teplotě 200 °C v inertní atmosféře za míchání.

2.3.1 Polyamid 11

PA 11 taje při teplotě 185 °C, je méně navlhavý než PA 6 a 66 a více odolný vůči chemickým činidlům a má dobrou stabilitu taveniny. Je vhodný proto jako plast, kdežto pro textilní vlákna nemá význam pro nízkou teplotu tání a menší krystaliniku. Zpracovává se vstřikováním a vytlačováním na ozubená kola, kladky, západky, vrtulky apod. Je použitelný od –50 do 90 °C.

Významné je jeho použití pro přípravu antikoročních povlaků na kovy. Povlaky PA 11 nacházejí použití při ochraně kovů proti korozi alkalickými nebo solnými roztoky, mořskou vodou, pro ochranu proti oděru a elektroizolační vrstvy. Jsou vhodné i pro potravinářský a farmaceutický průmysl.

2.4 Polymerace cyklických laktamů

Z cyklických laktamů má pro svou dostupnost největší význam 6 – kaprolaktam, dnes je technicky dostupný i lauryllaktam. Polymerace laktamů se uskutečňuje buď alkalicky, nebo hydrolyticky.

2.4.1 Hydrolytická polymerace 6 – kaprolaktamu a lauryllaktamu

Jedná se o stupňovitou polymeraci (zvláštním druhem polyadice). Lineární polyamid vzniká přes stupeň kyseliny 6 – aminokapronové. Vedle vody se jako aktivátoru používá kyseliny 6 – aminokapronové nebo AH – soli.

2.4.1.1 Polyamid 6

PA 6 je tvrdá, světle žlutá hmota rohovitého vzhledu tající při 215-220 °C na nízko-viskozni kapalinu, která má M_n 12000 – 15000. Nerozpouští se v běžných rozpouštědlech, ale rozpouští se ve fenolech kyseliny mravenčí a bezvodé kyseliny octové. Polykaprolaktam má dobré mechanické vlastnosti, nízký koeficient tření, mimořádnou odolnost proti otěru, dobrou rázovou houževnatost, dobré elektroizolační vlastnosti, ovšem má taky značnou navlhavost. Používá se pro výrobu textilních vláken a významné je i použití jako konstrukčního materiálu pro výrobu ložisek, ozubených kol, vaček, cívek, ovládacích elementů apod.

PA 6 se zvláknuje protlačováním taveniny tryskami. Vytvořené vlákno se pak dluží a práním se zbavuje monomeru. Z polykaprolaktamu se vyrábějí hedvábná vlákna, kordy do pneumatik, stříž, vlasce, žíně aj. Vlákna mají značnou odolnost proti otěru, pevnost v tahu. Jsou mnohem lepší než ostatní přírodní a syntetická vlákna.

Tab. 1 Vlastnosti PA 6 v suchém stavu [8]

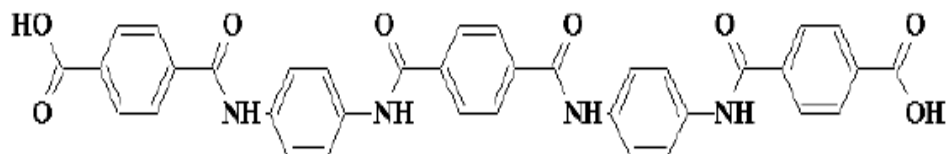
Hustota	1,13	g.cm^{-3}
Bod tání	215 - 235	°C
Pevnost v tahu (přetržení)	min. 65	MPa
Mez kluzu v tahu	68 - 73	MPa
Tažnost	30 - 50	%
E-modul pružnosti v tahu	min. 2450	MPa
E-modul pružnosti v ohybu	min. 2100	MPa
Rázová houževnatost Charpy 23°C a -20°C	nezlomí se	
Vrubová houževnatost Charpy 23°C	min. 7	kJ.m^{-2}
Tvrdost (Shore D)	min. 80	MPa
Vnitřní odpor (vzorky „as made“)	$>10^{10}$	ohm
Povrchový odpor (vzorky „as made“)	$>10^{10}$	ohm
Elektrická pevnost	> 22	kV/mm
Tepelná vodivost	0,33	$\text{W.m}^{-10}\text{C}$



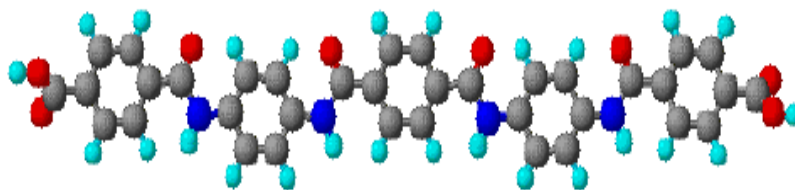
Obr. 10 Ozubené kolo [9]

2.4.1.2 Polyamid 12

PA 12 ($-[\text{NH}(\text{CH}_2)_{11}\text{CO}]_n-$) se připravuje polymerací lauryllaktamu při vyšších teplotách než jsou při polymeraci 6 – kaprolaktamu a to nad 260°C . Při této polyreakci je rovnováha silně posunuta směrem k polymeru, takže výtěžek polymeru je téměř 100%. Podobně jako PA11 se PA12 vyznačují nižší nasákavostí. Zpracovává se vstřikováním a vytlačováním, používá se na technické součásti s vyšší houževnatostí, dobrými kluznými vlastnostmi, odolností proti opotřebení a dobrou odolností proti korozi za napětí. [5]



poly(1,4-fenynylentereftamid) – Kevlar



Obr. 11 Aromatický polyamid [11]

3 RECYKLACE

Všechny výrobky se po splnění své společenské funkce stávají odpadem a tvoří tak obtížného průvodce v životě lidské společnosti. V době využívání jen přírodních materiálů se příroda sama postarala o „úklid“ odpadů, které v přirozeném koloběhu a v reálném čase prodělávaly transformaci z odpadu na surovinu a opět ze suroviny na odpad.

U syntetických materiálů cílevědomě vytvořených člověkem byla degradační schopnost potlačena. Takto získaný materiál se stává hrozbou pro životní prostředí. Nejsou-li odpady využívány jako druhotné surovinové zdroje, musí být odstraněny a likvidovány.

Praxe při řešení problémů odpadů se uchyluje k metodám, které rychle zprovoďí ze světa viditelný a objemný odpad v našem okolí. Touto metodou je obecně přijímané spalování.

Tyto metody likvidace odpadů z plastů jsou však perspektivně neúnosné. Existenční nutností pro lidstvo se stávají postupy, které dovolují opakované využití komponentů a prvků obsažených v plastech.

Recyklace čili opětovné využití je postup, kterým se dospěje k využití energie a materiálové podstaty výrobku po ukončení jeho životnosti.

Z toho vyplývá, že největší ekonomický efekt přináší recyklace výrobků obsahujících materiály s velkým rozdílem mezi energetickými náklady na jejich výrobu a energetickou náročností jejich opětovného přepracování. Vzhledem k tomu, že základem ekonomického efektu recyklace je využití energetického potenciálu recyklovaného materiálu, má recyklace odpadních materiálů také nemalý ekologický význam.

Základní podmínky ekonomicky efektivní recyklace jsou splněny i v případě odpadních plastů. Dostatečně velký rozdíl mezi energetickou spotřebou výroby panenského polymeru a přepracováním použitého materiálu, stejně jako ropná (tj. z hlediska přírodních zdrojů neobnovitelná, a tedy perspektivně stále dražší) materiálová báze plastů jsou nutnými předpoklady pro efektivní zhodnocení plastových odpadů. Tyto příznivé okolnosti jsou však komplikovány skutečností, že většina objemu odpadní suroviny pochází z druhově netříděného komunálního sběru a sestává z poměrně vysokého počtu vzájemně nemísitelných druhů polymerů.

Přibližně 60% všech vyrobených plastů přejde ve formě výrobků po ukončení své životnosti do komunálního odpadu. Podíl plastů v komunálním odpadu i celkový objem plas-

tového odpadu se stále zvyšuje a v posledních letech představuje pro životní prostředí značnou zátěž. Největším zdrojem plastového odpadu jsou použité plastové obaly a multi-materiálové výrobky krátké životnosti z domácností a drobných živností. [6]

3.1 Materiálová recyklace

Pro co nejúčinnější využití surovinového a energetického vkladu do panenského polymerního materiálu je předurčena materiálová (nebo též fyzikální) recyklace. Tento způsob recyklace je zvláště vhodný pro termoplasty. Zahrnuje procesy od nejjednoduššího mletí upotřebených výrobků a následného tepelně mechanického zpracování meliva pro výrobu nových výrobků až po kompaktibilizační postupy v tavenině sloužící k přípravě vícesložkových materiálů ze směsí odpadních plastů. Obecně je materiálová recyklace založena na dodávce tepelné a mechanické energie a aditiv (stabilizátorů, barviv, případně i plniv) pro přetvoření odpadní suroviny na nový materiál s mechanickými i estetickými vlastnostmi blízkými panenskému polymeru.

Kvalita recyklátu je silně závislá na charakteru vstupní suroviny.

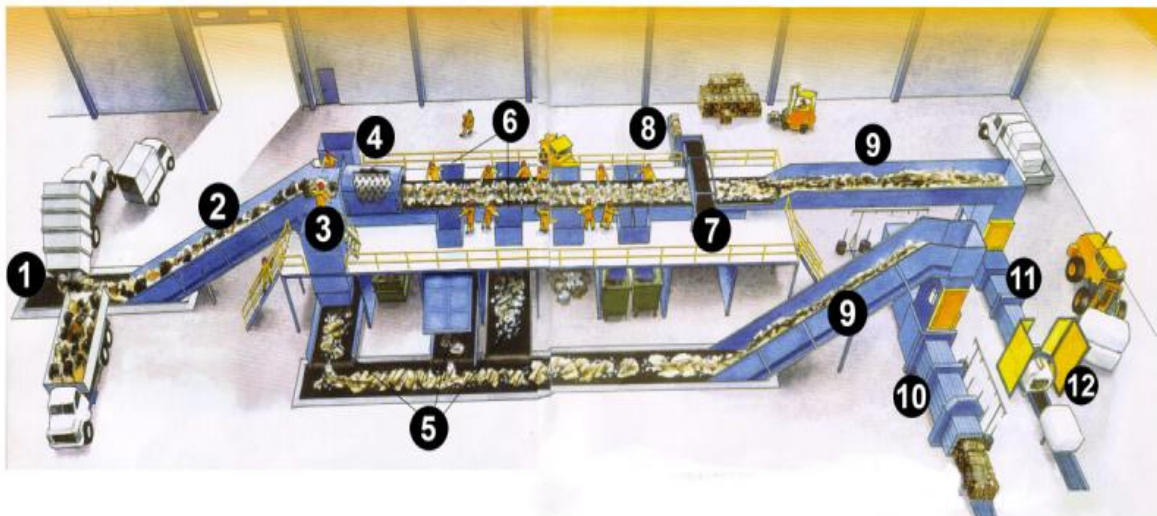
Recyklace typově nebo druhově tříděného plastového odpadu je poměrně široce využívána již v závodech pro výrobu a zpracování plastů při zhodnocení tzv. technologického odpadu. Tento typ odpadní suroviny je obvykle složen z materiálu odpadajícího jako nezbytný důsledek vlastního výrobního nebo zpracovatelského procesu, např. z vtokového systému nebo ořezů hran vytlačovaných fólií a desek a dále pak z výrobků vyřazených při výstupní kontrole. Odpadní surovina je v nejjednodušším případě pouze rozemleta, obvykle je však znovu granulována. Získaný recyklát je pak přidáván k panenskému polymeru a opětovně zpracován na konečný výrobek.

Odpadní plasty pocházející z komunálního sběru jsou obvykle netříděné. Pro zpracování směsného plastového odpadu se často využívá pro tento účel vyvinuté technologie „down-cycling“. Jedná se o míchání směsi plastů v tavenině ve speciálním extruderu s vysokou hnětací účinností a bezprostředním vytlačováním taveniny do formy. Výhodou tohoto způsobu zpracování odpadních směsí je, že lze poměrně snadno získat i výrobky o poměrně velkém objemu. Nevýhodou jsou však nepříliš dobré mechanické vlastnosti finálního recyklátu.

Tento způsob recyklace je vhodný pro výrobu masivních výrobků, jako jsou různé typy stavebních dílců (např. sloupky pro zpevňování svahů a břehů, zatravnovací panely

pro zpevnění parkovacích a jezdových ploch, kabelové kanály), přepravních palet a dalších výrobků s podobnými (tj. nízkými) estetickými a pevnostními nároky. Ekonomická bilance tohoto způsobu recyklace plastů se často pohybuje na samé hranici rentability.

Klíčovým problémem recyklace plastových směsí je účinná kompatibilizace jejich složek. Kompatibilizací se rozumí postup vedoucí ke zvýšení snášlivosti mezi nemísitelnými termoplasty ve směsi snížením mezifázového napětí, tedy postup, který vede ke zlepšení mechanické pevnosti výsledného směsného materiálu.



- | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1) přijímací dopravník | 4) bubnové sito | 7) magnetický separátor | 10) balička netříděného odpadu |
| 2) plnicí dopravník | 5) zásobníkový dopravník | 8) kovový lis | 11) balička tříděného odpadu |
| 3) předtřídovací stanoviště | 6) třídící stanoviště | 9) plnicí dopravník | 12) balička fólie |

Obr. 12 Separace plastů [10]

3.2 Chemická recyklace

Materiálová recyklace není racionálně využitelná pro všechny druhy vstupní suroviny. Některé polymery jsou ze své podstaty náchylné k degradaci při opakovaném zpracování, což komplikuje jednak samotné technologické provedení recyklace, jednak významně zhoršuje kvalitu recyklátu. Dalším faktorem komplikujícím využití materiálové recyklace je požadavek na poměrně vysokou čistotu vstupní suroviny. V takových případech může být racionálním východiskem chemická recyklace. Chemická recyklace je založena na chemickém rozkladu polymeru na produkty o podstatně nižší molární hmotnosti (oligomery) nebo až na monomerní jednotky a dalším chemickým zpracováním takto získané suroviny. Nejvýznamnější výhodou tohoto způsobu recyklace jsou poměrně malé nároky na čís-

totu vstupní suroviny. Nevýhodou jsou naopak poměrně velké investiční náklady na technologické zařízení.

3.3 Depolymerace

Nejjednodušším případem chemické recyklace je tepelná depolymerace. Některé polymery při vysokých teplotách podléhají degradaci tzv. zipovým mechanismem, kdy se z konců polymerních řetězců postupně odštěpují monomerní jednotky. Takový mechanismus tepelné degradace vykazuje např. polystyren (PS) nebo polymethylmethakrylát (PMMA). Získané monomery je možné po vyčištění bez zvláštních problémů opět polymerovat na panenský polymer původní kvality.

3.4 Solvolýza

Většího praktického významu doznaly procesy založené na rozkladu polykondenzátů účinkem vybraných nízkomolekulárních látek, souhrnně označované jako solvolýza. Tímto způsobem je možné recyklovat materiály na bázi polyamidů (PA), polyurethanů (PU) a zvláště pak lineárních polyesterů, např. polyethylentereftalátu (PET) a polybutylentereftalátu (PBT). Podstatou solvolytického rozkladu je obrácení vratné polykondenzační reakce směrem k odbourávání monomerních jednotek z řetězců polymeru. Stále většího praktického významu pak nabývá tento postup pro recyklaci PET, hlavně v souvislosti se stále se zvyšujícím objemem odpadního PET z nápojových láhví.

Ekonomická bilance chemické recyklace je negativně ovlivněna hlavně vysokými investičními náklady. Investovat do výstavby specializované recyklační jednotky je ekonomicky schůdné pouze v případě bezpečného zajištění dostatečného objemu vstupní suroviny a příslušného odbytu produktů.

Za předpokladu, že odpad je dodáván do recyklačního závodu za nulovou cenu (např. na náklady producentů odpadu) jsou výrobní náklady na tunu PET z odpadní suroviny zhruba stejné jako v případě jeho výroby z původních petrochemických surovin.

3.5 Surovinová recyklace

Ze silně znečištěných směsí různorodých plastových složek není už prakticky možné získat recyklací hodnotnější materiál než vlastní surovinovou bázi. Principem surovinové recyklace jsou termicky destrukční procesy rozkládající polymerní složky vstupní suroviny na směs plyných a kapalných uhlovodíků. Výstupními produkty surovinové recyklace jsou tedy energeticky využitelný plyn a směs kapalných uhlovodíků využitelných jako topné oleje nebo jako petrochemická surovina.

Surovinové zhodnocení odpadních plastů může být provedeno chemickým postupem hydrogenace (vysokotlaký katalytický proces) nebo pyrolýzy (nízkotlaký proces, vyšší teplota). Produktem hydrogenačních procesů jsou převážně kapalně uhlovodíky, pyrolýzní procesy vedou k plyným produktům a koksu.

Posledním způsobem recyklace je energetické využití jinak nevyužitelného plastového odpadu. Podstatou metody je spalování (obvykle společně s uhlím) ve speciálně navržených (konstruovaných) topeništích. Užitečným výstupem je tepelná energie. Vhodně navržené topeniště a technologické podmínky spalování vylučují možnost vzniku toxických plyných produktů spalování plastů, např. dioxinů. Ekologicky závadné produkty spalování, vznikající zejména z PVC, polyamidů, polyuretanů a pryží, jsou ze směsi spalin vhodně neutralizovány převedením na pevnou formu. [4]

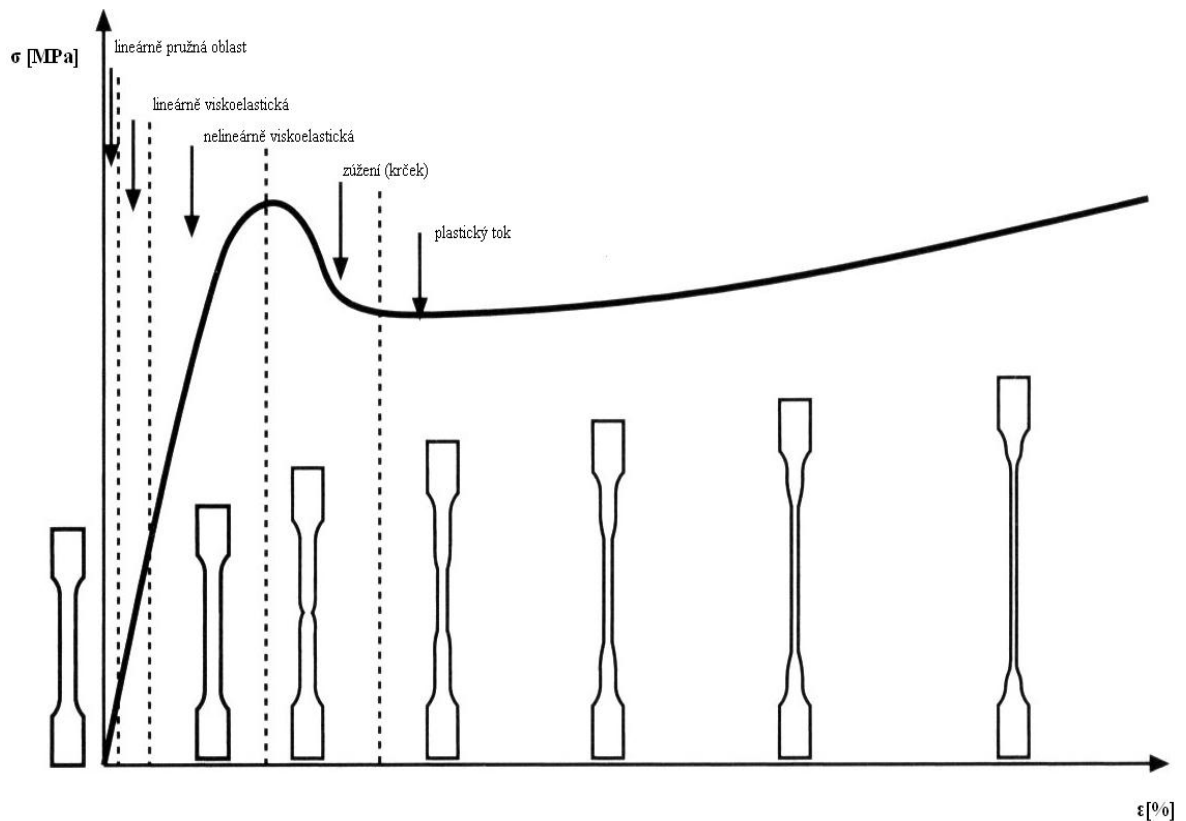


Obr. 13 Granulát PA 6

4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

4.1 Tahová zkouška

Tato zkouška byla jednou z prvních zkoušek, podle které se hodnotila pevnost materiálu. Provádí se podle norem ČSN EN ISO 527-1, 527-2. Na zkušební těleso se působí silou, stále se zvětšující, až dojde k úplné deformaci materiálu, tedy k jeho přetržení. Tato zkouška se provádí na trhacím stroji, kde jsou tělesa namáhány jednoosým tahem. Pevnost v tahu je vyjadřována silou, která se vztahuje na jednotkový průřez zkušebního tělesa neboli napětím potřebným k přetržení materiálu. Snímáním napětí a deformací u tahové zkoušky jsou získávány údaje, které se graficky zaznamenávají, a tím dostaneme pracovní diagramy, kde tahová křivka poskytuje širší a přesnější informace o deformačním chování materiálu za různých podmínek, při kterých je materiál zkoušen.[7]



Obr. 14 Deformační křivka semikrystalického termoplastu [2]

4.2 Ohybová zkouška

Mechanické vlastnosti polymerů zjišťované zkouškou ohybem závisí na struktuře plastu, tvaru zkušebního tělesa, rychlosti zatěžování, podmínkách kondicionace a zkoušení (*vlhkosti a teplotě*). Zkušební těleso, podepřené jako nosník dvěma podpěrami (*tříbodový ohyb*), je kon-

stantní rychlostí prohýbáno trnem působícím uprostřed rozpětí podpěr tak dlouho, dokud se těleso nezlomí nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty. V průběhu procesu je měřena síla působící na těleso. [2]

4.3 Rázová zkouška

Zkušební těleso umístěné vodorovně v podpěrách (*metoda Charpy*), resp. jako svislý vetknutý nosník (*metoda Izod*) je přeraženo úderem rázového kladiva, přičemž směr nárazu je veden středem vzdáleností mezi podpěrami, resp. přímkou prochází v dané vzdálenosti od místa upevnění zkušebního tělesa. V případě opatření zkušebních těles vrubem, dopadá kladivo na stranu protilehlou k vrubu, resp. na stranu s vrubem v dané vzdálenosti od osy vrubu. [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je zjistit vliv množství recyklátu (v dávkách 5%, 10%, 15% recyklátů) na mechanické vlastnosti polyamidu.

Polyamid musí být nejdříve namíchán v daných poměrech s recyklátem a následně zpracován vystříknutím normalizovaných zkušebních těles pro tahovou, ohybovou a rázovou zkoušku. Tato zkušební tělesa se budou zkoušet na trhacím stroji ZWICK a na Sharpyho kladivu.

Na závěr se provede zhodnocení a porovnání výsledků s různými procentuálními zastoupení recyklátu.

6 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

6.1 Materiál pro výrobu zkušebních těles

Pro výrobu zkušebních těles byl použit materiál Polyamid 6 s přídavkem 30% skelných vláken.

6.2 Příprava zkušebních těles

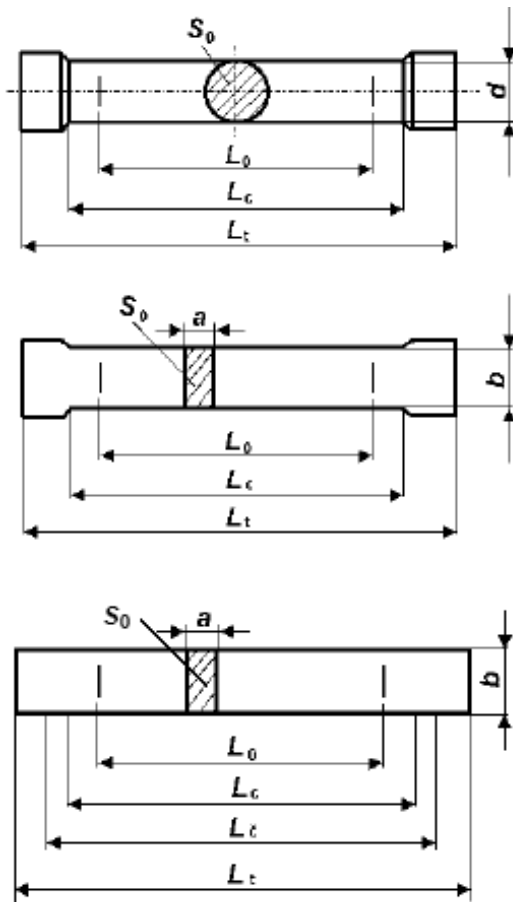
Zkušební tělesa se připravují dvojitým způsobem:

1. Přímo ze zkušebního materiálu jejich vulkanizací, lisováním, vstřikováním nebo vytvrzováním ve formách, které jsou stejného tvaru jako zkušební tělesa. Také se dají vysekávat ze vzorku.

2. Přípravují se z hotových výrobků nebo také polotovarů, z kterých se vyřezávají, vysekovájí nebo se dají připravit obráběním.

Zkušební tělesa by se předem neměla vystavovat fyzikálně chemickým, mechanickým a tepelným namáháním, aby nedošlo k ovlivnění a znehodnocení výsledků zkoušek. Výjimkou jsou pak tělesa, která se těmto podmínkám vystavují záměrně pro zkoušky stárnutí, tepelné odolnosti, koroze aj. Před tím, než se přistoupí k samotnému zkoušení těles, by se měly tyto zkušební tělesa nechat odležet, aby dosáhly rovnovážného stavu. Spočívá to v tom, že se zkušební tělesa nechávají po nějakou dobu odležet v klimatických prostorách za podmínek smluvní teploty a při relativní vlhkosti. Takovéto přípravě vzorku se říká kondicování. [7]

6.3 Zkušební tělesa



Výklad použitých symbolů a označení:

L_0 [mm] počáteční měřená délka

L_c [mm] zkoušená délka

L_g [mm] vzdálenost mezi upínacími
čelistmi zkušebního stroje

L_t [mm] celková délka zkušební tyče

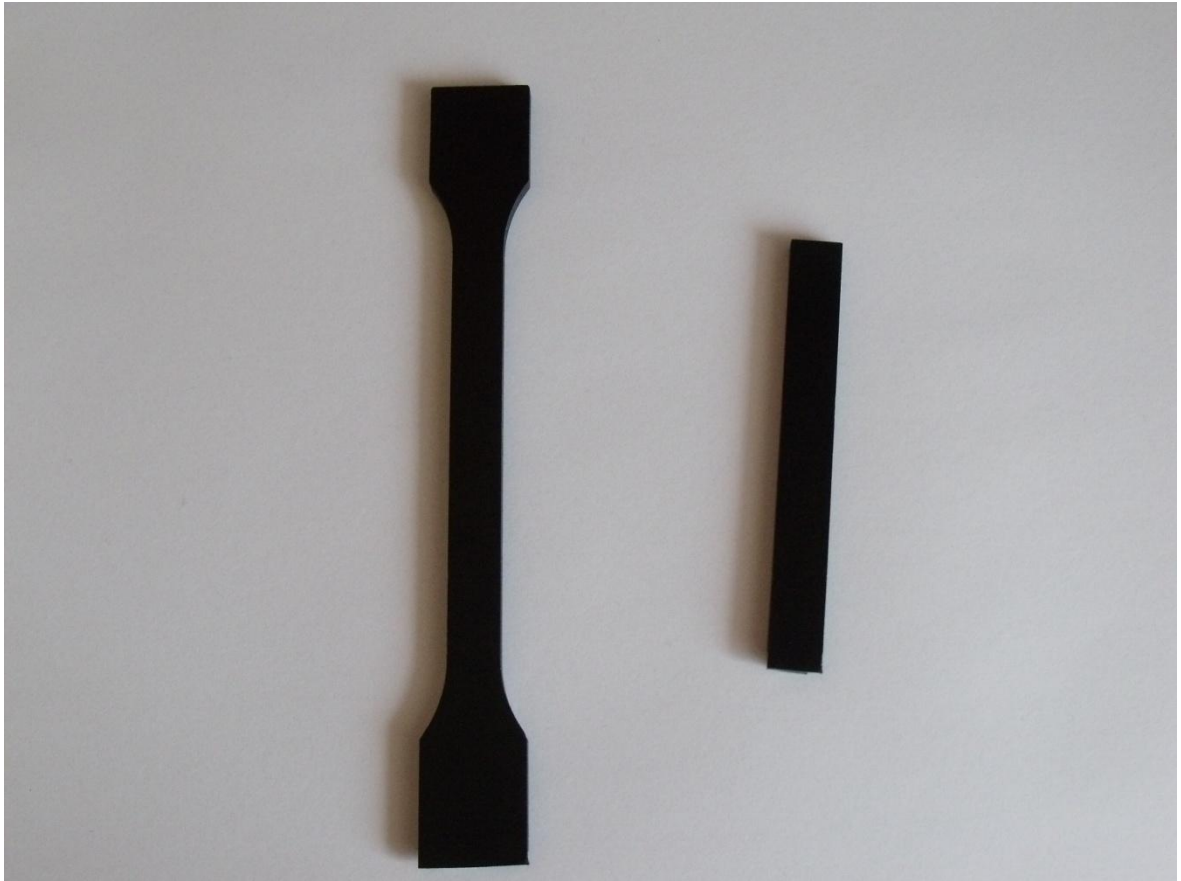
S_0 [mm²] počáteční plocha příčného
průřezu zkušební tyče

d [mm] průměr zkoušené délky
válcové zkušební tyče

a [mm] tloušťka ploché zkušební tyče

b [mm] šířka zkoušené délky ploché
zkušební tyče

Obr. 15 Zkušební tělesa



Obr. 16 Zkušební tělesa z PA6 + 30%SV

6.3.1 Vstřikovací stroj

Pro výrobu zkušebních těles byl použit vstřikovací stroj ARBURG 420C Allrounder Advanced s dvounásobnou formou. Forma má dutiny ve tvaru zkušební lopatky a obdélníkové tyčinky (rozměry $b = 10 \pm 0,5$ mm, $h = 4 \pm 0,2$ mm, $l = 150 \pm 2$ mm). Rozměry dutiny ve formě jsou v přesnosti $\pm 0,02$ mm.



Obr. 17 Vstřikovací stroj Arburg

Tab. 2 Parametry nastavení stroje při vstřikování

Vstřikovací jednotka	
Plnicí oblast [°C]	70
Vstupní oblast [°C]	220
Přechodová oblast [°C]	245
Výstupní oblast [°C]	254
Tryska [°C]	264
Plastikací jednotka	
Vstřikovací tlak [MPa]	60
Rychlost vstřikování [mm/s]	100
Dotlak [MPa]	40
Chlazení formy [s]	25
Teplota formy [°C]	75

7 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

7.1 Tahová zkouška

Tab. 3 Parametry zkušebního stroje

Výška stroje	2010 mm
Šířka stroje	630 mm
Šířka pracovního prostoru	420 mm
Hmotnost	150 kg
Max. posuvová rychlost	750 mm/ min
Max. posuvová síla	20 kN



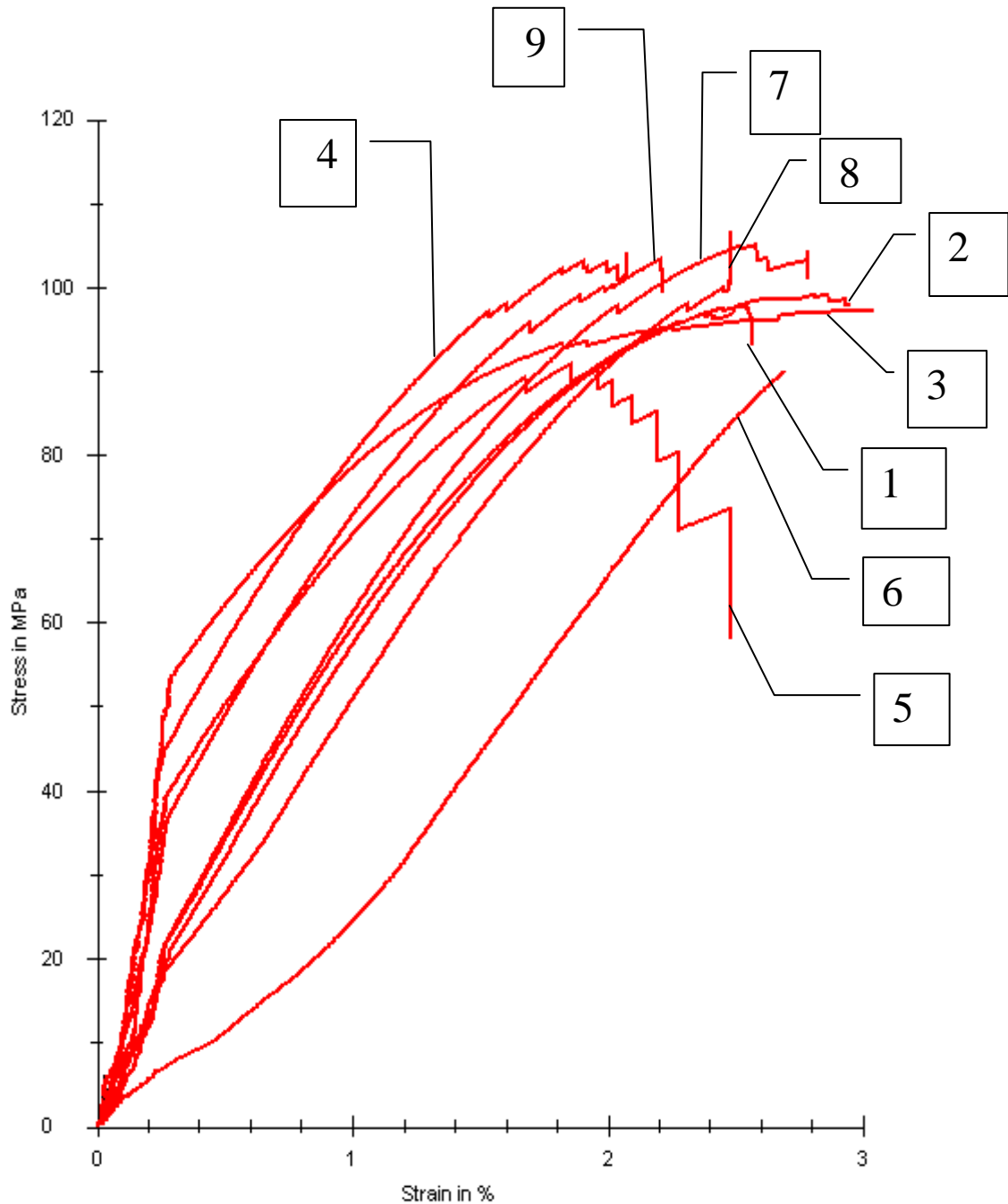
Obr. 18 Univerzální zkušební stroj ZWICK 1456

Na tomto stroji lze provádět 3 druhy zkoušek, a to tahovou, tlakovou a ohybovou. Nedílnou součástí je i potřebné softwarové vybavení a to programem TEST XPERT.

Postup měření zkoušky:

Změří se rozměry zkušebního tělesa (tloušťka a šířka v mm). Nastaví se požadované rozměry stroje a poté se upne mezi čelisti zkušební těleso a nastaví se tenzometr. Zkouška se spouští pomocí softwaru, jenž ji rovnou vyhodnotí a vytvoří požadovaný graf.

7.1.1 Vlastní vyhodnocení



Obr. 19 Tahová zkouška

1 - Nekurovaná drť, 2 - Kutrovaná drť, 3 - Jemná drť, 4 - PA6 + 30%SV, 5 - PA6+30%SV+5% jemná drť, 6 - PA6+30%SV+10% jemná drť, 7 - PA6+30%SV+15% jemná drť, 8 - PA6+30%SV+5% kutrovaná drť, 9 - PA6+30%SV+10% kutrovaná drť

Tab. 4 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV)

PA6 + 30%SV	R_m	E	εR_m	R_B	ε_z	εF_{max}
n = 10	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
\bar{X}	106,65	5769,30	2,50	106,65	0,50	0,50
s	1,61	441,35	0,13	1,61	0,03	0,03
σ	0,51	139,57	0,04	0,51	0,01	0,01
η	1,51	7,65	5,09	1,51	5,19	5,19

Tab. 5 Tahová zkouška (jemná drť)

jemná drť	R_m	E	εR_m	R_B	ε_z	εF_{max}
n = 10	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
\bar{X}	96,14	5148,01	3,10	94,25	0,77	0,62
s	1,53	347,80	0,16	3,33	0,27	0,03
σ	0,48	109,98	0,05	1,05	0,09	0,01
η	1,60	6,76	5,07	3,53	34,62	5,13

Tab. 6 Tahová zkouška (nekutrovaná drť)

nekutrovaná drť	R_m	E	εR_m	R_B	ε_z	εF_{max}
n = 10	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
\bar{X}	98,23	5550,98	2,66	98,23	0,53	0,53
s	1,53	297,60	0,07	1,53	0,01	0,01
σ	0,48	94,11	0,02	0,48	0,00	0,00
η	1,55	5,36	2,64	1,55	2,57	2,57

Tab. 7 Tahová zkouška (kutrovaná drť)

kutrovaná drť	R_m	E	εR_m	R_B	ε_z	εF_{max}
n = 10	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
\bar{X}	98,45	5409,24	2,69	98,45	0,54	0,54
s	2,18	288,44	0,21	2,18	0,04	0,04
σ	0,69	91,21	0,07	0,69	0,01	0,01
η	2,22	5,33	7,73	2,22	8,19	7,95

Tab. 8 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV + 5% jemná drť)

PA6 + 30%SV + 5% jemná drť	R_m	E	εR_m	R_B	ε_z	εF_{max}
n = 10	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
\bar{X}	106,19	5445,03	2,60	106,19	0,52	0,52
s	1,91	336,55	0,09	1,91	0,02	0,02
σ	0,60	106,43	0,03	0,60	0,01	0,01
η	1,79	6,18	3,53	1,79	3,45	3,45

Tab. 9 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV + 10% jemná drť)

PA6 + 30%SV + 10% jemná drť	R_m	E	εR_m	R_B	ε_z	εF_{max}
n = 10	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
\bar{X}	106,26	5422,56	2,68	106,26	0,54	0,54
s	1,72	440,67	0,11	1,72	0,02	0,02
σ	0,54	139,35	0,03	0,54	0,01	0,01
η	1,62	8,13	4,20	1,62	4,21	4,21

Tab. 10 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV + 15% jemná drť)

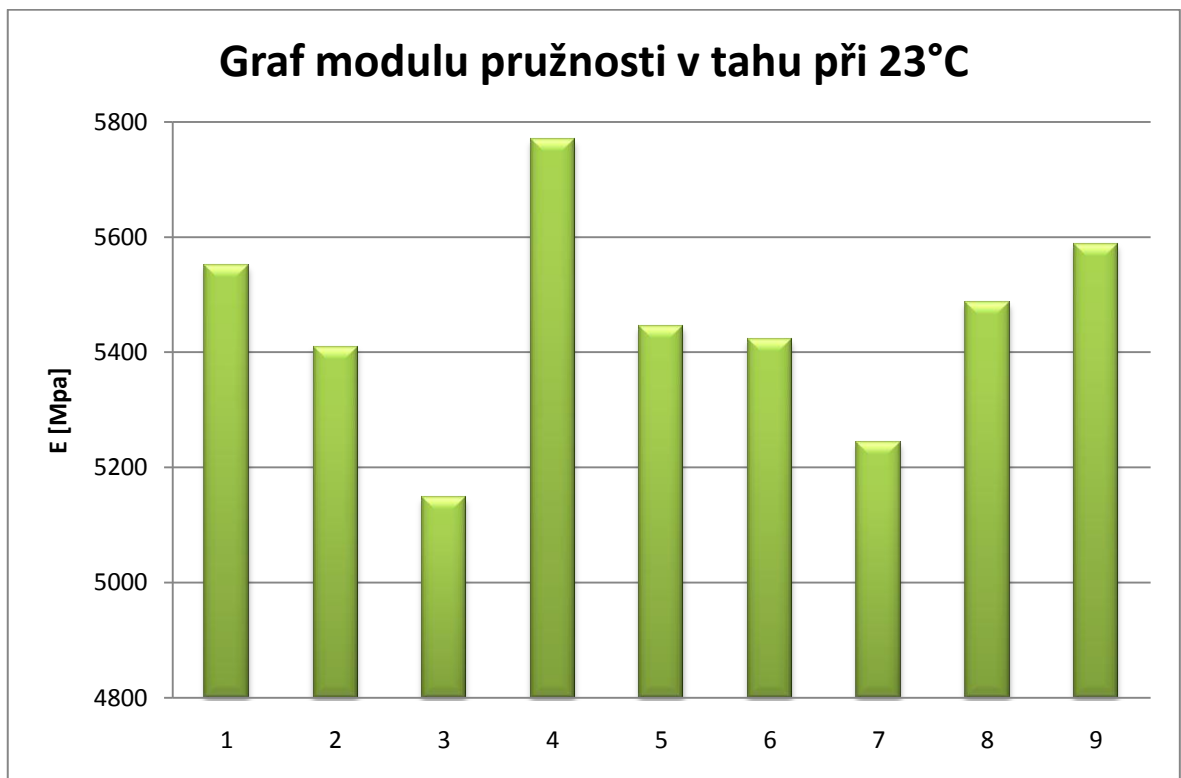
PA6 + 30%SV + 15% jemná drť	R_m	E	εR_m	R_B	ε_z	εF_{max}
n = 10	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
\bar{X}	105,88	5243,84	2,68	105,84	0,54	0,54
s	1,41	363,89	0,16	1,41	0,03	0,03
σ	0,45	115,07	0,05	0,45	0,01	0,01
η	1,33	6,94	5,84	1,33	5,71	5,70

Tab. 11 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV + 5% kutrovaná drť)

PA6 + 30%SV + 5% kutrovaná drť	R_m	E	εR_m	R_B	ε_z	εF_{max}
n = 10	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
\bar{X}	106,57	5485,56	2,75	106,39	0,56	0,55
s	2,43	412,30	0,22	2,90	0,05	0,04
σ	0,77	130,38	0,07	0,92	0,02	0,01
η	2,28	7,52	7,82	2,73	8,93	7,74

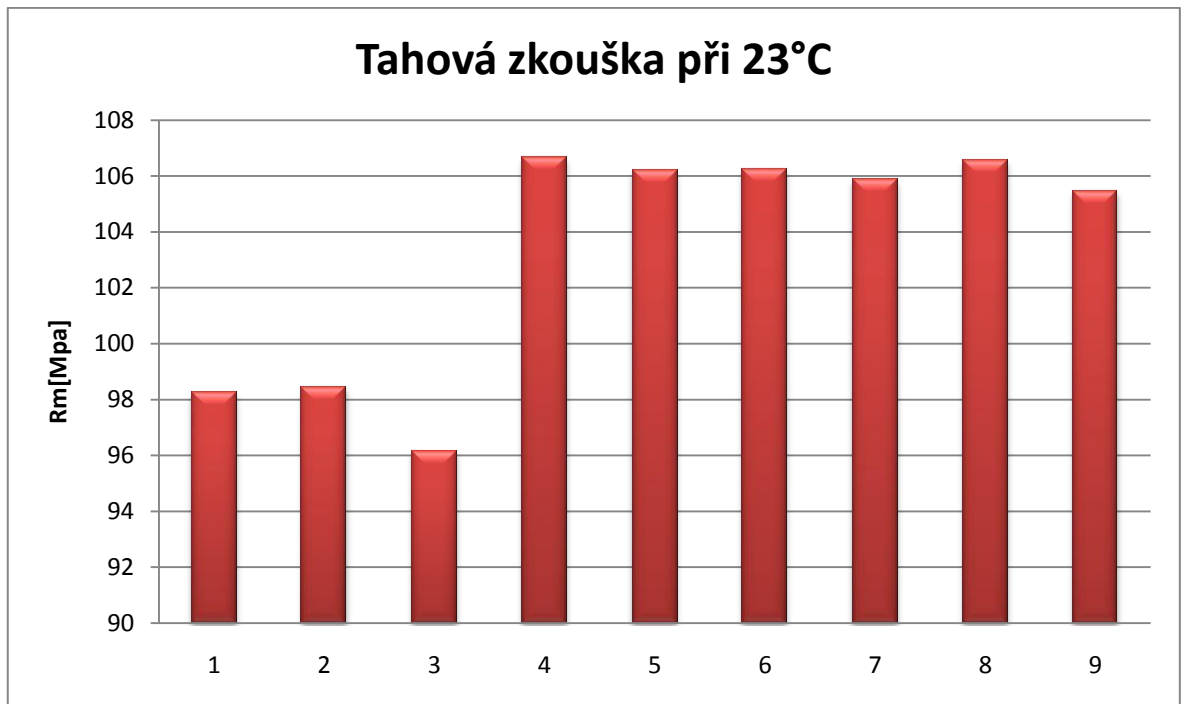
Tab. 12 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť)

PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť	R_m	E	ϵR_m	R_B	ϵ_z	ϵF_{max}
n = 10	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
\bar{X}	105,47	5588,09	2,58	105,47	0,52	0,52
s	1,89	458,63	0,10	1,89	0,02	0,02
σ	0,60	145,03	0,03	0,60	0,01	0,01
η	1,79	8,21	4,03	1,79	4,20	4,20



Obr. 20 Graf tahové zkoušky pro modul pružnosti v tahu

1 - Nekurovaná drť, 2 - Kutrovaná drť, 3 - Jemná drť, 4 - PA6 + 30%SV, 5 - PA6+30%SV+5% jemná drť, 6 - PA6+30%SV+10% jemná drť, 7 - PA6+30%SV+15% jemná drť, 8 - PA6+30%SV+5% kutrovaná drť, 9 - PA6+30%SV+10% kutrovaná drť



Obr. 21 Graf tahové zkoušky pro mez pevnosti v tahu

1 - Nekurovaná dř, 2 - Kurovaná dř, 3 - Jemná dř, 4 - PA6 + 30%SV, 5 - PA6+30%SV+5% jemná dř,
6 - PA6+30%SV+10% jemná dř, 7 - PA6+30%SV+15% jemná dř, 8 - PA6+30%SV+5% kurovaná dř, 9
- PA6+30%SV+10% kurovaná dř

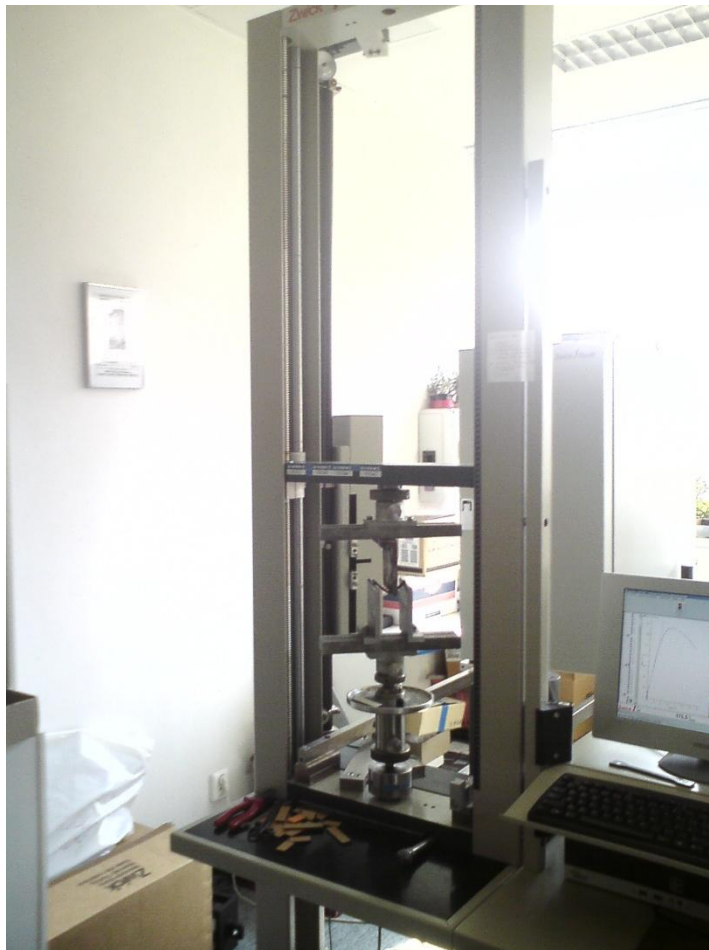
7.2 Ohybová zkouška

Zkouška je prováděna na trhacím stroji ZWICK 1456 s čelistmi určené pro ohybovou zkoušku.

Parametry stroje jsou stejné jako pro zkoušku tahem.

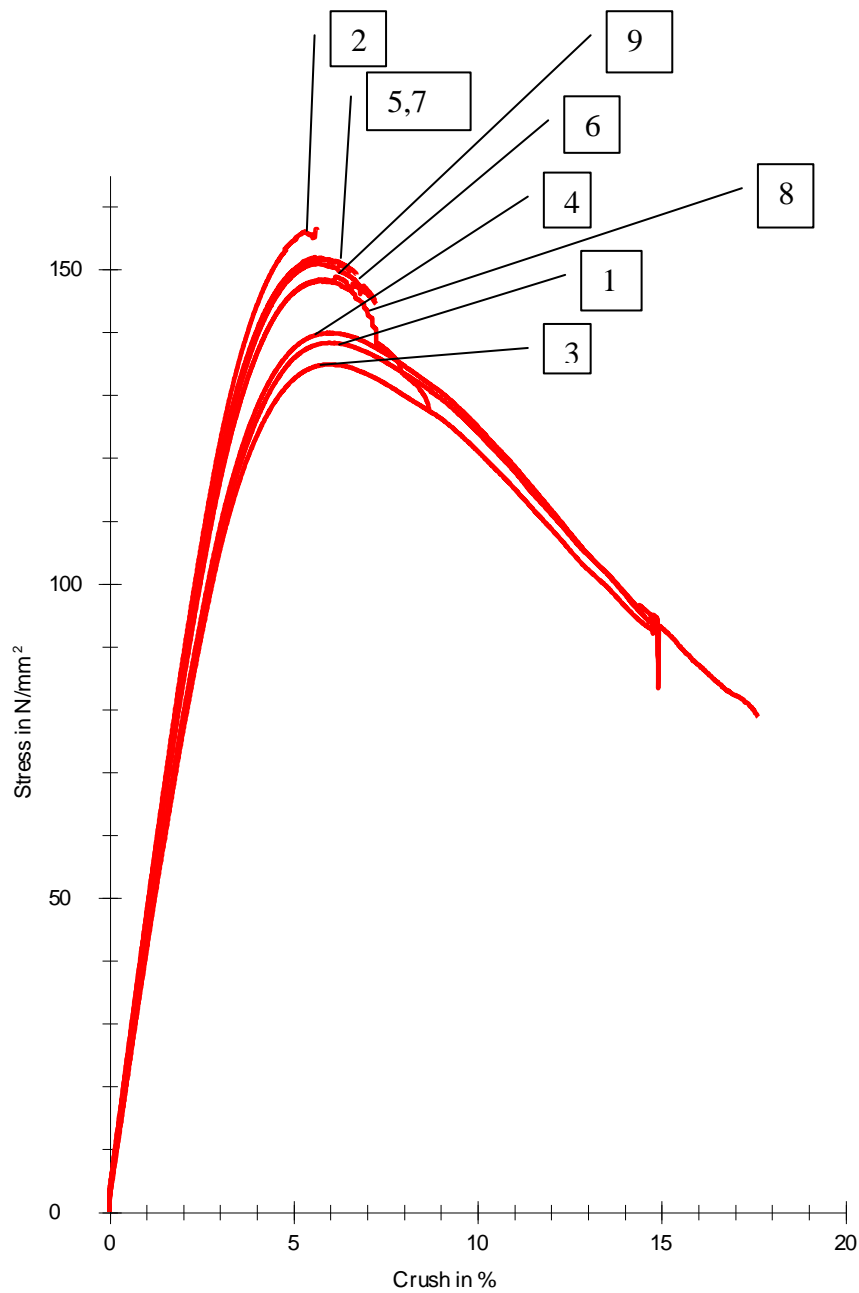
Postup měření zkoušky:

Změří se rozměry zkušebního tělesa (tloušťka a šířka v mm). Nastaví se požadované rozměry stroje a poté se vloží mezi čelisti zkušební těleso. Zkouška se spouští pomocí softwaru, jenž ji rovnou vyhodnotí a vytvoří požadovaný graf.



Obr. 22 Trhací stroj ZWICK 1456 s čelistmi pro ohyb

7.2.1 Vlastní vyhodnocení



Obr. 23 Ohybová zkouška

1 – Kutrovaná drť, 2 - PA6 + 30%SV, 3 - Jemná drť, 4 - Nekutrovaná drť, 5 - PA6 + 30%SV + 5% jemná drť, 6 - PA6 + 30%SV + 10% jemná drť, 7 - PA6 + 30%SV + 15% jemná drť, 8 - PA6 + 30%SV + 5% kutrovaná drť, 9 - PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť

Tab. 13 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV)

PA6 + 30%SV	R_m	ϵF_{Max}	R_B	ϵ_z	ϵ_z	E
n = 10	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	N/mm ²
\bar{X}	155,10	5,28	154,79	5,32	9,11	4431,55
s	1,79	0,25	2,07	0,27	0,47	93,11
σ	0,57	0,08	0,65	0,09	0,15	29,44
η	1,15	4,64	1,34	5,03	5,16	2,10

Tab. 14 Ohybová zkouška (Jemná drť)

Jemná drť	R_m	ϵF_{Max}	R_B	ϵ_z	ϵ_z	E
n = 10	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	N/mm ²
\bar{X}	134,79	5,95	-	-	-	3888,38
s	2,09	0,10	-	-	-	90,03
σ	0,66	0,03	-	-	-	28,47
η	1,55	1,75	-	-	-	2,32

Tab. 15 Ohybová zkouška (Nekutrovaná drť)

Nekutrovaná drť	R_m	ϵF_{Max}	R_B	ϵ_z	ϵ_z	E
n = 10	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	N/mm ²
\bar{X}	139,82	6,02	106,89	12,43	21,27	4050,00
s	2,07	0,09	17,19	2,73	4,67	93,22
σ	0,65	0,03	5,44	0,86	1,48	29,48
η	1,48	1,55	16,08	21,96	21,96	2,30

Tab. 16 Ohybová zkouška (Kutrovaná drť)

Kutrovaná drť	R_m	ϵF_{Max}	R_B	ϵ_z	ϵ_z	E
n = 10	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	N/mm ²
\bar{X}	138,25	6,03	110,12	12,00	20,52	3963,14
s	2,59	0,09	16,81	2,52	4,30	67,15
σ	0,82	0,03	5,32	0,80	1,36	21,23
η	1,87	1,51	15,27	20,97	20,97	1,69

Tab. 17 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV + 5% jemná drť)

PA6 + 30%SV + 5% jemná drť	R_m	ϵF_{Max}	R_B	ϵ_z	ϵ_z	E
n = 10	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	N/mm ²
\bar{X}	151,52	5,66	150,42	6,12	10,48	4328,36
s	1,24	0,17	1,61	0,54	0,92	53,81
σ	0,39	0,05	0,51	0,17	0,29	17,02
η	0,82	3,09	1,07	8,78	8,78	1,24

Tab. 18 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV + 10% jemná drť)

PA6 + 30%SV + 10% jemná drť	R_m	ϵF_{Max}	R_B	ϵ_z	ϵ_z	E
n = 10	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	N/mm ²
\bar{X}	150,89	5,73	148,55	6,35	10,87	4284,56
s	0,95	0,10	3,11	0,57	0,98	49,82
σ	0,30	0,03	0,98	0,18	0,31	15,75
η	0,63	1,70	2,09	9,03	9,03	1,16

Tab. 19 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV + 15% jemná drť)

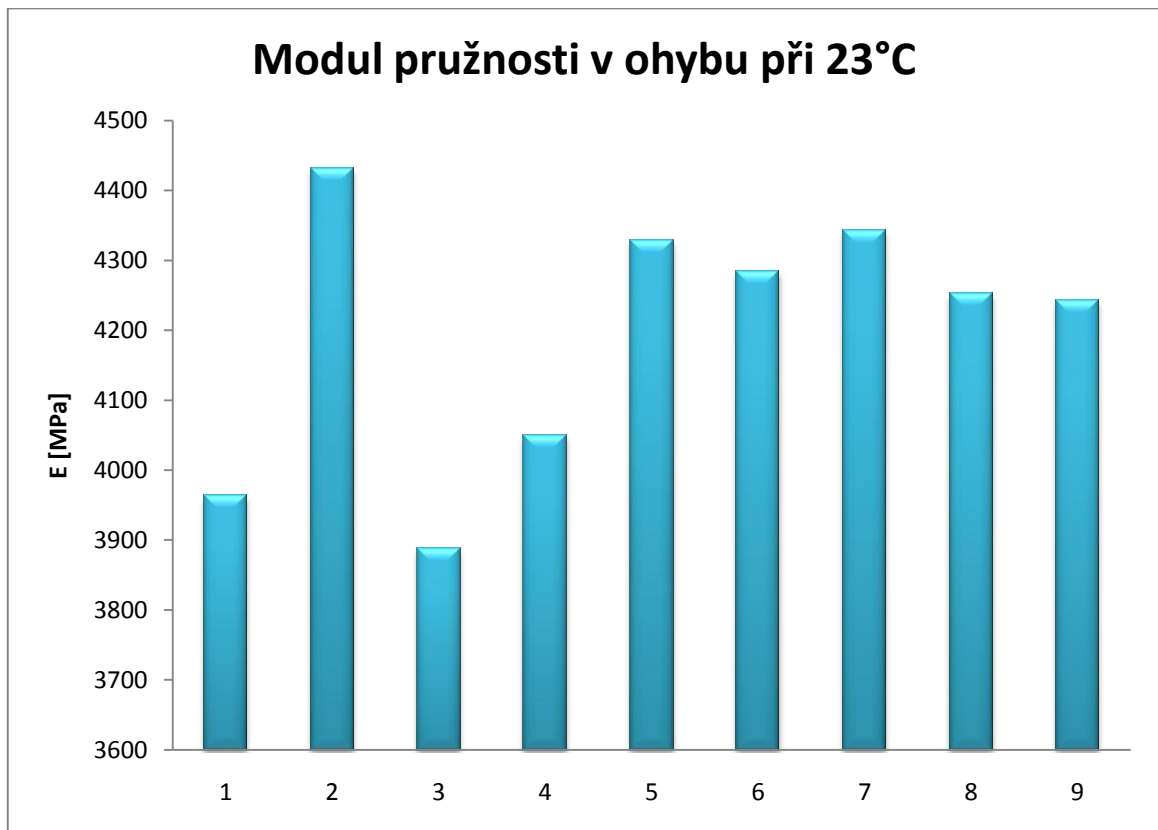
PA6 + 30%SV + 15% jemná drť	R_m	ϵF_{Max}	R_B	ϵ_z	ϵ_z	E
n = 10	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	N/mm ²
\bar{X}	151,44	5,71	150,46	6,12	10,47	4342,05
s	0,93	0,16	0,72	0,35	0,60	54,72
σ	0,29	0,05	0,23	0,11	0,19	17,30
η	0,61	2,73	0,48	5,76	5,76	1,26

Tab. 20 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV + 5% kurovaná drť)

PA6 + 30%SV + 5% kurovaná drť	R_m	ϵF_{Max}	R_B	ϵ_z	ϵ_z	E
n = 10	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	N/mm ²
\bar{X}	148,25	5,80	143,70	7,04	12,05	4252,88
s	3,91	0,09	7,04	0,82	1,41	110,83
σ	1,24	0,03	2,23	0,26	0,45	35,05
η	2,64	1,57	4,90	11,69	11,69	2,61

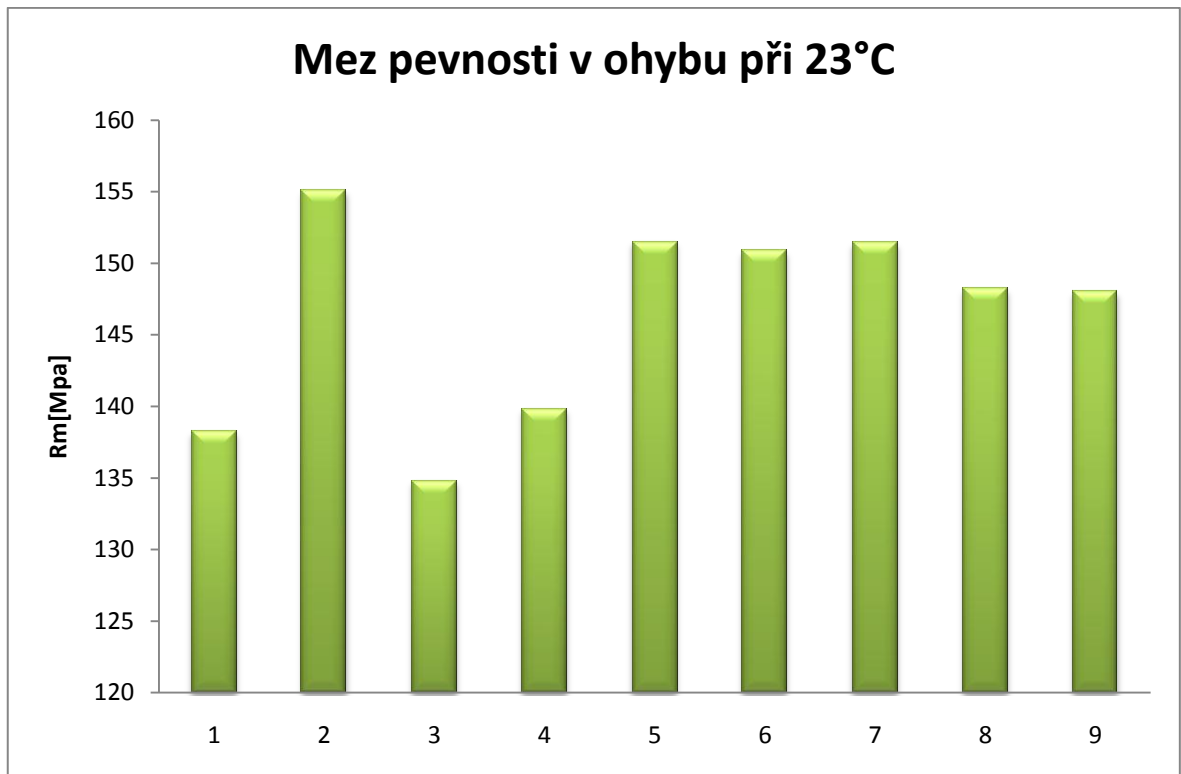
Tab. 21 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť)

PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť	R_m	$\varepsilon_{F_{Max}}$	R_B	ε_z	ε_z	E
n = 10	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	N/mm ²
\bar{X}	148,05	5,81	146,64	6,41	10,96	4241,69
s	2,17	0,11	1,91	0,45	0,76	103,63
σ	0,69	0,03	0,60	0,14	0,24	32,77
η	1,47	1,82	1,30	6,95	6,95	2,44



Obr. 24 Graf ohybové zkoušky pro modul pružnosti

1 – Kutrovaná drť, 2 - PA6 + 30%SV, 3 - Jemná drť, 4 - Nekutrovaná drť, 5 - PA6 + 30%SV + 5% jemná drť, 6 - PA6 + 30%SV + 10% jemná drť, 7 - PA6 + 30%SV + 15% jemná drť, 8 - PA6 + 30%SV + 5% kutrovaná drť, 9 - PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť



Obr. 25 Graf ohybové zkoušky pro mez pevnosti

1 – Kutrovaná drť, 2 - PA6 + 30%SV, 3 - Jemná drť, 4 - Nekutrovaná drť, 5 - PA6 + 30%SV + 5% jemná drť, 6 - PA6 + 30%SV + 10% jemná drť, 7 - PA6 + 30%SV + 15% jemná drť, 8 - PA6 + 30%SV + 5% kutrovaná drť, 9 - PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť

7.3 Zkouška rázové houževnatosti

Zkouška je prováděna na stroji Resil Impactor junior od firmy CEAST.

Technické parametry Rázového kyvadla:

Energie: 5 – 15 Joule

Úhel břitu kyvadla: $30^\circ \pm 1^\circ$

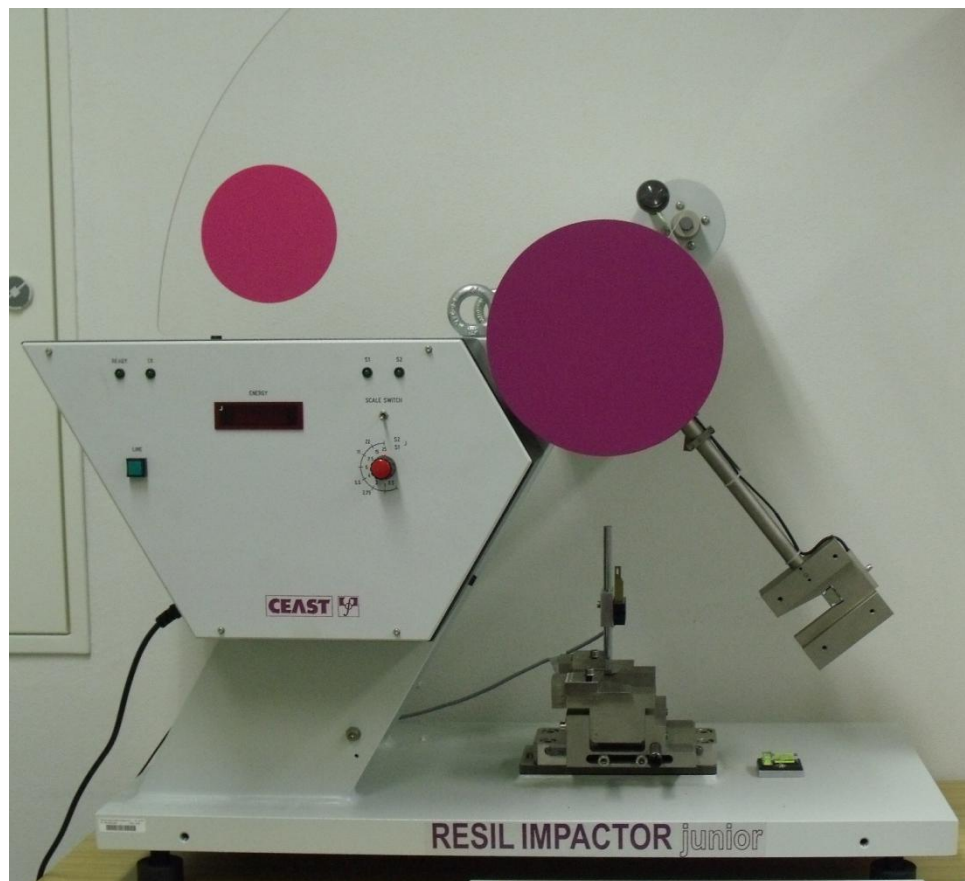
Zaoblení břitu kyvadla: $2 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$

Rychlost rázu: $2,63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Délka kyvadla: 225 mm

Úhel vychýlení kyvadla: 40°

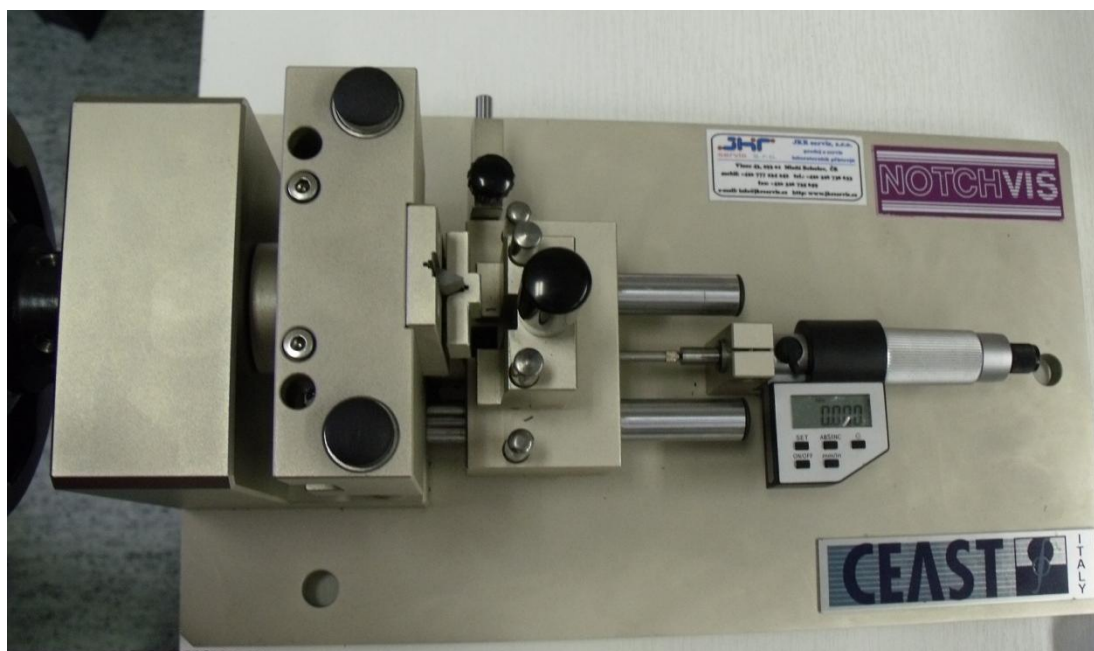
Rozpětí podpěr: 62 mm



Obr. 26 Sharpyho kladivo (Resil Impactor junior)

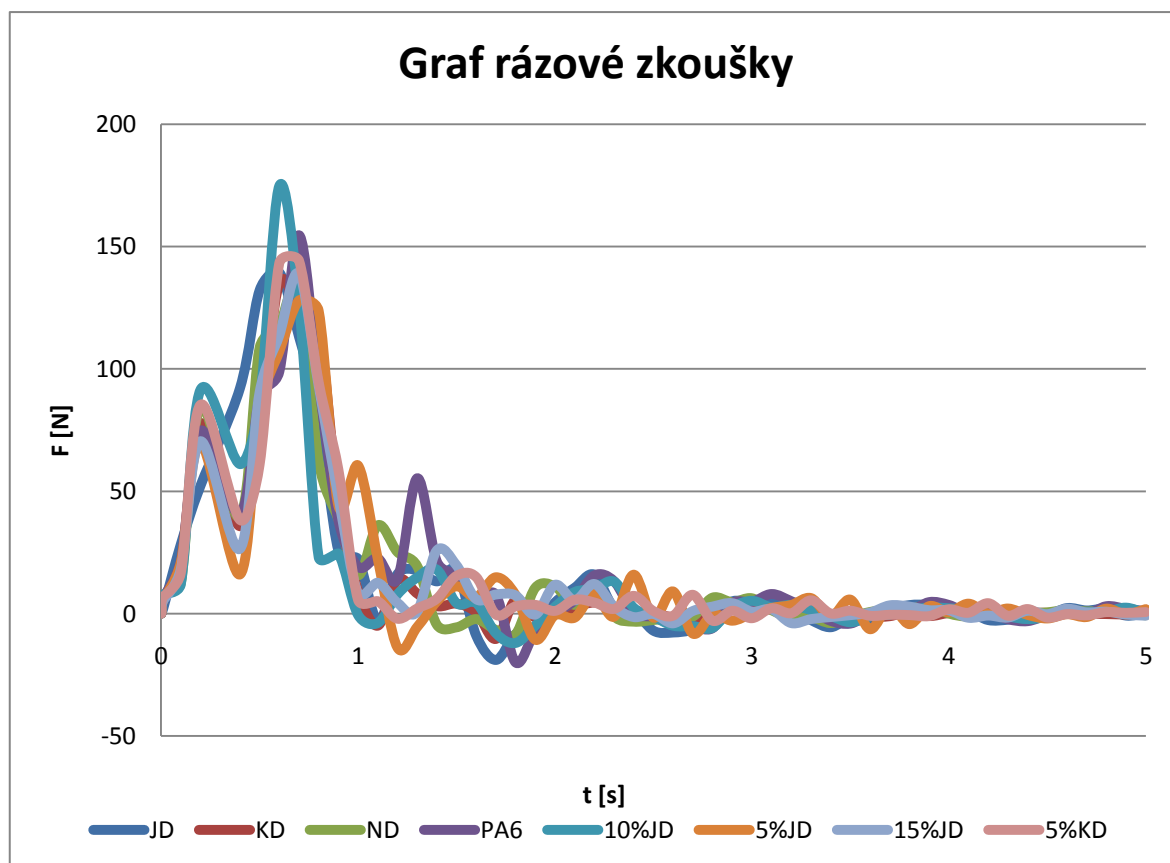
Postup měření zkoušky:

Před vlastním měřením se musí provést ovrubování vzorků. Vzorek se vloží na podpěry a spustí se kyvadlo a následně dojde k přetnutí vzorku a zjištění hodnot.



Obr. 27 Stroj na vrubování zkušebních těles

7.3.1 Vlastní vyhodnocení



Obr. 28 Zkouška rázové houževnatosti

Tab. 22 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV |PA6|)

PA6 + 30%SV PA6	F [N]	v [m/s]	E _J [J]	a _{cN} [KJ/m ²]
\bar{X}	305,29	1,49	0,08	3,19
σ	56,54	0,00	0,01	0,15
s	178,82	0,01	0,02	0,46

Tab. 23 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV + 5% jemná drť |5%JD|)

PA6 + 30%SV + 5% jemná drť 5%JD	F [N]	v [m/s]	E _J [J]	a _{cN} [KJ/m ²]
\bar{X}	255,89	1,49	0,08	3,13
σ	25,14	0,00	0,01	0,14
s	79,51	0,01	0,02	0,45

Tab. 24 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV + 10% jemná drť |10%JD|)

PA6 + 30%SV + 10% jemná drť 10%JD	F [N]	v [m/s]	E _J [J]	a _{cN} [KJ/m ²]
\bar{X}	239,16	1,49	0,07	3,20
σ	8,27	0,00	0,01	0,22
s	26,16	0,01	0,03	0,71

Tab. 25 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV + 15% jemná drť |15%JD|)

PA6 + 30%SV + 15% jemná drť 15%JD	F [N]	v [m/s]	E _J [J]	a _{cN} [KJ/m ²]
\bar{X}	258,29	1,49	0,08	3,23
σ	24,28	0,00	0,01	0,19
s	76,79	0,01	0,02	0,60

Tab. 26 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV + 5% kutrovaná drť |5%KD|)

PA6 + 30%SV + 5% kutrovaná drť 5%KD	F [N]	v [m/s]	E _J [J]	a _{cN} [KJ/m ²]
\bar{X}	256,47	1,49	0,07	3,07
σ	12,65	0,05	0,07	0,15
s	40,03	0,15	0,22	0,48

Tab. 27 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť |10%KD|)

PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť 10%KD	F [N]	v [m/s]	E _J [J]	a _{cN} [KJ/m ²]
\bar{X}	263,10	1,48	0,12	3,26
σ	15,37	0,01	0,04	0,18
s	40,63	0,04	0,14	0,58

Tab. 28 Zkouška rázové houževnatosti (Nekutrovaná drť |ND|)

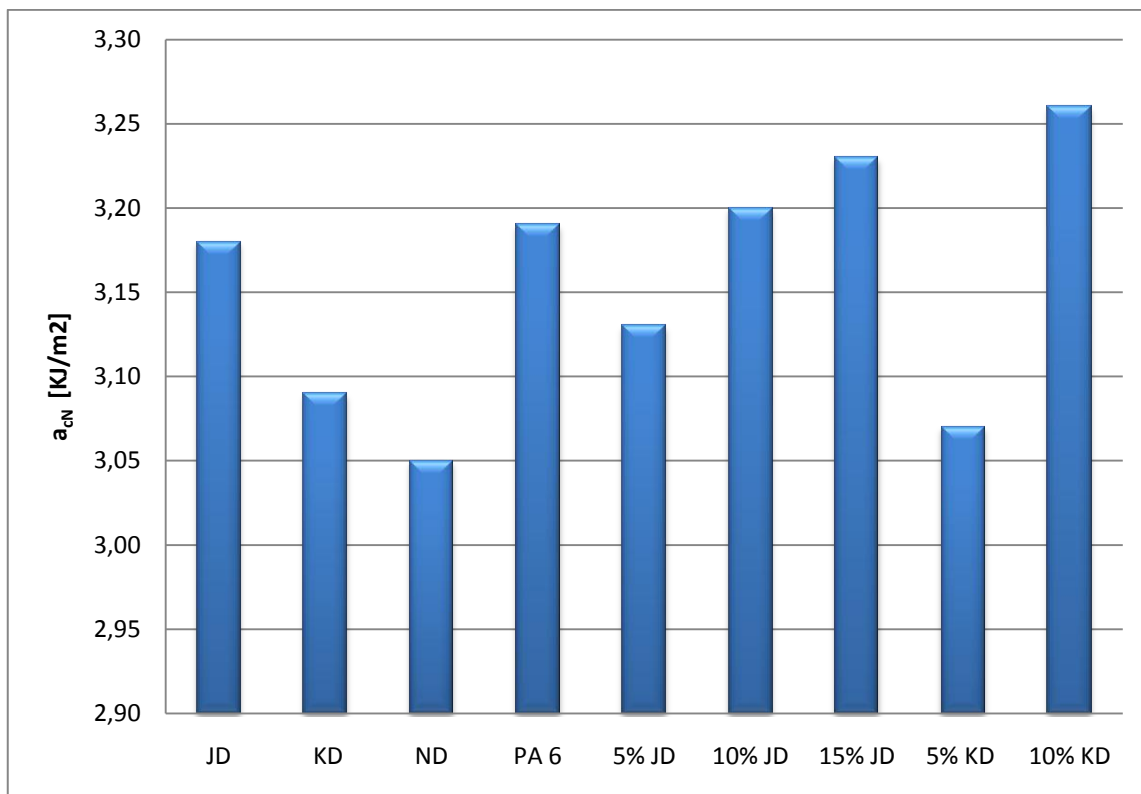
Nekutrovaná drť ND	F [N]	v [m/s]	E _J [J]	a _{cN} [KJ/m ²]
\bar{X}	277,29	1,49	0,07	3,05
σ	22,13	0,00	0,01	0,18
s	70,00	0,01	0,02	0,57

Tab. 29 Zkouška rázové houževnatosti (Kutrovaná drť |KD|)

Kutrovaná drť KD	F [N]	v [m/s]	E _J [J]	a _{cN} [KJ/m ²]
\bar{X}	236,57	1,49	0,07	3,09
σ	8,73	0,00	0,01	0,22
s	27,62	0,01	0,03	0,71

Tab. 30 Zkouška rázové houževnatosti (Jemná drť |JD|)

Jemná drť JD	F [N]	v [m/s]	E _J [J]	a _{cN} [KJ/m ²]
\bar{X}	237,71	1,49	0,08	3,18
σ	15,36	0,00	0,01	0,19
s	48,57	0,01	0,04	0,61



Obr. 29 Graf zkoušky rázové houževnatosti

7.4 Statistické vyhodnocování výsledků

Při vyhodnocování získaných dat bylo použito vztahů pro statistické vyhodnocování, které jsou následovné:

- Aritmetický průměr „ \bar{X} “: z n naměřených výsledků se spočte jako suma dělena jejich počtem

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

- Rozptyl „ s^2 “ je definován jako střední hodnota kvadrátů odchylek od střední hodnoty.

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10\bar{X}^2) \quad (6)$$

- Směrodatná odchylka „ s “, je absolutní hodnota druhé odmocniny rozptylu „ s^2 “.

$$s = |\sqrt{s^2}| \quad (7)$$

- Střední kvadratická chyba aritmetického průměru „ σ “. Využívá se pro hodnocení přesnosti měření.

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} \quad (8)$$

Průměrná chyba:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{X}|}{n\sqrt{n-1}} \quad (9)$$

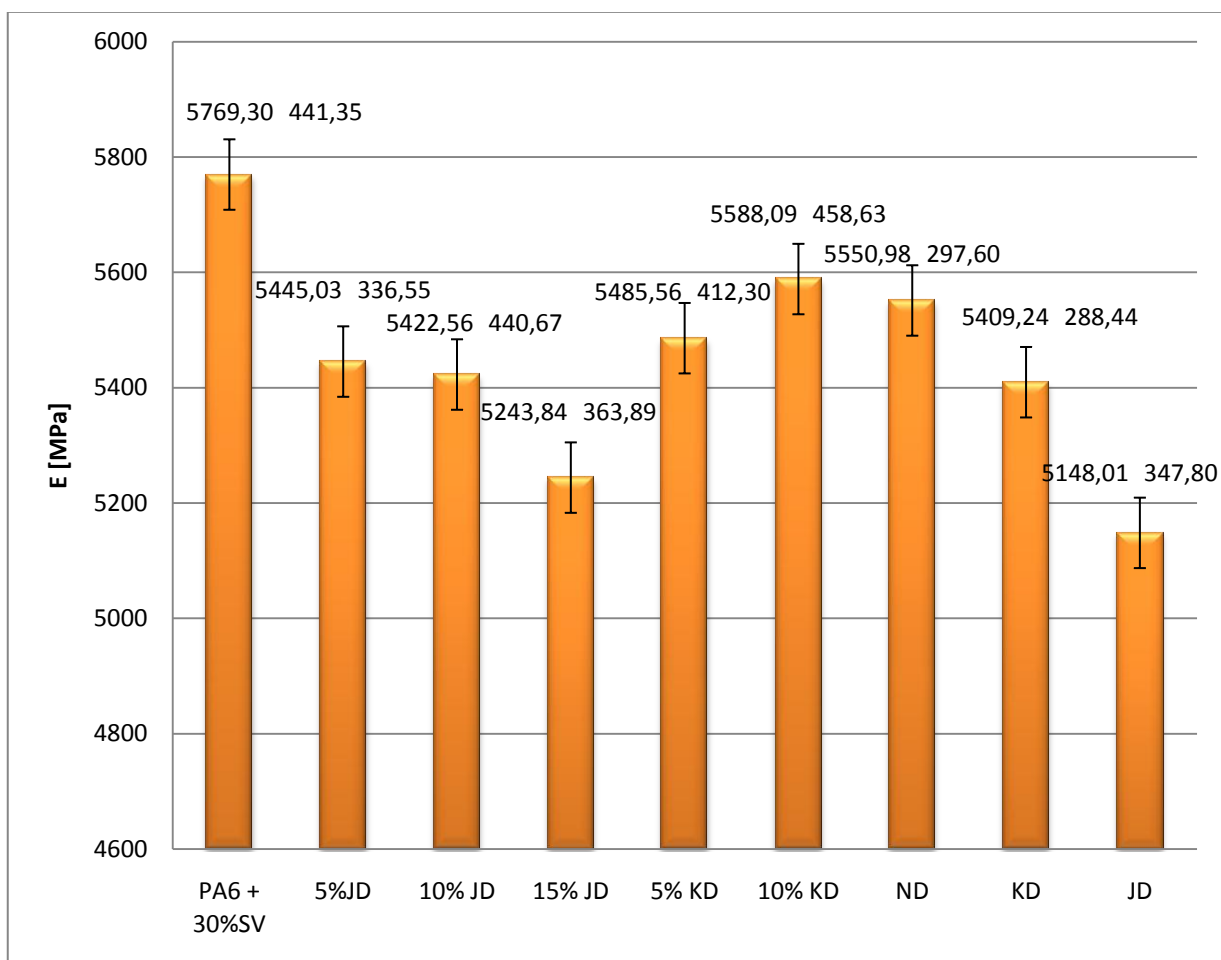
8 DISKUZE VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH ZKOUŠEK

V následující kapitole se budeme zabývat hodnocením naměřených dat tahové, ohybové a rázové zkoušky. V následujících grafických porovnáních je vždy první uveden čistý materiál, tj. PA 6 + 30% skelných vláken.

8.1 Diskuze výsledků tahové zkoušky

Při porovnání modulu pružnosti v tahu E (Obr. 29) pro různé procento příměsí je patrné, že se jeho hodnota snižuje. Proto byl použit tříděný materiál. Zadaná drť byla rozdělena na jemnou a kutrovanou drť (prosívanou, tj. zbavenou jemných podílů). Zároveň byl testován vliv přísady jednotlivých drtí k základnímu polymeru (PA6 + 30%SV).

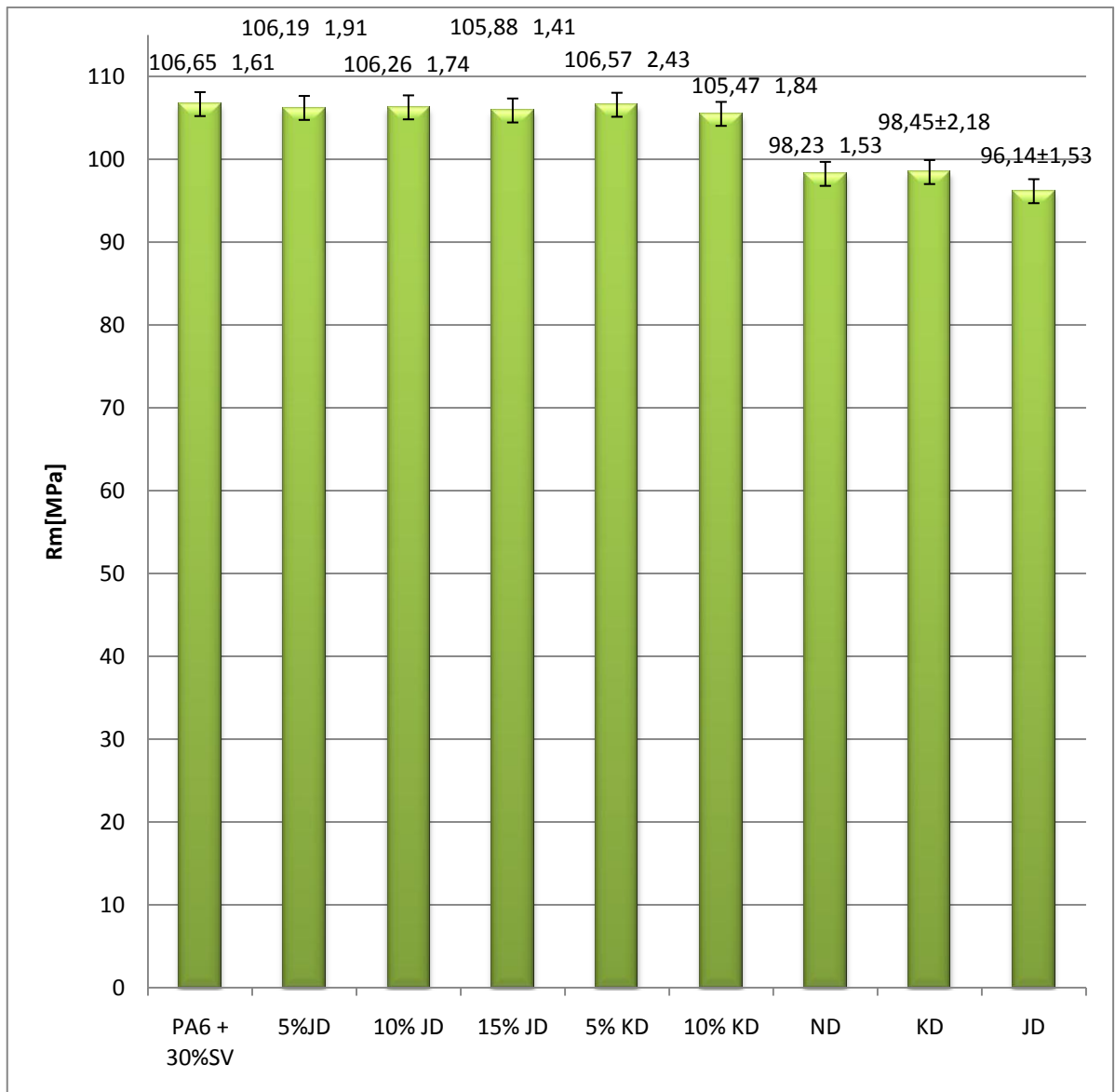
Z hlediska druhu recyklátu bylo dosaženo nejlepších vlastností u nekutrované směsi a nehorších u jemné drti, kde rozdíl činí 11%. Při použití původního materiálu s přísadou recyklátu bylo dosaženo lepších vlastností u zkušebních těles s přidáním kutrované drti.



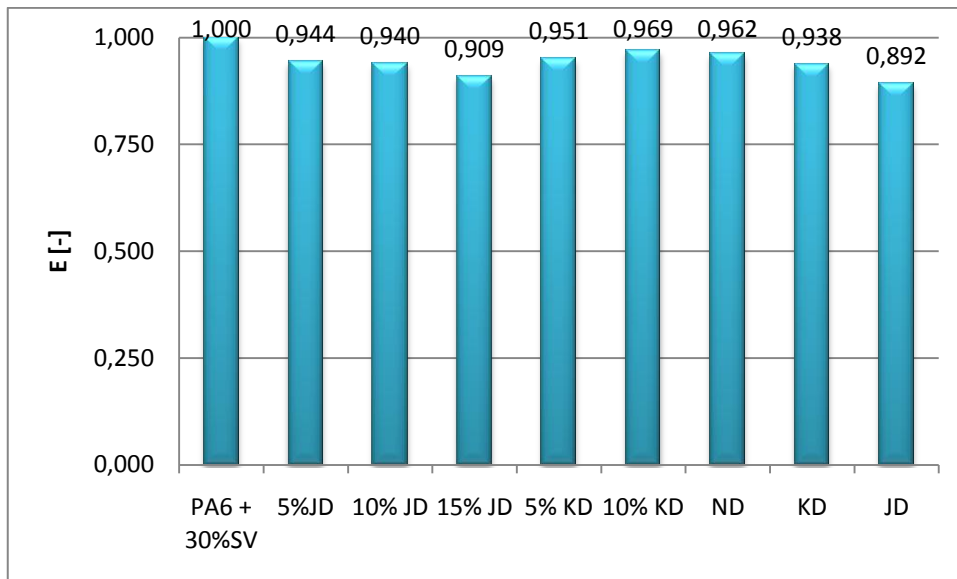
Obr. 30 Modul pružnosti v tahu, 23°C

Výsledky tahové zkoušky ukazují, že mezi drtí a čistým polymerem je rozdíl v mezi pevnosti v tahu až 10%, přičemž nejhorší výsledky vykazuje jemná drť.

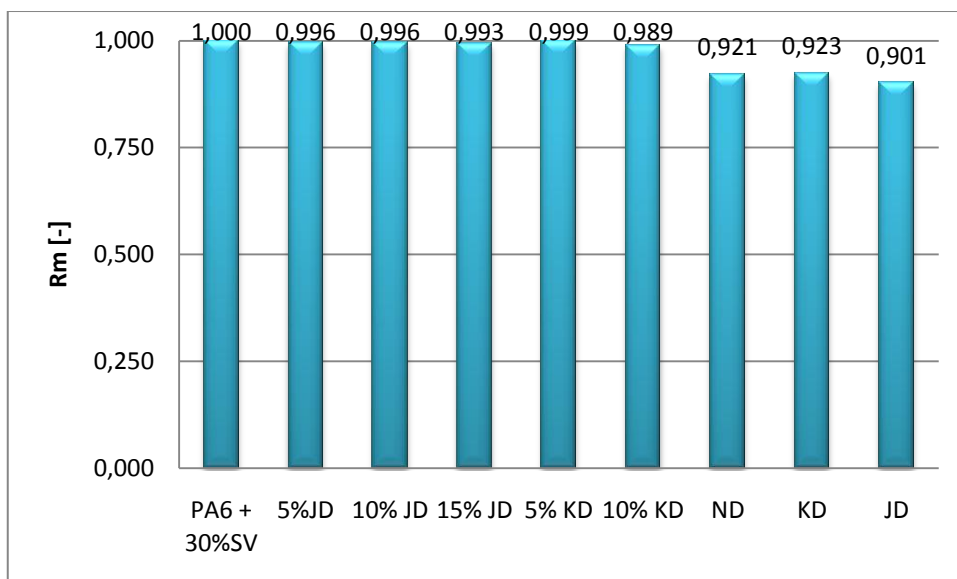
Přídavek 5 – 15% drtě, jak tříděné tak i netříděné, nemá na výslednou pevnost v tahu v podstatě žádný vliv. V porovnání mezi sebou a čistým polymerem vycházejí přibližně stejné hodnoty.



Obr. 31 Mez pevnosti v tahu, 23°C



Obr. 32 Modul pružnosti v tahu - porovnání PA6+30%SV s přísadami [%]

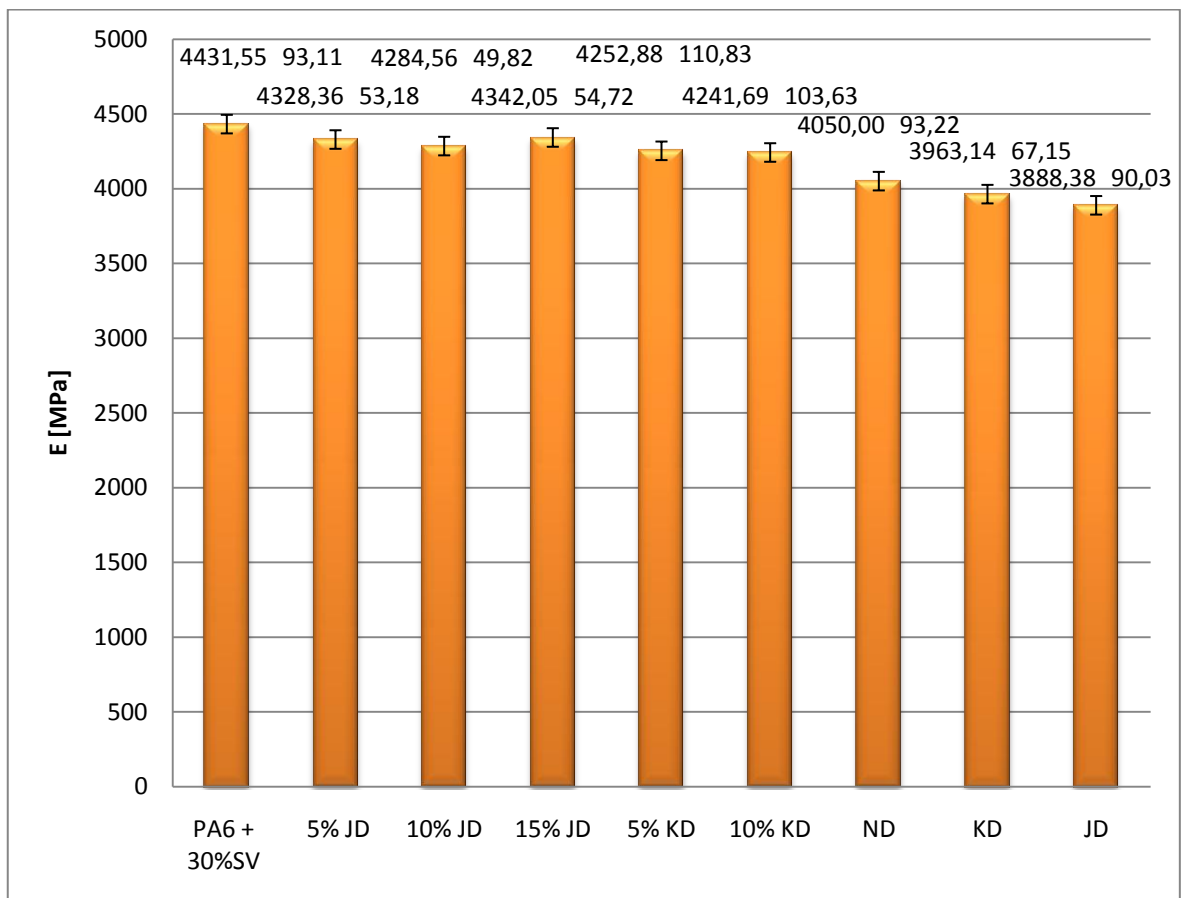


Obr. 33 Mez pevnosti v tahu - porovnání PA6+30%SV s přísadami [%]

8.2 Diskuze výsledků ohybové zkoušky

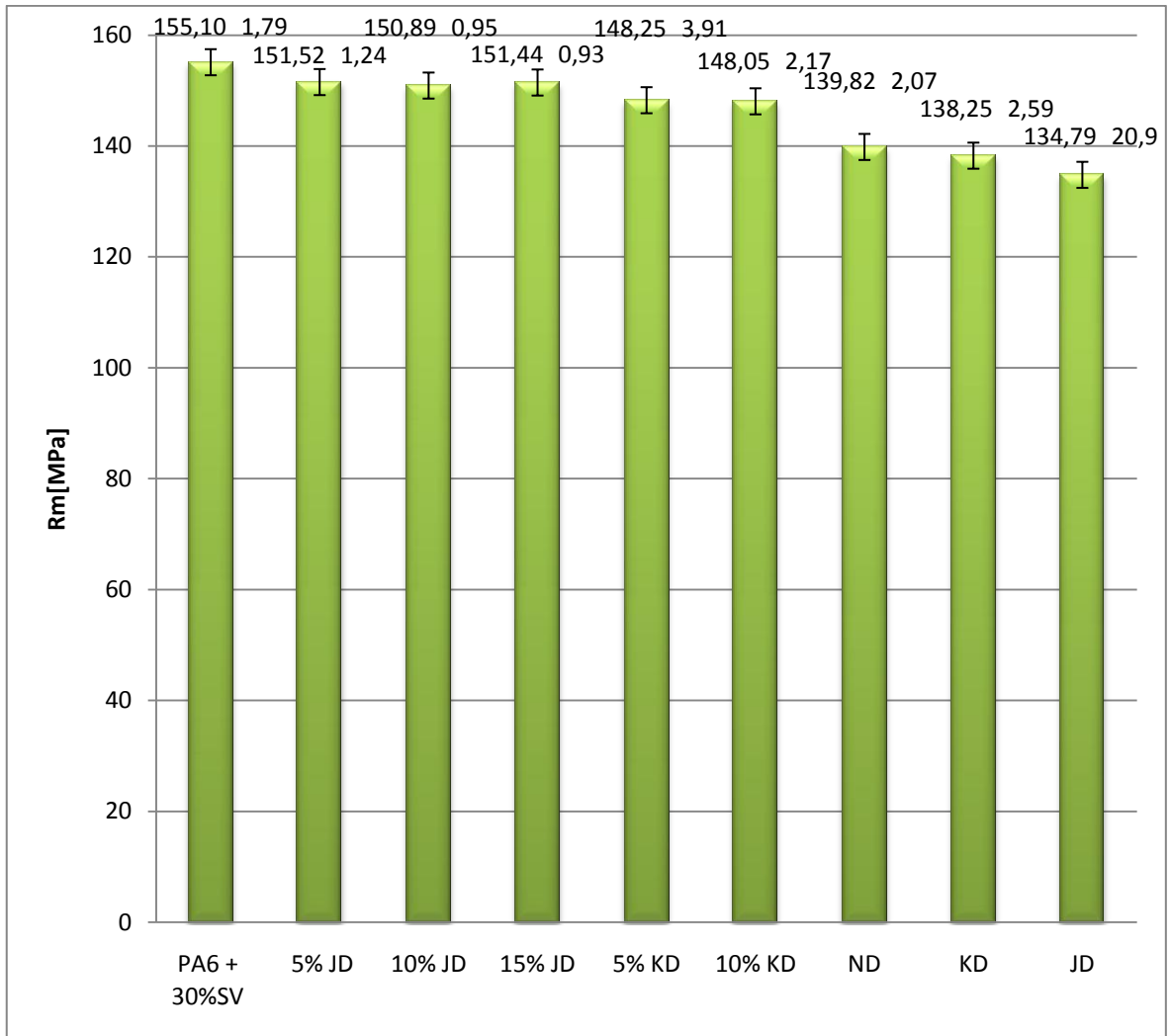
V následující kapitole zhodnotíme výsledky ohybové zkoušky jak pro modul pružnosti v ohybu tak pro mez pevnosti.

I zde je vidět, že jak u tahové tak i ohybové zkoušky mají špatné vlastnosti drtě. Opět nejhorší hodnoty vykazuje jemná drť a to o celých 13% oproti původnímu PA6 + 30%SV. Přísady (5 – 15%) mají relativně stejné hodnoty jak mezi sebou tak i u původního materiálu.

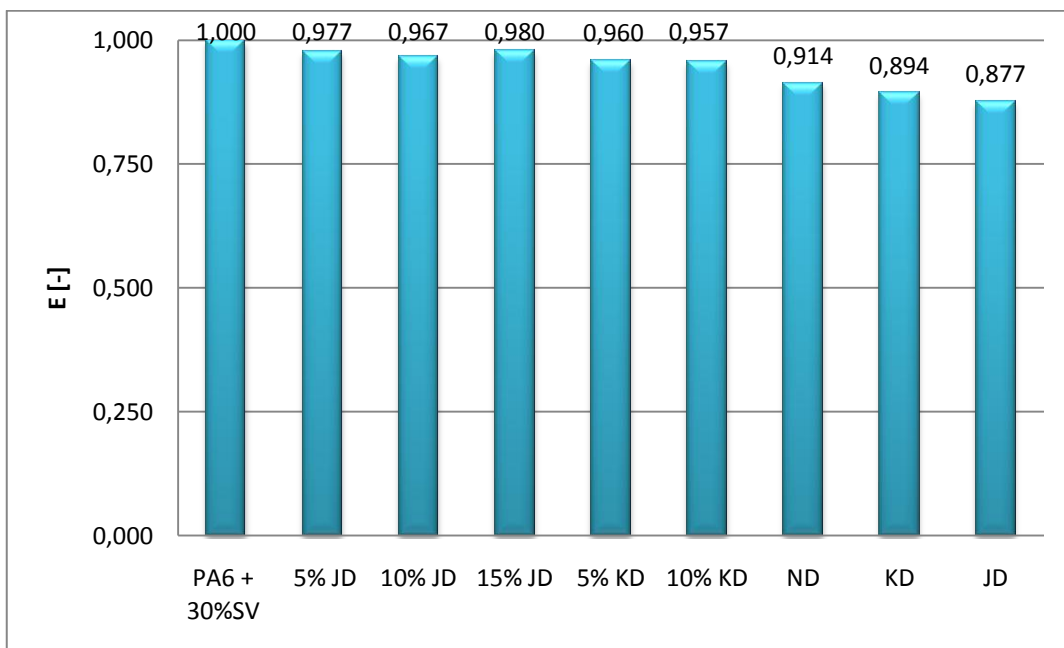


Obr. 34 Modul pružnosti v ohybu, 23°C

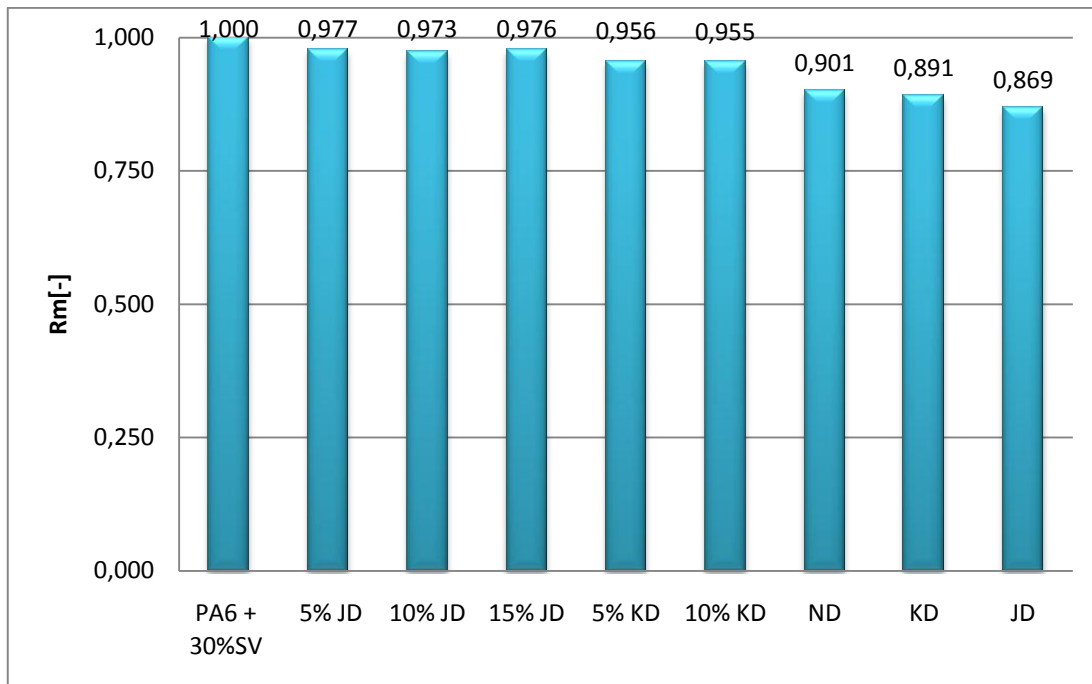
Pro modul pružnosti v ohybu je patrné, že při zadaných procentech a druhu příměsi jsou hodnoty přibližně stejné. Nejhorších výsledných hodnot je znova dosaženo u jemné drtě, kde opět k původnímu polymeru je rozdíl 13%. Obdobně to vychází i pro mez pevnosti v ohybu, kde přídavek 5 – 15% tříděné i netříděné drtě nemá na výslednou pevnost téměř žádný vliv. Jemná drť zase vykazuje nejnižší hodnoty a to o skoro 14%.



Obr. 35 Mez pevnosti v ohybu, 23°C



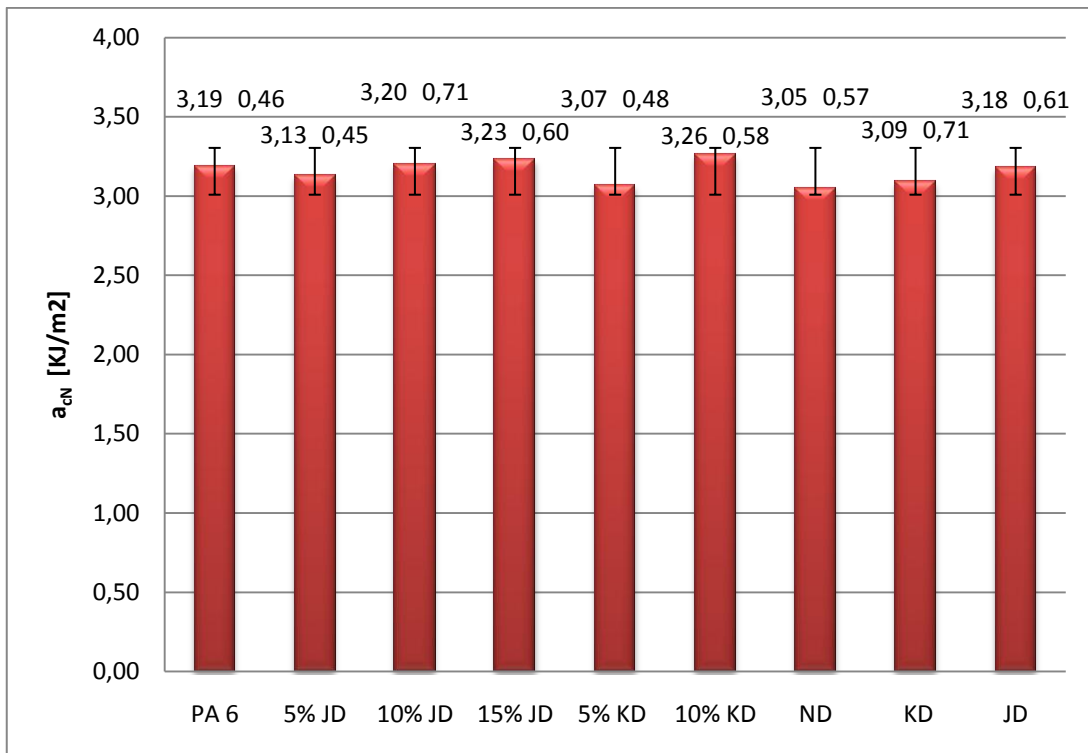
Obr. 36 Modul pružnosti v ohybu - porovnání PA6+30%SV s přísadami [%]



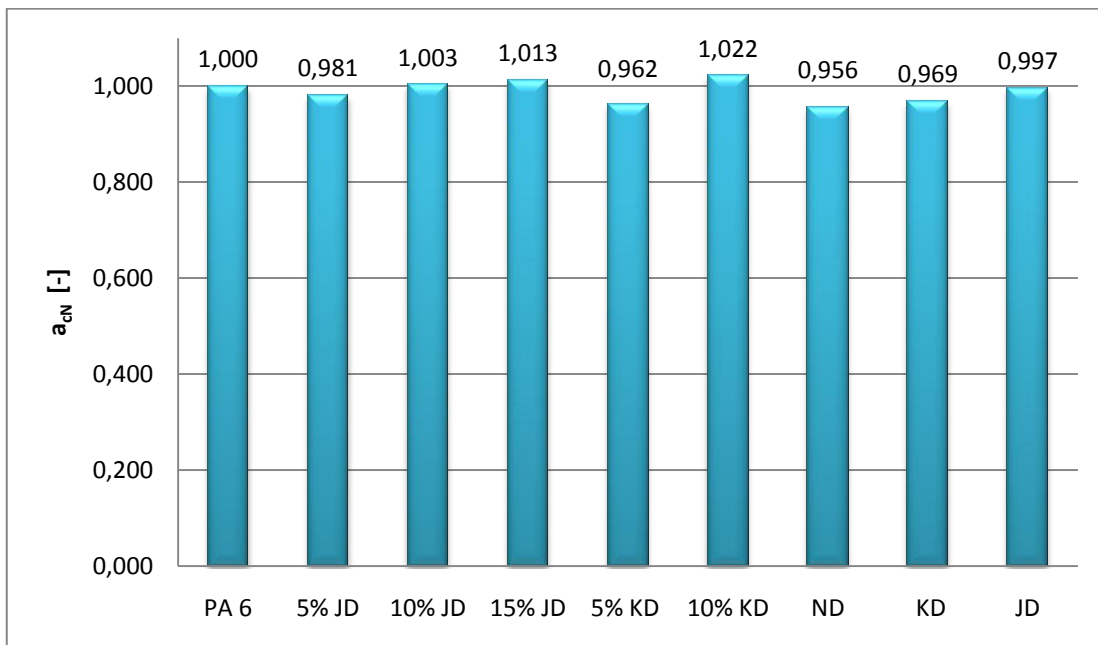
Obr. 37 Mez pevnosti v ohybu - porovnání PA6+30%SV s přísadami [%]

8.3 Diskuze výsledků zkoušky rázové houževnatosti

U rázové houževnatosti je vidět, že čím je přídavek směsi větší, tím se hodnoty houževnatosti zvětšují. Oproti původnímu polymeru se zvyšují hodnoty při přidání 10% a 15% drtě. Jinak jsou hodnoty přibližně stejné.



Obr. 38 Rázová houževnatost, 23°C



Obr. 39 Porovnání PA6+30%SV s přísadami [%]

ZÁVĚR

Náplní této bakalářské práce bylo zkoumání vlivu množství recyklátu na mechanické vlastnosti polyamidu 6 s 30% skelných vláken. Byla provedena tahová, ohybová a rázová zkouška pro různé procento příměsi recyklátu.

Z grafů v diskuzi je vidět, že recyklát ovlivňuje hodnoty jednotlivých zkoušek.

Přídavek tříděného a netříděného recyklátu do 15% nemá na sledované vlastnosti žádný vliv. Při zpracovávání samotného recyklátu se hodnoty lišily přibližně o 10%, přičemž nejhorší vlastnosti vykazoval recyklát ve formě jemné drtě (zde rozdíly dosahovaly až 14% oproti PA6 + 30%SV).

Proto přídavek 5 – 15% drtí lze používat při opětovné výrobě. Samotný recyklát nemá smysl užívat, neboť nedosahuje takových hodnot jako původní polymer.

Také je zbytečné třídění recyklátu podle velikosti zrn. A to z důvodu, že jemná drť nedosahuje zdaleka takových hodnot jako u přídavku drtě do polymeru či samotného PA6 + 30%SV.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RYBNÍKÁŘ, F. *Makromolekulární chemie I*, Brno VUT. 1987.
- [2] <http://www.ksp.tul.cz>
- [3] Ducháček V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [4] VANĚK, Vladimír, *MATERIÁLY A TECHNOLOGIE I : Plasty*. Ostrava : [s.n.], 2005. 63 s.
- [5] MLEZIVA, Josef,. *Polymery : výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1993. vyd. Praha: Sobotáles, 1993. 525 s. ISBN 80-901570-4-1.
- [6] <http://www.imaterialy.cz>
- [7] SCHATZ, M.; VONDRÁČEK, P. *Zkoušení polymerů*. VŠCHT Praha 1988.
- [8] <http://www.kajmak.cz>
- [9] <http://www.eppplasty.cz>
- [10] <http://www.schwakov.cz>
- [11] <http://www.fp.tul.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
PA	Polyamid
EP	Epoxidová pryskyřice
PF	Formaldehydové pryskyřice
POM	Polyoximethylen
PMMA	Polymethylmetakrylát
PBI	Polybenzenimid
PEI	Polyetherimid
PSU	Polysulfon
PPS	Polyfenylénsulfid
PTFE	Polytetrafluoretylén
PI	Polyimidy
-CONH-	polyamidová skupina
PU	Polyuretan
PET	Polyethylentereftalát
x_i	Hodnota měření
n	Počet měření
\bar{X}	Aritmetický průměr
s^2	Rozptyl
s	Směrodatná odchylka
σ	Střední kvadratická chyba aritmetického průměru
η	Průměrná chyba
T_m	Teplota tání [°C]

T_g	Teplota skelného přechodu [$^{\circ}\text{C}$]
b	Šířka vzorku [mm]
h	Výška vzorku [mm]
l	Délka vzorku [mm]
E	Modul pružnosti [$\text{MPa} = \text{N}/\text{mm}^2$]
F_{Max}	Maximální zatěžující síla [N]
F	Zatěžující síla [N]
R_m	Mez pevnosti [$\text{MPa} = \text{N}/\text{mm}^2$]
R_B	Mez pevnosti při přetržení [$\text{MPa} = \text{N}/\text{mm}^2$]
a_{cN}	Rázová houževnatost u těles s vrubem [kJ/m^2]
v	Rychlost kladiva [m/s]
E_J	Energie [J]
ϵ_{Rm}	Protažení při maximálním napětí [%]
ϵ_z	Protažení při přetržení [%]
ϵ_z	Protažení při přetržení [mm]
$\epsilon_{F\text{max}}$	Poměrná deformace při maximální síle [mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Amorfní struktura	13
Obr. 2 Krystalická struktura.....	13
Obr. 3 Lineární polymer	13
Obr. 4 Rozvětvený polymer.....	14
Obr. 5 Zesíťovaný polymer.....	14
Obr. 6 Iniclace.....	17
Obr. 7 Propagace.....	17
Obr. 8 Terminace	17
Obr. 9 Polyamid 66.....	21
Obr. 10 Ozubené kolo [9]	24
Obr. 11 Aromatický polyamid	24
Obr. 12 Separace plastů [10].....	27
Obr. 13 Granulát PA 6	29
Obr. 14 Deformační křivka semikrystalického termoplastu [2]	30
Obr. 15 Zkušební tělesa	35
Obr. 16 Zkušební tělesa z PA6 + 30%SV.....	36
Obr. 17 Vstřikovací stroj Arburg.....	37
Obr. 18 Univerzální zkušební stroj ZWICK 1456	38
Obr. 19 Tahová zkouška	39
Obr. 20 Graf tahové zkoušky pro modul pružnosti v tahu.....	42
Obr. 21 Graf tahové zkoušky pro mez pevnosti v tahu	43
Obr. 22 Trhací stroj ZWICK 1456 s čelistmi pro ohyb	44
Obr. 23 Ohybová zkouška	45
Obr. 24 Graf ohybové zkoušky pro modul pružnosti	48
Obr. 25 Graf ohybové zkoušky pro mez pevnosti	49
Obr. 26 Sharpyho kladivo (Resil Impactor junior).....	50
Obr. 27 Stroj na vrubování zkušebních těles	51
Obr. 28 Zkouška rázové houževnatosti.....	51
Obr. 29 Graf zkoušky rázové houževnatosti.....	54
Obr. 30 Modul pružnosti v tahu, 23°C.....	56
Obr. 31 Mez pevnosti v tahu, 23°C	57
Obr. 32 Modul pružnosti v tahu - porovnání PA6+30%SV s přísadami [%]	58

Obr. 33 Mez pevnosti v tahu - porovnání PA6+30%SV s přísadami [%].....	58
Obr. 34 Modul pružnosti v ohybu, 23°C	59
Obr. 35 Mez pevnosti v ohybu, 23°C	60
Obr. 36 Modul pružnosti v ohybu - porovnání PA6+30%SV s přísadami [%].....	60
Obr. 37 Mez pevnosti v ohybu - porovnání PA6+30%SV s přísadami [%].....	61
Obr. 38 Rázová houževnatost, 23°C.....	62
Obr. 39 Porovnání PA6+30%SV s přísadami [%].....	62

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vlastnosti PA 6 v suchém stavu [8].....	23
Tab. 2 Parametry nastavení stroje při vstřikování	37
Tab. 3 Parametry zkušebního stroje.....	38
Tab. 4 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV)	40
Tab. 5 Tahová zkouška (jemná drť).....	40
Tab. 6 Tahová zkouška (nekutrovaná drť)	40
Tab. 7 Tahová zkouška (kutrovaná drť)	40
Tab. 8 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV + 5% jemná drť.....	41
Tab. 9 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV + 10% jemná drť).....	41
Tab. 10 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV + 15% jemná drť).....	41
Tab. 11 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV + 5% kutrovaná drť)	41
Tab. 12 Tahová zkouška (PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť)	42
Tab. 13 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV)	46
Tab. 14 Ohybová zkouška (Jemná drť).....	46
Tab. 15 Ohybová zkouška (Nekutrovaná drť)	46
Tab. 16 Ohybová zkouška (Kutrovaná drť).....	46
Tab. 17 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV + 5% jemná drť).....	47
Tab. 18 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV + 10% jemná drť).....	47
Tab. 19 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV + 15% jemná drť).....	47
Tab. 20 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV + 5% kutrovaná drť)	47
Tab. 21 Ohybová zkouška (PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť)	48
Tab. 22 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV PA6)	52
Tab. 23 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV + 5% jemná drť 5%JD)	52
Tab. 24 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV + 10% jemná drť 10%JD)	52
Tab. 25 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV + 15% jemná drť 15%JD)	52
Tab. 26 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV + 5% kutrovaná drť 5%KD).....	52
Tab. 27 Zkouška rázové houževnatosti (PA6 + 30%SV + 10% kutrovaná drť 10%KD)	53
Tab. 28 Zkouška rázové houževnatosti (Nekutrovaná drť ND).....	53
Tab. 29 Zkouška rázové houževnatosti (Kutrovaná drť KD).....	53
Tab. 30 Zkouška rázové houževnatosti (Jemná drť JD).....	53

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY