

Vliv modifikace směsi PB a PP na výsledné mechanické vlastnosti

Bc. Alexander Švec

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Alexander ŠVEC**
Osobní číslo: **T100040**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Vliv modifikace směsi PB a PP na výsledné
mechanické vlastnosti**

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. David Maňas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

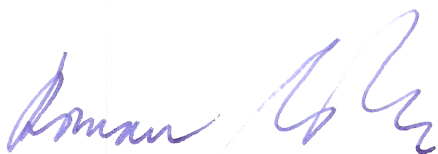
Datum zadání diplomové práce:

13. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2012

Ve Zlíně dne 2. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

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 užit 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 17. 5. 2012

.....

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 nevýdělečně 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

Cieľom tejto diplomovej práce je vyhodnotenie vplyvu modifikácie zmesí z polypropylénu a polybuténu na výsledné mechanické vlastnosti. Tieto zmesi boli tiež vystužené sklenenými vláknami a vystavené rôznym dávkam ionizačného beta žiarenia. Teoretická časť diplomovej práce obsahuje rozdelenie polymérov, vlastnosti a použitie polypropylénu a polybuténu. Ďalej sa práca zaoberá radiačným sieťovaním polymérov, polymérmí plnenými krátkymi vláknami a popisom najpoužívanejších mechanických skúšok. V praktickej časti sú popísané zariadenia na výrobu skúšobných telies a tiež skúšobné zariadenia použité na meranie ich mechanických vlastností. Ďalej nasleduje popísanie prípravy skúšobných teliesok a vlastností použitých materiálov na tieto telieska. V závere práce sú zobrazené a vyhodnotené namerané dáta z ťahovej skúšky a skúšky vrubovej húževnatosti.

Kľúčové slova: polymér, polypropylén, polybutén, radiačné sieťovanie, polyméri plnené krátkymi vláknami, ťahová skúška, skúška vrubovej húževnatosti, mechanické vlastnosti.

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is to evaluate modification effect of polypropylene and polybutene compound on mechanical properties. These compound were also reinforced with short-fiber and irradiated by ionizing beta radiation with wide spectrum of doses. Theoretic part of diploma thesis contains polymers categorization, properties and applications of polypropylene and polybutene. Furthermore, the theoretic part is dealing with radiation crosslinking of polymeres, short-fiber reinforced polymers and describing the most implement mechanical tests. Practical part discribes used equipments for production tested specimens and also equipment for mesurment of mechanical properties. Thesis continues with discribeing of preparation tested specimens and used materials for these specimens. The conclusion shows and evaluates the measured results from tensil test and test of impact value.

Keywords: polymer, polypropylene, polybutene, radiation crosslinking, short-fiber reinforced polymers, tensil test, test of impact value, mechanical properties.

Rád by som vyjadril vďaku v prvom rade môjmu vedúcemu práce Doc. Ing. Davidovi Maňasovi Ph.D. za odborné vedenie, poskytnuté rady a pripomienky. Ďalej by som chcel poďakovať svojim rodičom za podporu pri štúdiu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČASŤ	11
1 ZÁKLADNÉ ROZDELENIE POLYMÉROU	12
1.1 PLASTY	13
1.2 ELASTOMÉRY	13
1.3 ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI POLYMÉRU.....	13
1.3.1 Vlastnosti amorfných termoplastov	14
1.3.2 Vlastnosti semikryštalických termoplastov.....	14
2 POLYPROPYLÉN	15
2.1 TYPY POLYPROPYLÉNU	15
2.2 ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI POLYPROPYLÉNU	16
2.3 POUŽITIE POLYPROPYLÉNU	18
3 POLYBUTÉN	20
3.1 ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI POLYBUTÉNU	20
3.2 POUŽITIE POLYBUTÉNU	21
4 RADIAČNÉ SIEŤOVANIE	22
4.1 MERNÉ JEDNOTKY TECHNIKY OŽAROVANIA	23
4.2 MATERIÁLY PRE RADIAČNÉ SIEŤOVANIE	23
4.3 ZLEPŠENIE VLASTNOSTÍ RADIAČNE SIEŤOVANÝCH PLASTOV	24
5 POLYMÉRY PLNENÉ KRÁTKYMI VLÁKNAMI	26
5.1 POLYMÉRNA MATRICA	26
5.2 KRÁTKE VLÁKNA	26
5.2.1 Sklenené vlákna	27
6 MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYMÉROV	28
6.1 STATICKÉ SKÚŠKY.....	28
6.1.1 Skúška ťahom.....	28
6.1.2 Ohybová skúška	35
6.2 DYNAMICKÉ SKÚŠKY	37
6.2.1 Metoda Charpy.....	39
6.2.2 Metoda Izod	40
6.3 ÚNAVOVÉ SKÚŠKY	41
6.4 SKÚŠKY TVRDOSTI	41
II PRAKTICKÁ ČASŤ	44
7 STANOVENIE CIEĽU DIPLOMOVEJ PRÁCE	45
8 POUŽITÉ ZARIADENIA A STROJE	46

8.1	VSTREKOVACÍ STROJ ARBURG ALLROUNDER C420	46
8.2	SKÚŠOBNÝ STROJ ZWICK ROELL 1456	47
8.3	SKÚŠOBNÝ STROJ CAEST RESIL IMPACTOR JUNIOR	49
8.4	VRUBOVACÍ PRÍSTROJ NOTCHVIS CEAST	50
9	POUŽITÉ MATERIÁLY	51
9.1	POLYPROPYLÉN- V- PTS- CREALEN	51
9.1.1	PP neplnený	51
9.1.2	PP plnený 25% GF	51
9.2	SIETOVANIE ČINIDLO- TAIC_ TRIALLYLISOCYANULAT	52
9.3	POLYBUTÉN-1- PB 0110M_ BASELL POLYOLEFINS	52
10	VÝROBA SKÚŠOBNÝCH TELIES	53
10.1	VSTREKOVANIE SKÚŠOBNÝCH TELIES	53
10.2	TVAR A ROZMERY SKÚŠOBNÝCH TELIES	53
10.2.1	Skúšobné telesá pre skúšku ťahom	54
10.2.2	Skúšobné telesá pre skúšku vrubovej húževnatosti	54
10.3	SIETOVANIE SKÚŠOBNÝCH TELIES	54
11	ZOBRAZENIE NAMERANÝCH VYSLEDKOV MECHANICKÝCH SKÚŠOK	55
11.1	SKÚŠKA ŤAHOM	56
11.1.1	Namerané výsledky ožiarených a neožiarených neplnených zmesí PP a PB	56
11.1.2	Namerané výsledky ožiarených a neožiarených zmesí PP a PB plnenými 25% sklenenými vláknami	57
11.2	SKÚŠKA CHARPY	58
11.2.1	Namerané výsledky ožiarených a neožiarených neplnených zmesí PP a PB	58
11.2.2	Namerané výsledky ožiarených a neožiarených zmesí PP a PB plnenými 25% sklenenými vláknami	59
12	VYHODNOTENIE VÝSLEDKOU MECHANICKÝCH SKÚŠOK	60
12.1	VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV ŤAHOVEJ SKÚŠKY	60
12.1.1	Vyhodnotenie maximálnej pevnosti v ťahu	60
12.1.2	Vyhodnotenie modulu pružnosti v ťahu	63
12.2	VYHODNOTENIE SKÚŠKY CHARPY	65
12.2.1	Vyhodnotenie vrubovej húževnatosti	65
12.2.2	Vyhodnotenie práce spotrebovanej na prerazenie skúšobného telieska	68
	ZÁVER	71
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY	72
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A ZKRATIEK	73
	ZOZNAM OBRÁZKOV	74
	ZOZNAM TABULIEK	76

ÚVOD

Konstrukčné materiály mali vždy dôležité postavenie vo vývoji ľudskej spoločnosti. Rozvoj technických vied a výroby bol veľmi často limitovaný dostupnými materiálmi a technológiami ich spracovania, ktoré mali vedci a konštruktéri v jednotlivých odboroch k dispozícii. V súčasnosti existuje veľké množstvo rôznych materiálov. Nikdy predtým nebol vývoj nových druhov materiálov taký dynamický. Prudký vývoj zaznamenávajú aj polymérne materiály.

Vysokým objemom spotreby predstavujú dnes plasty a elastomery najvýznamnejší segment výroby spomedzi všetkých konštrukčných materiálov. V porovnaní s klasickými konštrukčnými materiálmi, predovšetkým s kovmi, sa polyméry presadili ľahkou spracovateľnosťou, nízkou hmotnosťou, výhodným pomerom vlastností a ceny. Vďaka tomu, že sa polymér nachádza pri spracovaní takmer v tekutom stave, dajú sa dosiahnuť výrobky najrôznejších komplikovaných tvarov. Pretože polyméry stále viac nahrádzajú ostatné materiály, rastú nároky na ich vlastnosti. Výskum a vývoj polymérov neustále pokračuje a postupne sa objavujú ich nové modifikácie a nové aplikácie.

Je potrebné neustále zdokonaľovať vlastnosti polymérov a nahrádzať nimi drahšie konštrukčné materiály.

Táto diplomová práca sa zaoberá vyhodnotením rôznych spôsobov zdokonaľovania vlastností polymérnych materiálov. Práca sa zaoberá vplyvom modifikácie zmesi viacerých polymérnych materiálov na ich mechanické vlastnosti. Skúma aj vplyv rôznych dávok ionizačného beta žiarenia na mechanické vlastnosti týchto zmesí. Toto žiarenie dodáva energiu, ktorá spôsobuje vytvorenie siete medzi jednotlivými reťazcami polymérneho materiálu. Tým sa zlepšujú jeho mechanické, chemické a tepelné vlastnosti. Súčasne práca skúma vplyv plnenia polymérnej zmesi krátkymi sklenenými vláknami. Polyméry plnené takýmito vláknami umožňujú vyrobiť výrobky, technológiami vstrekovania a vytlačovania, ktoré vykazujú vysoké hodnoty pevnosti v ťahu a modulu pružnosti.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 ZÁKLADNÉ ROZDELENIE POLYMÉROU

Polymér je látka s veľkými molekulami, ktorá obsahuje väčšinou atómy uhlíka, vodíka, kyslíka, často dusíka, chlóru a iných prvkov. V určitom štádiu spracovania sa polymér nachádza v kvapalnom stave, ktorý umožňuje určiť tvar budúceho výrobku pri zvýšenej teplote a tlaku. Výrobok slúži v tuhom stave. [10]

Polyméry možno rozdeliť podľa rôznych kritérií:

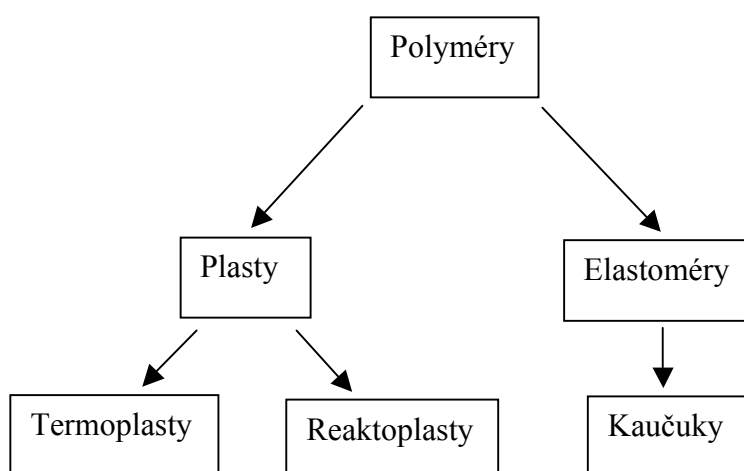
1. Rozdelenie podľa pôvodu

- Prírodné polymérne materiály- bielkoviny, celulóza, kaučuk, z ktorých možno vyrobiť technické polymérne materiály napr. guma, celuloid, celofán.
- Syntetické polymérne materiály- vznikli polymeračnými reakciami z nízkomolekulových organických i anorganických látok. Sú to napr. polyetylén, polypropylén, polystyrén a iné.

2. Rozdelenie podľa chemickej reakcie, ktorou vznikli

- polymeráty- vznikli polymeráciou
- polykondenzáty- vznikli polykondenzáciou
- polyadukty- vznikli polyadíciou [1]

3. Rozdelenie podľa elasticko-plastických vlastností



Obr. 1. Rozdelenie polymérov podľa elasticko-plastických vlastností. [10]

1.1 Plasty

Plasty sú za bežných podmienok tvrdé, často krehké. Pri zvýšených teplotách sa stávajú plastickými a tvarovateľnými.

- Termoplast- je plast vratne prevediteľný do plastického a ochladením opäť do tuhého stavu. Sú polydisperzné.
- Reaktoplast- je plast chemickou reakciou nevratne prevediteľný z plastického do tuhého stavu. Pri tvarovaní vplyvom teploty a tlaku nastáva zosieťovanie polyméru. V konečnej fáze spracovania sú reťazce priečne prepojené chemickými väzbami a tvoria priestorovú sieť.

1.2 Elastoméry

Elastoméry sú polyméry, ktoré môžeme za bežných podmienok malou silou značne deformovať bez porušenia, pričom deformácia je prevažne vratná.

- Kaučuk- je elastomér, ktorý sa po zmiešaní so sieťovacími činidlami a ďalšími látkami stáva gumou, ktorá je vulkanizáciou prevedená na pryž. Vulkanizácia gummy je proces, pri ktorom sa z termoplastickej gummy stáva netermoplastická pryž.

1.3 Základné vlastnosti polyméru

Vlastnosti polyméru udáva makromolekulárna teória, ktorá predpokladá:

- makromolekulárne reťazce môžu byť lineárne, rozvetvené alebo do priestorovej siete
- makromolekulárne reťazce nie sú tuhými útvarmi a naberajú rôzne geometrické usporiadania alebo rôzne konformácie, ktoré sú odlišné pre amorfné a kryštalické polyméry.

Vlastnosti polymérov sú závisia od:

- chemického zloženia polyméru
- fázového stavu, pričom polyméry existujú v stave kryštalickom a amorfnom. Fázové stavy polyméru sa pohybujú v teplotných rozmedziach:
 - teplota sklovitosti T_g - amorfný aj kryštalický polymér

- teplota topenia T_m - kryštalický polymér
 - teplota tečenia T_f - amorfny aj kryštalický polymér
- molekulovej hmotnosti: je najdôležitejšia vlastnosť, podľa ktorej sa makromolekulárne látky odlišujú od nízkomolekulárnych látok. Distribúcia molekulovej hmotnosti sa stanovuje štatisticky a vyjadruje sa distribučnou krivkou, čo je závislosť hmotnosti polyméru s danou veľkosťou makromolekuly na dĺžku makromolekulárneho reťazca alebo jeho molekulovej hmotnosti.

1.3.1 Vlastnosti amorfných termoplastov

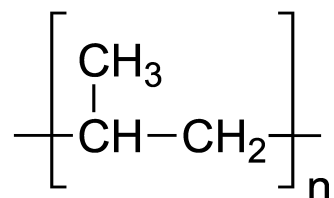
Sú tvrdé, krehké, majú vysokú pevnosť, sú dobre rozpustné v organických rozpúšťadlách a sú transparentné. Makromolekulárne reťazce sú nepravidelne priestorovo usporiadané.

1.3.2 Vlastnosti semikryštalických termoplastov

Sú húževnaté, pevnosť sa s rastúcou kryštalinitou zvyšuje, v organických rozpúšťadlách sa rozpúšťajú špatne alebo vôbec, sú mliečne zakalené až nepriehľadné. Veľká časť makromolekulárnych reťazcov je pravidelne a tesne usporiadaná a tvoria kryštalické útvary. [10]

2 POLYPROPYLÉN

Je polyolefín s chemickým názvom poly (1-metyletylén). Je termoplastický polymér používaný v mnohých technických aplikáciách ako sú automobilový priemysel, výroba potravinových obalov, výroba fólií, textílií, laboratórneho vybavenia a podobne. [5]



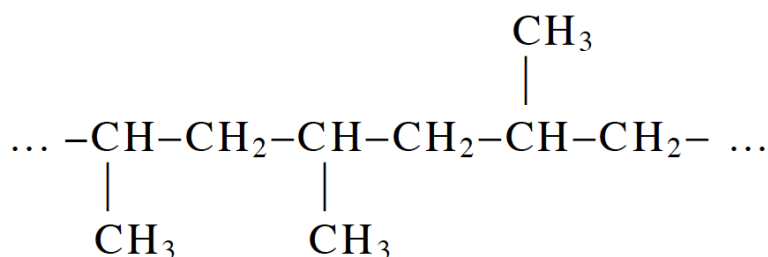
Obr. 2. Chemické zloženie polypropylénu.

[4]

2.1 Typy polypropylénu

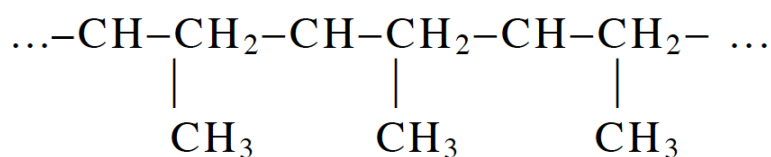
Polypropylén môže mať pozdĺž hlavného reťazca rôzne usporiadanie metylénových skupín. Podľa toho rozdeľujeme polypropylén na nasledujúce typy:

- Ataktický polypropylén- metylénové skupiny sú pozdĺž hlavného reťazca usporiadané náhodne.



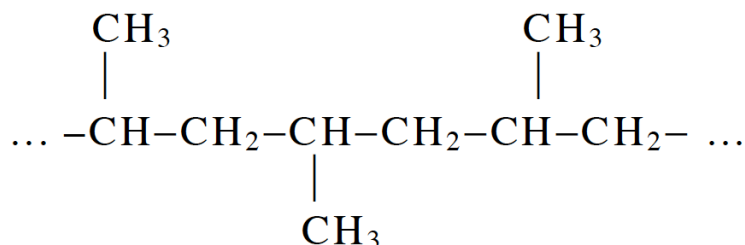
Obr. 3. Ataktický polypropylén. [1]

- Izotaktický polypropylén- bočné metylénové skupiny sú usporiadané po jednej strane pozdĺž hlavného reťazca.



Obr. 4. Izotaktický polypropylén. [1]

- Syndiotaktický polypropylén- bočné metylénové skupiny sa po oboch stranách hlavného reťazca striedajú pravidelne.



Obr. 5. Syndiotaktický polypropylén. [1]

- Stereoblokový polypropylén- má usporiadané reťazce tak že, sa v nich striedajú izotaktické a ataktické úseky. [1]

2.2 Základné vlastnosti polypropylénu

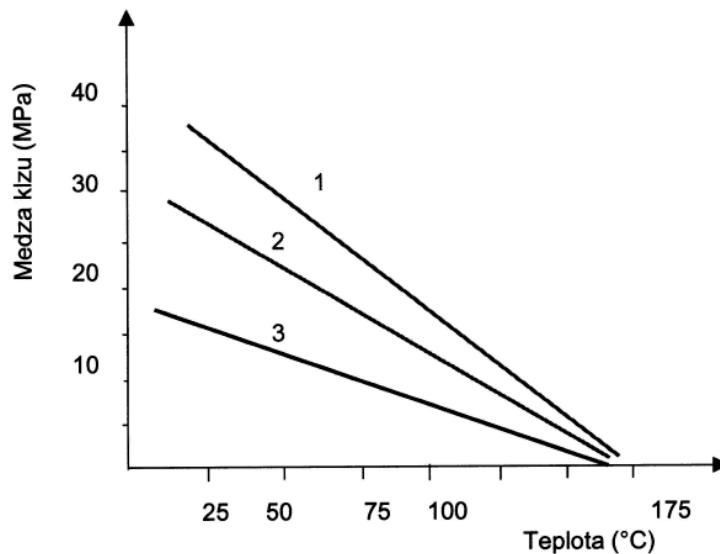
Fyzikálne vlastnosti polypropylénu závisia od polymeračného stupňa a distribúcie relatívnej molekulovej hmotnosti.

Tab. 1. Všeobecné vlastnosti polypropylénu. [1]

Merná hmotnosť [g/cm ³]	0,90 – 0,91
Pevnosť v ohybe [MPa]	43
Pevnosť v ťahu [MPa]	30
Ťažnosť [%]	700
Modul elasticity [MPa]	1 500
Tepelná odolnosť (Martens) [°C]	30 – 40
Tepelná odolnosť (Vicat) [°C]	80 – 90
Koeficient objemovej rozťažnosti (30 – 120°C) [1/°C]	4,8 – 6.10 ⁴
Koeficient tepelnej vodivosti pri 20 °C [kJ/m h °C]	1,10 - 1,17
Merné teplo pri 20 °C [kcal/kg °C]	0,4
Povrchový izolačný odpor [Ω]	5.1011
Merný vnútorný izolačný odpor [Ωcm]	1016 - 1018
Nasiakavosť (po 7 dňoch) [%]	0,1
Trvalá tepelná odolnosť [°C]	105

Očkovaním môžeme ovplyvniť vlastnosti polypropylénu ako je jeho farebnosť. Jeho hustota je 0,9 g/cm⁻³. Má vyššiu pevnosť, tvrdosť, tepelnú odolnosť ako vysokohustotný polyetylén. Jeho obsah kryštálov je 60 až 75 %. Pod teplotou -10°C je veľmi krehký čo je jeho veľká nevýhoda. Táto nevýhoda sa dá upraviť blokovou kopolymerizáciou s 10 % etylénu. Polypropylén je veľmi dobre zvariteľný avšak nie dobre lepitelný. Na obrázku

(Obr. 6) je naznačená závislosť medze klzu od teploty. Čiara 1 znázorňuje polypropylén, ktorý má stupeň kryštalinity 70 %, čiara 2 má 61% a čiara 3 má tento stupeň 48,5 %.



Obr. 6. Závislosť medze klzu PP rôznej kryštalinity od teploty. [1]

Syndiotaktický polypropylén prejavuje zvýšenú flexibilitu reťazcov, z čoho vyplýva ich ľahší pohyb v tavenine počas spracovania čo má za následok zvýšenie elasticity a ťahovej pevnosti fólií. Ataktický polypropylén nekryštalizuje do pravidelnej štruktúry a tak vzniká plast s nízkym stupňom kryštalinity. V takýchto polyméroch, sú obklopené pravidelné kryštalické oblasti neusporiadanými amorfnými oblasťami. Je húževnatý a flexibilný a preto sa používa na lepidlá citlivé na tlak.

Semikryštalické polyméry v porovnaní s amorfnými polymermi majú väčšiu chemickú odolnosť, sú pevnejšie, sú viac nepriehľadné a môžu byť používané pri vyšších teplotách. Na rozdiel, amorfné polyméry majú väčšiu húževnatosť a ťažnosť. Kryštalinita ovplyvňuje vo veľkej miere mechanické vlastnosti polypropylénu. Čím vyššia je kryštalinita, tým je väčšia pevnosť v ťahu a tuhosť, ale znižuje sa rázová húževnatosť. Vonkajším napätím môžeme počas kryštalizácie polyméru vyrovnáť reťazce v smere pôsobiaceho napätia. Orientácia reťazcov sa aplikuje pri výrobe fólií, vyfukovaných nádob a tiež pri vstrekaní. Mechanické vlastnosti taktiež ovplyvňuje orientácia napätia. Orientované materiály vykazujú väčšiu pevnosť ak sa namáhajú v smere toku, ale v priečnom smere majú horšie vlastnosti. Vyššia pevnosť v ťahu v smere toku je spôsobená kovalentnými väzbami medzi uhlíkovými atómami pozdĺž polymérneho reťazca. Avšak slabé intermolekulárne sily medzi polymérnymi reťazcami zapríčiňujú nízku pevnosť v kolmom,

či priečnom smere. Pri úplne orientovanom polypropylénovom reťazci môže byť medza pevnosti v smere toku až 16 GPa. Pre rázovú húževnosť platí v podstate to isté ako pre medzu pevnosti. Modul pružnosti, medza sklzu, modul v ohybe sa zvyšuje v smere toku so zvyšujúcou sa orientáciou.

Podľa požadovaných vlastností je polypropylén vyrábaný v rôznych formáciách. Pevnosť a tvrdosť vykazuje homopolymér avšak tiež nízku rázovú húževnosť pri nízkych teplotách. Kopolyméry polypropylénu sa skladajú z jedného alebo viac rôznych typov monomérov v reťazci. V automobilovom priemysle a v iných odvetviach, ktoré vyžadujú vyššiu rázovú húževnosť pri nižších teplotách sa používajú blokové kopolyméry. [1]

2.3 Použitie polypropylénu

Najväčšie využitie nachádza PP hlavne v automobilovom priemysle, kde sa používa na prvky pre interiéry, exteriéry ale aj na prvky v motorovom priestore. Má veľmi dobré vlastnosti aj po recyklácii. Vyrábajú sa z neho nárazníky automobilov, na ktoré sa prevažne používajú modifikované elastoméry, UV- stabilizovaný polypropylén, spevnený, nespevnený a napenený polypropylén. Rovnováhu medzi tvrdosťou a húževnosťou v nárazníku automobilu poskytuje elastomérom modifikovaný polypropylén. Nosníky nárazníkov sú vyrábané z homopolyméru polypropylénu vystuženého sklenenými vláknami. Tento materiál sa nazýva GMT (Glass Material reinforced Thermoplastic). Vlákná sú usporiadané v príslušnom smere za účelom dosiahnutia požadovaných vlastností. Použitím materiálu GMT sa dá ušetriť až 30- 40 % hmotnosti a 40 % nákladov výrobku namiesto použitia ocele. Ďalšie exteriérové prvky, ktoré sa vyrábajú z PP sú kryty spätných zrkadiel, bočné ochranné lišty, reflektory a mriežky. Medzi interiérové prvky automobilu vyrábané z polypropylénu patria kryty dverí, kryty klimatizácie a výstuže na prístrojové dosky. V súčasnosti sa nevyrába celá prístrojová doska z polypropylénu ale má trojvrstvú štruktúru, ktorá obsahuje sklom plnený polypropylénový nosník, polyuretánové napenené jadro a povrch je pokrytý PVC. Motorový priestor je najnáročnejší čo sa týka požiadaviek na materiál. Dielce sú vystavené teplotám od - 40°C do 140°C, vibráciám, chemickému pôsobeniu. PP sa používa na vane akumulátorov, zásobníky na kvapaliny, vrtule ventilátora, mriežky chladičov alebo kryty elektroniky. Materiály GMT nachádzajú uplatnenie v motorovom priestore na akumulátorové bloky a na motorovú ochranu.

Pre svoju veľmi dobrú odolnosť proti rozpúšťadlám, dobrú pevnosť v ťahu a tvrdosť sa používa polypropylén v medicíne. Má tiež dlhú ohybovú životnosť a nízku hustotu. Je ľahko tvarovateľný do komplexných tvarov, netoxický, chemicky inertný a odolný pri sterilizácii. Preto sa PP používa na výrobu medicínskych pomôcok ako sú systémy na dávkovanie liekov, obaly na medicínske prístroje, injekčné striekačky, vzorkovačov, skúmaviek na odstredivky, krytov ihiel a kontajnerov. Ďalej na formovacie misky kontaktných šošoviek, nádoby na použité ihly a detské napájacie hadice. Zo syndiotaktického polypropylénu sa vyrábajú vrecúška na krv a sterilné oblečenie.

Ďalšie použitie nachádza polypropylén pri výrobe častí spotrebičov ako sú hadice pre sušičky, výplne dverí pre umývačky riadu, skrinky, regále, ručné mixéry a fény. Z dôvodu znižovania nákladov pri výrobe pračiek a výplne chladničiek sa používa mastencom plnený polypropylén.

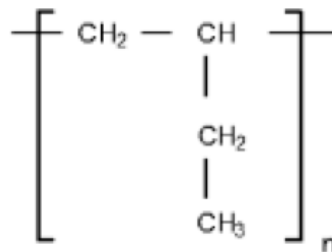
Čím ďalej tým viac nachádza polypropylén uplatnenie, pretože nahrádza drahšie termoplasty. Napríklad pri výrobe nádob na potraviny či fólií. [1]



Obr. 7. Nádoby na potraviny z polypropylénu. [7]

3 POLYBUTÉN

Je semikryštalický termoplast, ktorý taktiež patrí do skupiny polyolefínov. Firma SHELL ho vyrobila na začiatku 70. rokov. Od Roku 1987 sa tento materiál používa na rozvody pitnej vody. Jeho chemický názov je Poly-1-butén, pretože dvojitá väzba v molekule monoméru (1-buténu) vychádza z prvého uhlíkového atómu. Je to jeden s novších polymérov. Má mnohokrát väčšiu molekulovú hmotnosť ako PE-HD. Existuje v troch kryštalických formách. Nestabilná kryštalická forma vzniká ochladením taveniny a za bežnej teploty počas desiatich dní prejde samovoľne do formy stabilnej. Tretia forma vzniká kryštalizáciu z roztoku. [3], [1], [6]



Obr. 8. Chemické zloženie polybuténu. [6]

3.1 Základné vlastnosti polybuténu

Polybutén má minimálnu životnosť 50 rokov pri zaťažení 0,6MPa a pri teplote 95°C. Jeho vysoká molekulová hmotnosť je spolu s kryštalizáciou dôvodom veľkej odolnosti voči korózií a teplu, preto výrobky z polybuténu môžu mať menšiu hrúbku stien ako výrobky z polypropylénu. To vedie k úspore materiálu. Navyše vďaka tenkým stenám si materiál ponecháva svoju pružnosť. Pri izbovej teplote je húževnatejší než polypropylén. Má porovnateľnú chemickú odolnosť a elektroizolačné vlastnosti s ostatnými polyolefínmi. Najvýznamnejšia vlastnosť je jeho dlhodobá životnosť pri extrémnom namáhaní, keď sú plasty ako PP a PE nepoužiteľné. Taktiež je polybutén hygienicky nezávadný a má certifikát pre styk s pitnou vodou. Jeho hodnota teplotnej rozťažnosti patrí medzi najnižšiu spomedzi plastov. [3], [1]

Polybutén poskytuje nasledujúce vlastnosti:

- dlhá životnosť a rozmerová stálosť
- minimálne tečenie za tepla

- odolnosť proti horúcej vode
- odolnosť proti UV žiareniu
- vysoká pružnosť aj za nízkych teplôt
- nízku teplotu krehnutia
- vysoká rázová pevnosť a odolnosť proti oteru
- nízka hmotnosť a tepelná rozťažnosť
- hygienická nezávadnosť [3]

3.2 Použitie polybuténu

Používa sa predovšetkým na spracovanie trubiek a fólií. Predpokladá sa veľký nárast v jeho výrobe a spotrebe. Nachádza veľké využitie na rozvody pitnej, úžitkovej vody, kondenzátov, vyhrievacích médií, tlakového vzduchu a môžeme ho použiť taktiež v chemickom priemysle pre vyššie teploty, kde PP už nevyhovuje. [1], [3]



Obr. 9. Výrobky na rozvod médií z polybuténu. [3]

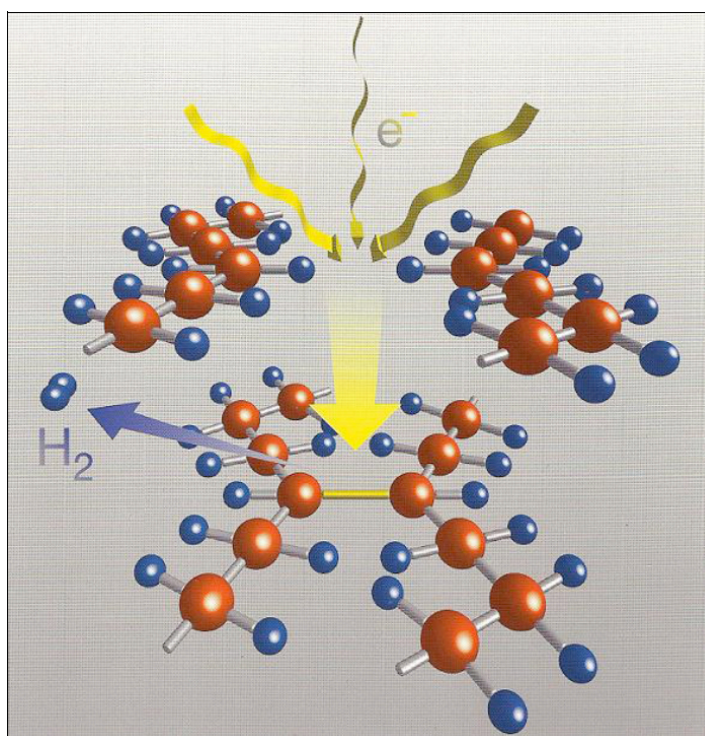


Obr. 10. Trubky z polybuténu. [7]

4 RADIČNÉ SIEŤOVANIE

Radiačné sieťovanie prebieha pri izbovej teplote bez ďalšieho namáhania výrobku. Je prevedené až po vstrekaní, vyfukovaní či vytlačovaní, čo sa dá považovať za veľkú výhodu, pretože zostávajú odpady po spracovaní nezosieťované a môžu byť znovu použité pri výrobe. Modifikáciou parametrov pri ožarovaní môžeme meniť stupeň zosieťovania, a tým aj výsledné vlastnosti materiálu.

Podstatou je, aby počas ionizačného žiarenia materiál sieťoval a nie degradoval. U niektorých polymérov je následne nevyhnutné pridať pomocné sieťovacie činidlá. Pri styku žiarenia s polymérom vznikajú polymérne radikály (rozpad väzieb C-H), ktoré vytvoria v reťazci sieť a to v spojení dvoch voľných radikálov medzi susednými reťazcami za vzniku väzby C-C.



Obr. 11. Schéma radičného sieťovania elektrónovým žiarením. [11]

Pre radičné sieťovanie sa používa žiarenie beta a gama. Tieto žiarenia na základe svojej energie iniciujú chemické procesy pri ktorých nevzniká žiadna rádioaktivita. Toto sieťovanie umožňuje vysokú variabilitu pri voľbe surovín, zlepšuje vlastnosti, má výrobné a ekonomické výhody. [11]

4.1 Merné jednotky techniky ožarovania

Požadované zmeny vlastností radiačného sieťovania udáva dávka ožarovania. Dávka ožarovania je množstvo absorbovanej energie žiarenia na mernú jednotku hmoty.

Jednotka intenzity žiarenia je Gray (Gy), pred tým používaná jednotka rad.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kg} = 100 \text{ rad}$$

Dávka intenzity žiarenia- energia žiarenia absorbovaná výrobkom za časovú jednotku a vzťahnutá k hmotnosti.

$$1 \text{ Gy/s} = 1 \text{ Watt/kg} = 0,36 \text{ Mrad/h}$$

Hĺbka prenikania žiarenia závisí na jeho energii. Jednotka energie je joule (J), predtým používaná ako (eV).

$$1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

Výkon zdroja rádioaktívneho žiarenia je určený jeho aktivitou. [11]

$$1 \text{ Becquerell (Bq)} = 1 \text{ rozpad/s}$$

4.2 Materiály pre radiačné sieťovanie

Pre výber vhodného materiálu sú rozhodujúce konečné vlastnosti výrobku. Radiačným sieťovaním možno zhotoviť výrobky s veľmi dobrými technologickými výhodami a s ekonomickým ziskom.

Niektoré polyméry vhodné pre radiačné sieťovanie:

Termoplasty:

- Polyolefíny:
 - CSM, chlorosulfonovaný polyetylén
 - EVA, kopolymér etylénu s vinylacetátom
 - CM, chlorovaný polyetylén
 - PP, polypropylén
- Polyestery:
 - PBT, polybutyléntereftalát

- Halogénové polyméry:
 - CSM, chlorosulfonovaný polyetylén
 - FPM, fluor kaučuk
 - PVC, polyvinylchlorid

Elastoméry:

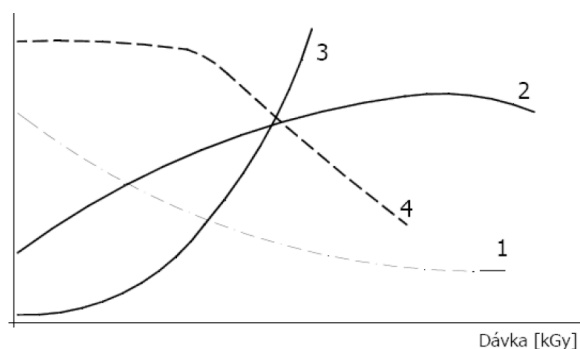
- ACM, polyakrilátový kaučuk
- BR, polybutadienový kaučuk
- NR, prírodný kaučuk
- SBR, butadien styrenový kaučuk

Termoplastické elastoméry:

- FPT, fluor kaučuk
- TPE-E, polyesterový kaučuk
- TP-O-, polyolefinický termoplastický elastomér [11]

4.3 Zlepšenie vlastností radiačne siet'ovaných plastov

Po radiačnom ožiarení niektorých termoplastov získavajú v širokých teplotných oblastiach vlastnosti elastoméru. Tie sa prejavia najmä v oblastiach nad teplotu topenia kryštálov. Termoplast vďaka ožiareniu odoláva vyšším teplotám a zlepšuje sa jeho tvarová stálosť.



1- ťažnosť, 2- pevnosť v ťahu, 3- tvarová stálosť za tepla, 4- botnanie

Obr. 12. Vlastnosti plastov v závislosti na dávke ožiarenia. [11]

Najčastejšie dochádza k zmenám mechanických, teplotných a chemických vlastností materiálu.

Mechanické vlastnosti:

- nárast Youngovho modulu pružnosti
- zvýšenie pevnosti
- zníženie ťažnosti
- redukcia studeného toku
- zlepšenie medze únavy
- nárast tvrdosti

Tepelných vlastností:

- zlepšenie tvarovej stálosti za tepla
- zvýšenie teplotnej odolnosti
- zvýšená odolnosť proti starnutiu

Chemické vlastnosti:

- znížená rozpustnosť
- zlepšenie odolnosti proti botnaniu
- zvýšená olejvzdornosť
- zvýšená odolnosť proti hydrolýze [11]

5 POLYMÉRY PLNENÉ KRÁTKYMI VLÁKNAMI

Materiály plnené krátkymi vláknami s termoplastickou matricou umožňujú vyrobiť technológiami vstrekovaním a vytlačovaním výrobky, ktorých hodnoty pevnosti v ťahu dosahujú až 260 MPa a hodnoty modulu pružnosti v ťahu až 30 GPa.

5.1 Polymérna matrica

Matrica má za úlohu vzájomne spojovať vystužujúce vlákna a prenášať do nej zaťaženie. Taktiež chráni vlákna pred vplyvmi okolia. Mala by mať preto dobré mechanické vlastnosti, adhéziu k výstuži, dobrú odolnosť voči okolitému prostrediu a mala by byť húževnatá. Polymérne matrice sú najdostupnejšie a rozdeľujú sa na termoplastické a reaktoplastické. Termoplast je pri väčšine prípadov húževnatejší než reaktoplast, medza sklzu pri teplote 20°C je menšia než 100 MPa a modul pružnosti sa pohybuje od 2 do 4 GPa.

Pri polotovaroach s termoplastickou matricou je doba výrobného cyklu kratšia než pri matriciach z reaktoplastov, ktoré je nutné tvrdiť. Na matricu sa používajú termoplasty ako napríklad PP, PE, PS, POM, PC, ABS a ďalšie. Medzi najpoužívanejšie z ekonomických a spracovateľských aspektov patria PP, PE a kopolymér EVA. [12]

5.2 Krátke vlákna

Vlákna sa nepoužívajú samostatne z dôvodu ich malého priemeru. Preto sa vkladajú do polymérnej matrice a spolu tak vytvárajú vláknové kompozity. Môžu byť sklenené, uhlíkové, polymérne, keramické a kovové. Polymérne matrice sa nevystužujú kovovými a keramickými vláknami, pretože majú väčšiu hustotu a zmenšovali by pevnosť a modul polyméru. Najpoužívanejšie sú sklenené vlákna, ktoré sú pomerne lacné a v západnej Európe sa pre plnené termoplasty spotrebovávajú približne 30% ich produkcie. Veľmi dobré vlastnosti majú polymérne vlákna. Veľkým prínosom je zníženie hmotnosti a bezproblémová recyklácia. Sú to prevažne uhlíkové, bórové a kevlarové (aramídové) vlákna. V porovnaní so sklenenými vláknami sú pružnejšie čo je dobre pre spracovanie.

Vlákna sú vždy pevnejšie ako materiál v kompaktnnej forme. Ich pevnosť rastie so zmenšujúcim sa priemerom, pretože sa zmenšujú prirodzené defekty. Najčastejšie sa vlákna vyrábajú s kruhovým prierezom o priemeroch od 7μm do 100μm.

Pre dosiahnutie požadovanej tuhosti a pevnosti polyméru plneného krátkymi vláknami je nutné zvolit' vhodný materiál vlákna a jeho objemový podiel. Ten sa vyjadruje objemovým zlomkom vlákna V_f , ktorý vyjadruje pomer objemu vlákna v_f k celkovému objemu plneného plastu v_c .

$$V_f = \frac{v_f}{v_c} \quad [-] \quad (1)$$

Niekedy je z technologického hľadiska výhodné udat' hmotnostný podiel vlákien v plaste. Medzi objemovým zlomkom V_f a hmotnostným zlomkom w_f platí vzťah (2).

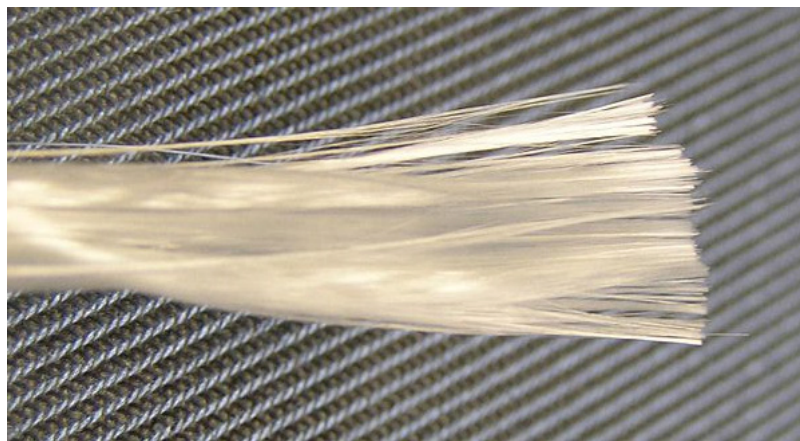
$$w_f = \frac{\rho_f}{\rho_c} \cdot V_f \quad [-] \quad (2)$$

ρ_f - hustota vákien, ρ_c - hustota matrice

Čo najvyšším podielom vlákien sa dá dosiahnuť vysoká pevnosť a modul pružnosti. [12]

5.2.1 Sklenené vlákna

Najčastejšie používané plnivo je sklo. Vyrábajú sa jedno alebo dvoj stupňovým kontinuálnym tiahnutím z taveniny. Súčasne sa zo 400 až 1200 trysiek odťahujú vlákna s priemerom od 9 do 16 μ m. Pri vystužení polymérov sklenenými vláknami, ktoré majú vysokú pevnosť v ťahu a modul pružnosti sa zvýši tuhosť a pevnosť v závislosti na stupni plnenia, dĺžke vlákien a ich orientácie pri zapracovaní. [12]



Obr. 13. Zväzok sklenených vlákien. [12]

6 MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYMÉROV

Na určenie mechanických vlastností sa používajú skúšky, ktoré sa delia podľa doby a spôsobu pôsobiacej sily na krátkodobé, dlhodobé a na jednorazové a cyklické. Sú to najčastejšie skúšky, ktorými sa zisťujú vlastnosti plastov. Podstata týchto skúšok pozostáva v pôsobení mechanickej sily na skúmaný materiál a vo vyhodnotení ako na tento materiál pôsobí táto sila. [1]

6.1 Statické skúšky

Podstata statických skúšok je v namáhaní materiálu pomaly sa meniacou silou, ktorá rastie rovnomerne. Pôsobenie tejto sily trvá do okamžiku poškodenia alebo deštrukcie skúšobného telesa. [8]

Krátkodobé mechanické skúšky sa delia podľa pôsobiacej sily na skúšky:

- v ťahu
- v ohybe
- v tlaku
- v šmyku

Pre polyméry sa nedajú určiť jednotne podmienky pri ktorých sa skúšky uskutočňujú, pretože sú veľmi variabilné v chemickom aj morfológickom zložení. Vyber podmienok sa určuje podľa materiálových noriem, alebo podľa uváženia operátora. Pri voľbe podmienok sa musí brať do úvahy spôsob namáhania počas jeho používania. Najčastejšie sa prevádza skúška ťahom. [1]

6.1.1 Skúška ťahom

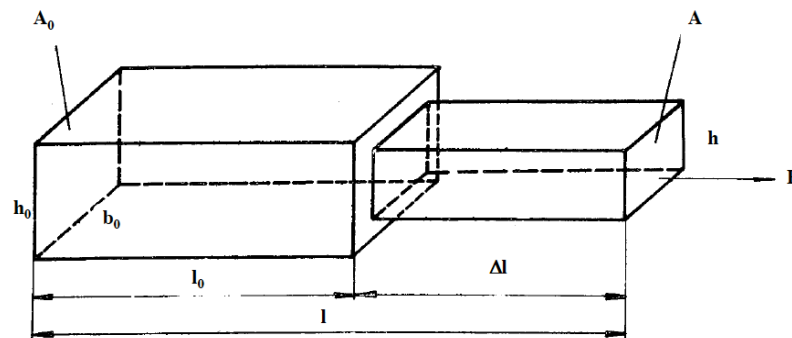
Princíp ťahovej skúšky spočíva v pôsobení ťahovou silou na skúšobné teleso až do jeho roztrhnutia. Pri celom priebehu skúšky sa sleduje pôsobiaca sila a deformácia. Parametre, ktoré sa pri skúške stanovujú:

- pevnosť
- predĺženie pri pretrhnutí
- moduly

Do čelusti stroja sa uchyťí skúšobné teleso a konštantnou rýchlosťou sa natáhuje. S rastúcou deformáciou skúšobného telesa rastie sila, ktorá posúva čeluste. Napätie v skúšobnom telese rastie s touto silou, čo vyjadruje rovnica (3):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3)$$

Táto rovnica vyjadruje, že napätie vo vzorku sa rovná sile vzťahnutej na jednotku prierezu vzorku. Ťahová krivka je závislosť napätia od veľkosti deformácie. Jej tvar závisí od typu skúšaného materiálu. Napríklad kaučuky vykazujú vysoké hodnoty deformácie pri malom napätí, zatiaľ čo plasty hlavne vysokokryštalické, majú pri malých predĺženiach vysoké napätie. Vplyvom deformačných zmien nastáva zmena prierezu skúšobného vzorku čo je problém pri výpočte a pri zostrojovaní ťahových kriviek. Zjednodušene, môžu zmeny v geometrii vzorku vyzerat' nasledovne.



Obr. 14. Zmena geometrie pri ťahovej skúške. [1]

Pri pôsobení sily, nastáva deformácia vzorku a teleso sa predĺži na dĺžku l . Hrúbka sa zníži na hodnotu h a šírka na dosiahne hodnoty b . Tým sa pôvodný prierez vzorku $A_0 = b_0 \cdot h_0$ zmení na prierez $A = b \cdot h$.

Relatívne predĺženie je potom vyjadrené rovnicou (4):

$$\varepsilon_l = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4)$$

Relatívne skrátenie šírky ε_a alebo hrúbky ε_h vzorku je určené rovnicou (5) a (6):

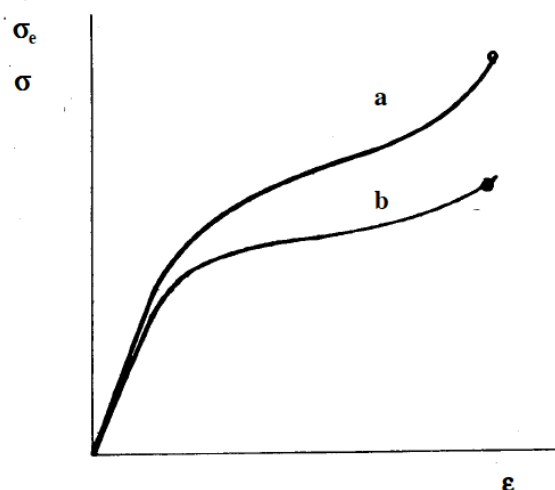
$$\varepsilon_a = \frac{\Delta b}{b_0} \quad (5)$$

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (6)$$

Poissonov pomer ν je vzťah medzi relatívnym predĺžením a skrútením, ktorý je vyjadrený rovnicou (7):

$$\nu = \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_l} = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_l} \quad (7)$$

Pri ťahovej skúške najčastejšie vyhodnocujeme relatívne predĺženie, ktoré je vyjadrené v percentách pôvodnej dĺžky pracovnej časti. Pri malých deformáciách sa dajú zmeny v priereze zanedbať, ale pri veľkých deformáciách dochádza k odchýlkam efektívneho napätia σ_e od zmluvného napätia σ . Rozdiel medzi týmito dvoma napätiami je, že pri zmluvnom napätí sa berie do úvahy prierez pred skúškou A_0 a pri efektívnom sa berie do úvahy skutočný prierez zodpovedajúci príslušnému stupňu deformácie. Rozdiel medzi týmito napätiami je v tvare ťahovej krivky zobrazený na nasledujúcom obrázku (Obr. 15).



a- krivka efektívneho napätia, b- krivka zmluvného napätia

Obr. 15. Priebeh ťahových kriviek. [1]

Zvyčajne sa berie do úvahy len pôvodný prierez, pretože snímanie okamžitého prierezu je veľmi ťažké, čo zvládnu len najmodernejšie prístroje. Na stanovenie Poissonovho pomeru teda využívame hrúbku vzorku, pretože meranie hrúbky je ľahšie zvládnuteľné. [1]

Z ťahových kriviek sa zvyčajne stanovuje pevnosť v ťahu, ťažnosť a Youngov modul. V lineárnej časti ťahovej krivky sa dá vyhodnotiť konštanta úmernosti medzi napätím a deformáciou. Táto konštanta sa nazýva Youngov modul pružnosti, ktorá sa označuje E a je definovaná Hookovým zákonom:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (8)$$

Modul pružnosti vyjadruje tuhosť materiálu. Čím je táto hodnota vyššia, tým je materiál tuhší a tým treba vynaložiť vyššie napätie na malé zmeny v predĺžení.

Geometria skúšobných telies je pre všetky typy polymérov takmer rovnaká.



Obr. 16. Typický tvar skúšobného telesa pre skúšku ťahom. [1]

Tvar a rozmery skúšobného telesa upravujeme podľa príslušnej normy. Pri testovaní niektorých plastov sa používajú na testovanie krúžky.

Prístroje na prevádzanie mechanickej ťahovej skúšky pozostávajú zo štyroch základných prvkov:

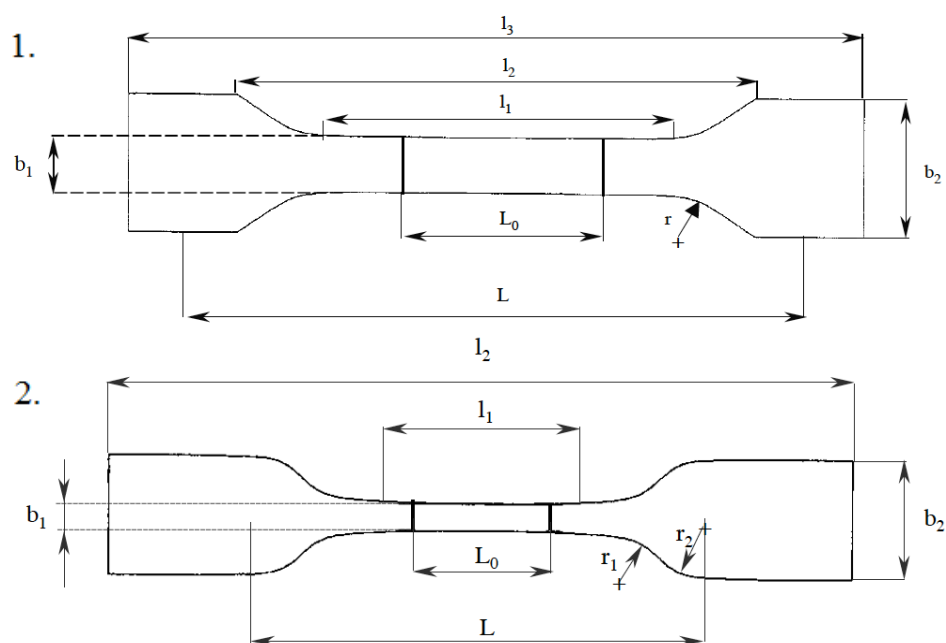
- úchytka na vzorku
- zdroj sily
- jednotka na meranie sily pôsobiacej na teleso
- jednotka pre meranie deformácie- predĺženia

Prístroje na ťahové skúšky sú v súčasnosti vybavené mikroprocesorom, alebo je celý merací systém napojený na riadiaci počítač. Výsledky ťahových skúšok sú v digitálnej forme, ktorá umožní ďalšie spracovanie týchto výsledkov priamo v riadiacom počítači. Špecifikácia pre prístroje, ktoré umožnia testovať plasty a kaučuky je v sústave noriem ISO 5893 Rubber and plastics test equipment, tensile, flexural or compression type (constant rate of traverse). Je nevyhnutné, aby dovolené zaťaženie meracej hlavy pre snímanie sily vyhovovalo svojim rozsahom pre skúšaný typ materiálu, čo u polymérov predstavuje rozsah približne od 500 N a pre kaučuky až do 25 kN. Rozsah rýchlosti posunu traverzy by mal byť od 0,1 mm/min až do 500 mm/min a tiež rozmery prístroja musia byť prispôbené charakteru testovaného materiálu, pretože predĺženie môže dosahovať až 1000 % pri kaučukoch. Navyše musia byť testovacie prístroje prispôbené na prevádzanie skúšky v klimatizačnej komore.

Ťahové skúšky plastov sú normatívne popísané v rozsiahlej norme ISO 527, ktorá sa skladá z niekoľko častí:

- STN ISO 527-1 - Plasty. Stanovenie ťahových vlastností. 1. časť: Všeobecné zásady
- STN ISO 527-2 - Plasty. Stanovenie ťahových vlastností. 2. časť: Skúšobne podmienky pre lisované a vytlačené plasty
- STN ISO 527-3 - Plasty. Stanovenie ťahových vlastností. 3. časť: Skúšobne podmienky pre fólie a dosky

V norme STN ISO 527-2 – je uvedených šesť typov skúšobných telies. Tvary dvoch najpoužívanejších typov sú uvedené na nasledujúcom obrázku (Obr.17).



Obr. 17. Tvary skúšobných telies typu 1 a 2 na skúšku ťahom podľa STN ISO 527-2. [1]

Tab. 2. Rozmery skúšobného telesa 1. typu.

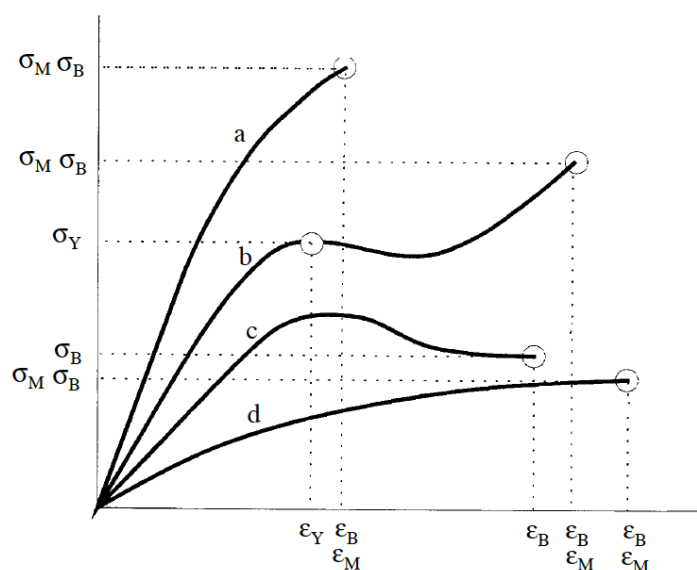
Rozmery 1. tvaru skúšobného telesa pre ťahovú skúšku			
celková dĺžka	$l_3 = 150\text{mm}$	šírka pracovnej časti	$b_1 = 10 \pm 0,5\text{mm}$
vzdialenosť značiek	$l_2 = 110 \pm 5\text{mm}$	šírka upínacej hlavy	$b_2 = 20 \pm 0,5\text{mm}$
dĺžka pracovnej časti	$l_1 = 80 \pm 0,5\text{mm}$	polomer zakrivenia	$r = 20\text{-}25\text{mm}$
merná dĺžka	$L_0 = 50 \pm 0,5\text{mm}$	hrúbka telesa	$h = 4 \pm 0,2\text{mm}$

Rýchlosť posunu čelusti pri skúške je podľa normy od 5 do 500 mm/min. Doporučené rýchlosti podľa normy STN ISO 527 s povolenými toleranciami uvedené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 3).

Tab. 3. Odporúčané rýchlosti pri ťahovej skúške podľa STN ISO 527-1. [1]

rýchlosť [mm/min]	tolerancia +/-[%]
1	20
2	20
5	20
10	20
20	10
50	10
100	10
200	10
500	10

Meranie modulu pružnosti sa odporúča rýchlosť 1 mm/min, pretože viskoelastické vlastnosti plastov sú časovo- tepelne závislé. Na meranie ťahových vlastností plastov sa odporúča rýchlosť 50 mm/min. Popis priebehu ťahových kriviek zahrňuje taktiež norma STN ISO 527 z dôvodu značnej rôznorodosti popisu týchto kriviek, ktorá vedie k nejasnostiam. Zavádza štandardné definície pre všetky testy plastov ťahom.



a- krehké materiály, b, c- húževnaté materiály s medzou klzu, d- húževnaté materiály bez medze klzu

Obr. 18. Ťahové krivky pre rôzne druhy materiálov. [1]

Podľa normy je potrebné na výpočet modulu pružnosti v ťahu rýchlosť posunu čelusti 1 mm/min a z ťahovej krivky sa odčíta napätie pri predĺžení 0,05 a 0,25 %. Počet telies na skúšku je minimálne päť a pri zvýšení počtu telies sa zvyšuje presnosť aritmetického

priemeru stanovených parametroch. Výsledky z ťahovej skúšky sa zaokrúhľujú nasledovne:

- napätie a modul pružnosti na 3 platné číslice
- predĺženie a Poissonov pomer na 2 platné číslice

Povolenie vylúčenia hodnoty zo súboru paralelných meraní je len z nasledujúcich dôvodov:

- ak sa teleso pretrhne mimo vyznačenej pracovnej časti
- v prípade obdĺžnikových telies, ak teleso preklzáva v čeľustiach
- ak dôjde k pretrhnutiu do 10 mm od čeľusti [1]

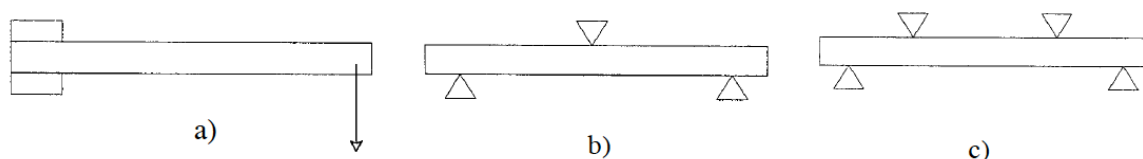
Tab. 4. Vysvetlenie základných pojmov ťahovej skúšky. [1]

originálny termín	slovenský preklad	význam
Gauge length	vzdialenosť medzi značkami, L_0 [mm]	počiatočná vzdialenosť medzi značkami v strede pracovnej časti
Speed of testing	skúšobná rýchlosť, v [mm/min]	rýchlosť vzdiaľovania sa čeľustí prístroja počas skúšky
Tensile stress	napätie v ťahu, σ , [MPa]	sila v ťahu vzťahnutá na jednotku plochy pôvodného prierezu v meracej oblasti, pôsobiaca na skúšobné teleso v ktoromkoľvek momente skúšky
Tensile stress at yield (yield stress)	napätie na medzi klzu, σ_y , [MPa]	prvá hodnota napätia, pri ktorom sa zvyšuje deformácia bez toho aby sa zvyšovalo napätie
Tensile stress at break	medza pevnosti v ťahu pri pretrhnutí, σ_B , [MPa]	napätie v ťahu pri ktorom nastáva porušenie skúšobného telesa
Tensile strength	medza pevnosti v ťahu, σ_M , [MPa]	maximálna hodnota pevnosti v ťahu, ktorá bola dosiahnutá na telese počas skúšky
Tensile stress at $x\%$ strain	napätie v ťahu pri $x\%$ deformácii, σ_x , [MPa]	napätie, pri ktorom deformácia v ťahu dosiahla hodnotu x vyjadrenú v %
Tensile strain	pomerné predĺženie ε , bez rozmeru, alebo [%]	predĺženie na jednotku pôvodnej dĺžky medzi značkami
Tensile strain at yield	pomerné predĺženie na medzi klzu ε_y , bez rozmeru, alebo [%]	pomerné predĺženie pri dosiahnutí medze klzu
Tensile strain at break	pomerné predĺženie pri pretrhnutí, ε_B , bez rozmeru, alebo [%]	pomerné predĺženie pri dosiahnutí medze pevnosti v ťahu pri pretrhnutí, ak krivka nevykazuje medzu klzu
Tensile strain at tensile strength	pomerné predĺženie na medzi pevnosti v ťahu pri pretrhnutí, ε_M , bez rozmeru, alebo [%]	pomerné predĺženie, zodpovedajúce medzi pevnosti v ťahu
Nominal tensile	menovité pomerné predĺženie ε_t	pomerné zväčšenie pôvodnej

strain	bez rozmeru, alebo [%]	vzdialenosti medzi čelust'ami
Nominal tensile strain at break	menovité pomerné predĺženie pri pretrhnutí, ε_{tB} , bez rozmeru, alebo [%]	pomerné zväčšenie pôvodnej vzdialenosti medzi čelust'ami pri dosiahnutí medze pevnosti v ťahu pri pretrhnutí, ak krivka nevykazuje medzu klzu
Nominal tensile strain at tensile strength	menovité pomerné predĺženie na medzi pevnosti v ťahu, ε_{tM} , bez rozmeru, alebo [%]	pomerné zväčšenie pôvodnej vzdialenosti medzi čelust'ami pri dosiahnutí medze pevnosti v ťahu
Modulus of elasticity in tension	modul pružnosti v ťahu, E_t [MPa]	podiel rozdielu napätí $\sigma_1 - \sigma_2$ a príslušného rozdielu deformácie $\varepsilon_{0,0025} - \varepsilon_{0,0005}$
Poisson's ratio	Poissonov pomer μ	záporná hodnota pomeru deformácie v jednom z dvoch smerov kolmých na smer ťahania a deformácie v smere ťahania, v lineárnej časti ťahovej krivky. μ_b - Poissonov pomer v smere šírky, μ_h - Poissonov pomer v smere hrúbky

6.1.2 Ohybová skúška

Pre plasty je veľmi bežné meranie modulu a pevnosti v ohybe. Ohybové skúšky sa neprevádzajú u gummy, pretože nie je dost' tuhá. V skúšobnom telese je napätie rozložené kontinuálne pri ohybovej skúške. Na vonkajšom ohybe je maximálna hodnota napätia v ťahu, ktoré postupne klesá, prechádza cez neutrálnu os, za ktorou narastá napätie v tlaku, ktoré dosahuje maximum na povrchu vnútornej strany ohybu skúšobného telesa. Uchytenie skúšobného telesa pri ohybovej skúške sa môže previesť tromi spôsobmi.



a) jednoduchá konzola, b) trojbodové usporiadanie, c) štvorbodové usporiadanie

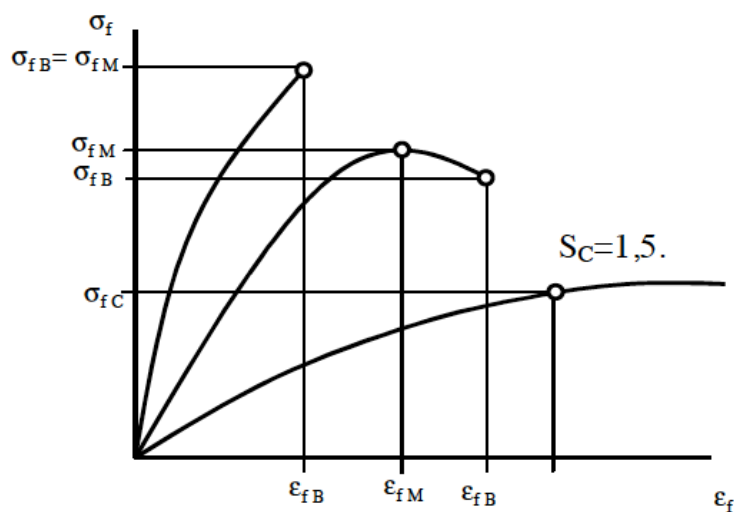
Obr. 19. Základné možnosti usporiadania pri skúške ohybom. [1]

Norma STN ISO 178 (Plasty, Stanovenie ohybových vlastností) pojednáva o skúške ohybom pre plasty. Z tejto normy sú vynechané penové a sendvičové materiály. V norme je prípustné len trojbodové usporiadanie.

Tab. 5. Základne pojmy pri skúške ohybom. [1]

<i>parameter</i>	<i>definícia</i>
napätie v ohybe σ_f , MPa	menovité napätie vonkajšieho povrchu telesa v strede dĺžky
pevnosť v ohybe pri porušení σ_{fB} , MPa	napätie v ohybe pri porušení skúšobného telesa
pevnosť v ohybe σ_{fM} , MPa	maximálne napätie v ohybe, ktoré sa dosiahne počas skúšky
napätie v ohybe pri dohodnutom priehybe σ_{fC} , MPa	napätie v ohybe pri priehybe, ktorý dosiahne dohodnutú hodnotu. Konvenčný priehyb je 1,5 násobok hrúbky skúšobného telesa (3,5% deformácia)
priehyb S, mm	vzdialenosť, o ktorú sa počas ohybu dolný alebo horný povrch skúšobného telesa odchyli od pôvodnej polohy
deformácia v ohybe ε_f , bez rozmeru, alebo %	zlomková zmena dĺžky elementu vonkajšieho povrchu telesa v strede jeho dĺžky
deformácia v ohybe pri porušení ε_{fB} , bez rozmeru, alebo %	deformácia v ohybe pri porušení skúšobného telesa
deformácia v ohybe pri pevnosti v ohybe ε_{fM} , bez rozmeru, alebo %	deformácia v ohybe v bode krivky, kedy sa dosiahne maximálna hodnota napätia v ohybe počas skúšky

Základné typy kriviek napätie- deformácia pri skúške ohybom.



Obr. 20. Typy kriviek pri ohybovej skúške. [1]

Skúšobné teleso má tvar pravouhlého hranola, ktorý má rozmery 80x10x4 mm. Môže byť použitý aj iný rozmer telesa ale musí byť dodržaný pomer dĺžky k hrúbke telesa $\frac{l}{h} = 20$.

Šírka sa určí pod typu testovaného materiálu. Pred skúškou sa zmeria hrúbka všetkých skúšobných telies v strede a vypočíta sa priemerná hrúbka \bar{h} . Vzďialenosť krajných oporných bodov sa nastaví podľa vzťahu (9).

$$L = 16 \cdot \bar{h} \quad (9)$$

Pre mäkké materiály možno zvýšiť tento pomer aby sa nev tlačili oporné body do telesa. Taktiež sa tento pomer sa zvyšuje pri laminátoch vystuženými vláknami aby nedošlo k delaminácii kompozitu. Naopak sa tento pomer znižuje pri veľmi tenkých telesách. Skúšobné teleso sa upne do čelusti a spustí sa pohyb stroja. Zväčša sa zadáva rýchlosť, ktorá poskytuje rýchlosť deformácie 1% za minútu. Výsledkom skúšky je krivka napätie-deformácia. Napätie v ohybe je zadané rovnicou (10) a deformácia v ohybe (11). [1]

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (10)$$

$$\varepsilon_F = \frac{6 \cdot h \cdot s}{L^2} \quad (11)$$

F- sila v [N], L- rozpätie oporných bodov, b- šírka skúšobného telesa, h- hrúbka skúšobného telesa, s- priehyb

6.2 Dynamické skúšky

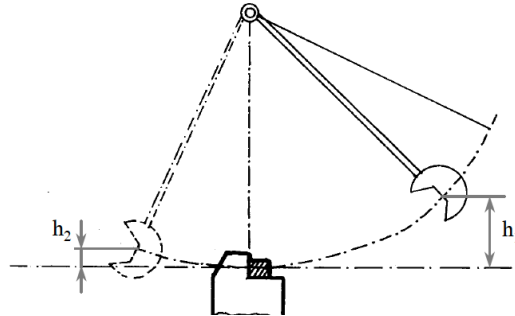
Dynamické skúšky spočívajú v menení pôsobiacej sily rázom alebo vo veľmi krátkych úsekoch. Pri niektorých skúškach pôsobí sila dlhodobo a jej veľkosť sa mení periodicky vo veľmi krátkej dobe. [8]

Pri skúške rázovej a vrubovej húževnatosti sa skúša odolnosť plastového materiálu voči nárazu. Mechanická odolnosť voči pôsobiacej sile závisí od rýchlosti pôsobenia sily. Pri skúškach, ktoré sa uskutočňujú pri malých rýchlostiach ako ťahová skúška, je polymérny materiál schopný pomerne veľkej deformácie, čo pohltí značnú časť energie. Pri zvyšovaní rýchlosti pôsobiacej sily sa nestačí energia v telese disipovať a teleso sa správa ako krehké. [1]

Rázová húževnatosť závisí na druhu polyméru a na teplote. Materiály, ktoré majú teplotu skelného prechodu vyššiu ako 20°C sú pri bežnej teplote krehké a ľahko praskajú pri rázovej skúške. Sú to amorfné plasty. Kryštalické, ktoré majú Tg nižšiu ako 20°C majú často vysokú húževnatosť a pri skúške vôbec neprasknú. Húževnatosť u nich klesá s rastúcou kryštalinitou. Pri skúške vrubovej húževnatosti dochádza v okolí vrubu ku koncentrácii napätia, čo spôsobuje z krehnutie. To má za následok porušenie aj húževnatejších materiálov, ktoré bez vrubu vôbec nepraskajú. [8]

Tieto skúšky sú popísané normou: STN ISO 179- Plasty. Stanovenie rázovej húževnatosti Charpyho metódou a STN ISO 180- Plasty. Stanovenie rázovej húževnatosti Izodovou

metódou. Princíp oboch metód je rovnaký, líšia sa medzi sebou len experimentálnym usporiadaním. Kyvadlové kladivo padá a získava energiu pre rázovú deformáciu skúšobného telesa uloženého v skúšobnom zariadení.



Obr. 21. Schéma experimentálneho usporiadania pri skúške. [1]

Energia padajúceho kladiva sa dá vyjadriť rovnicou:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{G}{2 \cdot g} \cdot v^2 \quad [N \cdot m] = [J] \quad (12)$$

v- okamžitá rýchlosť kladiva, G- hmotnosť kladiva, g- gravitačné zrýchlenie

V začiatkovej polohe je kladivo uchytené vo výške h_1 a má potenciálnu energiu:

$$E_p = m \cdot g \cdot h_1 \quad (13)$$

Po uvoľnení kladivo prechádza najnižšiu polohou, kde je skúšobne teleso. Časť energie sa spotrebuje pri rozrušení telesa a kladivo sa vychýli len do výšky h_2 . Pre celkovú spotrebovanú energiu platí:

$$W = G \cdot (h_1 - h_2) \quad (14)$$

Táto energia sa skladá z týchto zložiek:

$$W = W_i + W_p + W_z + W_k + W_h \quad (15)$$

W_i - práca potrebná na inicializáciu trhliny, W_p - práca spotrebovaná na šírenie (propagáciu) trhliny, W_z - práca potrebná na omrštenie odlomených častí, W_k - straty trením v ložiskách, vo vzduchu a vibráciami, W_h - práca potrebná na vynesenie kyvadla do výšky h_2

W_i a W_p charakterizuje húževnatosť materiálu. Môžeme zanedbať časť práce W_k , ktorá je pri skúškach takmer rovnaká a dokážeme eliminovať prácu W_z , následne celková práca sa

bude rovnať rozdielu potenciálnej energie kladiva pred skúškou a energie spotrebovanou na prácu W_h . [1]

Skúšobné telesá pre tieto skúšky sa môžu vyrábať lisovaním či vstrkováním podľa príslušnej normy (ISO 293, ISO 294, ISO 295 a ISO 2557-1 alebo -2) alebo sú vyrobené mechanickým obrábaním z dosiek, ktoré boli pripravené lisovaním alebo vstrekováním (ISO 2818). Rozmery skúšobných telies sú tiež normalizované a sú vyrábané vo viacerých veľkostiach. [13]

Tab. 6. Rozmery skúšobných telies podľa normy pre skúšku rázovej húževnatosti. [13]

Skúšobné teleso	Dĺžka l [mm]	Šírka b [mm]	Hrúbka h [mm]	Vzdialenosť Podpier [mm]
veľké	120	15	10	70
stredné	80	4	10	70
malé	50	6	4	40

6.2.1 Metoda Charpy

Pri tejto skúške je teleso uložené na dvoch podporách, ktoré prerazí uprostred otáčajúce kladivo. Podstatou tejto skúšky je stanovenie rázovej práce potrebnej k porušeniu telesa.

Rázová húževnosť je vyjadrená kinetickou energiou kyvadlového rázového kladiva, spotrebovaná na prerazenie telesa bez vrubu, vztiahnutá na pôvodnú plochu priečného rezu.

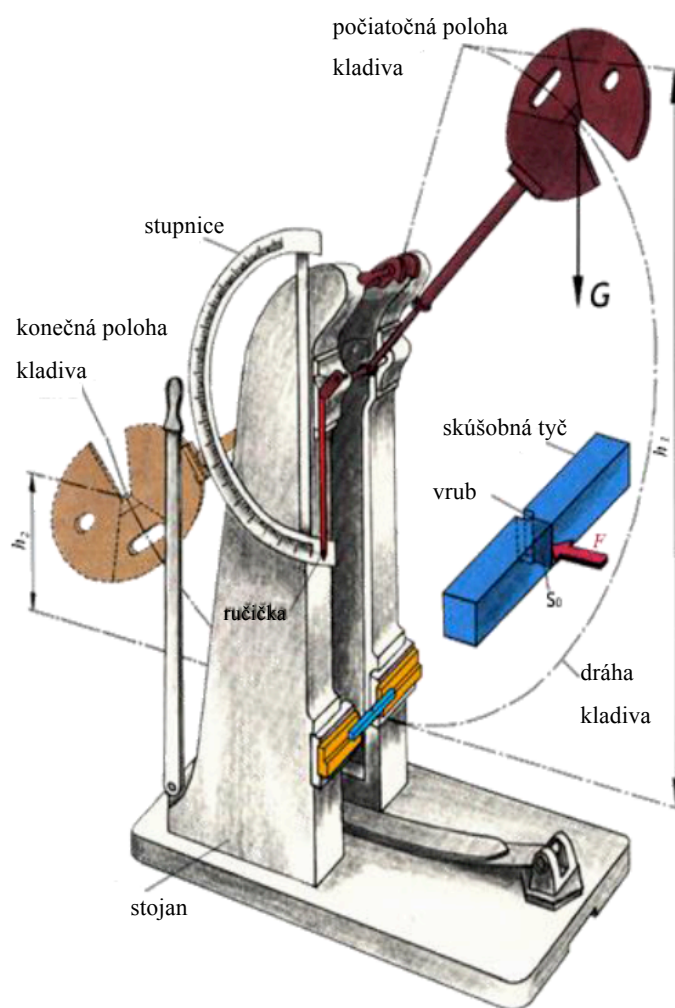
$$A_n = \frac{W}{b \cdot h} \quad [kJ / m^2] \quad (16)$$

W- spotrebovaná práca potrebná k prerazeniu telesa, b- šírka telesa, h- hrúbka skúšobného telesa

Skúšky vrubovej húževnatosti sa prevádzajú na telesách zoslabených vrubom rôznych tvarov. Na vrubovú húževnosť má vplyv tvar a hĺbka vrubu. Najvyššie hodnoty sa dosahujú pri telieskach s polkruhovým vrubom, nižšie hodnoty pri vruboch tvare U a najnižšie pri tvare V. [9]

$$A_n = \frac{W}{b \cdot h_k} \quad [kJ / m^2] \quad (17)$$

h_k - hrúbka skúšobného telesa v mieste vrubu



Obr. 22. Skúška Charpy. [9]

6.2.2 Metoda Izod

Pri tejto skúške sa skúšobné teleso na jednej strane upne a na druhej strane prerazí. Prerazí sa z rovnakej strany ako vrub. Po prerazení kladiva sa časť energie spotrebuje na jeho odmrštenie, pretože kladivu bráni odrazená polka telesa. To sa prejaví v nižších nameraných hodnotách. Preto sa prevedie ešte pokus s kyvadlom na ktorom je pripevnená prerazená časť skúšobného telesa. Rozdiel tejto hodnoty a hodnoty voľného kladiva sa odčíta od hodnoty, ktorá sa dosiahne pri prerazení telesa. [9]

$$A_n = \frac{W - (W_0 - W_z)}{b \cdot h_k} \quad [kJ/m^2] \quad (18)$$

W- práca nameraná na stupnici po prerazení telesa, W_0 - hodnota voľného kmitu, W_z - hodnota kmitu s prerazenou časťou

6.3 Únavové skúšky

Výrobky z polymérnych materiálov sú často v praxi vystavované dlhodobému pôsobeniu sily, ktorá môže mať pri relatívne nízkych hodnotách vplyv na zmeny v štruktúre materiálu napríklad studený tok alebo aj vplyv na zmeny celkových rozmerov výrobku. Pre plasty sú typické dva druhy skúšok- kríp a relaxačná skúška. Pri týchto skúškach sa skúma časová závislosť. Pri krípovej skúške sa skúšobne teleso zaťaží konštantnou silou a sleduje sa zmena deformácie v čase. Naopak, pri relaxačnej skúške sa teleso uvedie do stavu konštantnej deformácie a sleduje sa zmena napätia v čase. V sústave STN je zavedená len kríповá skúška.

STN 64 0621 (Skúšanie Plastov. Skúška tečenia pri namáhaní v ťahu.). Skúška spočíva v pozorovaní vplyvu dlhodobého statického zaťaženia na skúšobne teleso. Skúšobné telesá sú totožné s telesami pre ťahovú skúšku. Na túto skúšku sa používa prístroj, ktorý umožňuje zaťaženie skúšobného telesa stálou jednoosou ťahovou silou s chybou menej ako 1% a zároveň umožňuje merať zmeny v deformácii telesa. Po upnutí telesa do čelusti zariadenia sa plynulo zaťaží. Počas skúšky sa zaznamenáva zmena predĺženia v závislosti od času a sleduje sa vznik krčkov. Krčok je to zúžená oblasť na telese, ktoré vznikajú v dôsledku dlženia- studeného toku. Telesá sa vyradia zo skúšky, ak nie je možné určiť dobu vzniku krčkov lebo ak krčky vzniknú mimo pracovnej oblasti. Teplota, napätie a dĺžka trvania skúšky sa volia podľa skúšaného materiálu a podľa podmienok namáhania v reálnej aplikácii. [1]

6.4 Skúšky tvrdosti

Tvrdosť je odpor materiálu proti vniknutiu cudzieho, tvrdšieho telesa. Meranie tvrdosti polymérnych materiálov má odlišnosti oproti meraniu tvrdosti kovov, ktoré vykazujú typickú plastickú deformáciu. Polyméry, najmä kaučuky vykazujú značný podiel elastickej deformácie, preto nie sú vhodné tradičné metódy merania tvrdosti. Skúšky tvrdosti plastov sa nevyvinuli ako povrchové skúšky ale ako skúšky odporu celého objemu materiálu proti vtlačení telesa definovaného tvaru. Pri takejto úvahe je tvrdosť vyjadrením tuhosti materiálu. Tvrdosť sa stanovuje v prípadoch, kedy zloženie polymérnej zmesi umožňuje širokú variabilitu v elastickej chovaní napríklad mäčkene PVC a EVA kopolyméry. Tvrdosť teda charakterizuje poddajnosť materiálu voči tlaku na relatívne malej ploche a odolnosti voči vnikaniu predmetov s malým polomerom zakrivenia.

Spôsob stanovenia tvrdosti plastov:

- STN 64 0128 (Skúšky tuhých nekovových materiálov. Tvrdosť podľa Brinella.)

Táto metóda vychádza z princípu merania tvrdosti kovov. Tvrdosť posudzujeme na základe odporu materiálu voči vtlačaniu guľôčky. Pre meranie tvrdosti plastov sú zväčšené rozmery guľôčky a je znížená sila pri vtláčovaní oproti kovom. Tvrdosť podľa Brinella sa vypočíta:

$$H_B = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot h} \quad [MPa] \quad (19)$$

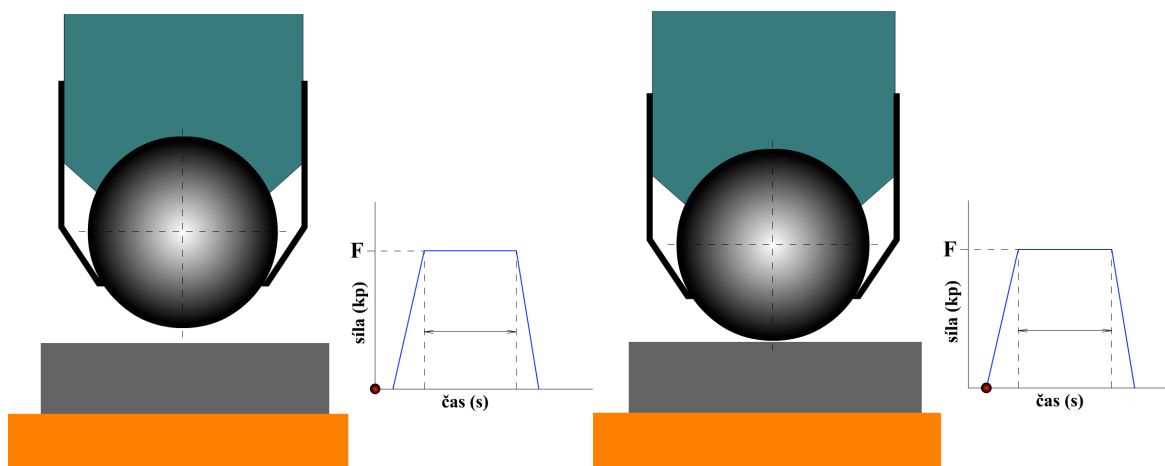
F- sila zaťaženia, A- plocha vtláčenej priehlbiny, D- priemer guľôčky, h- hĺbka vtláčenia

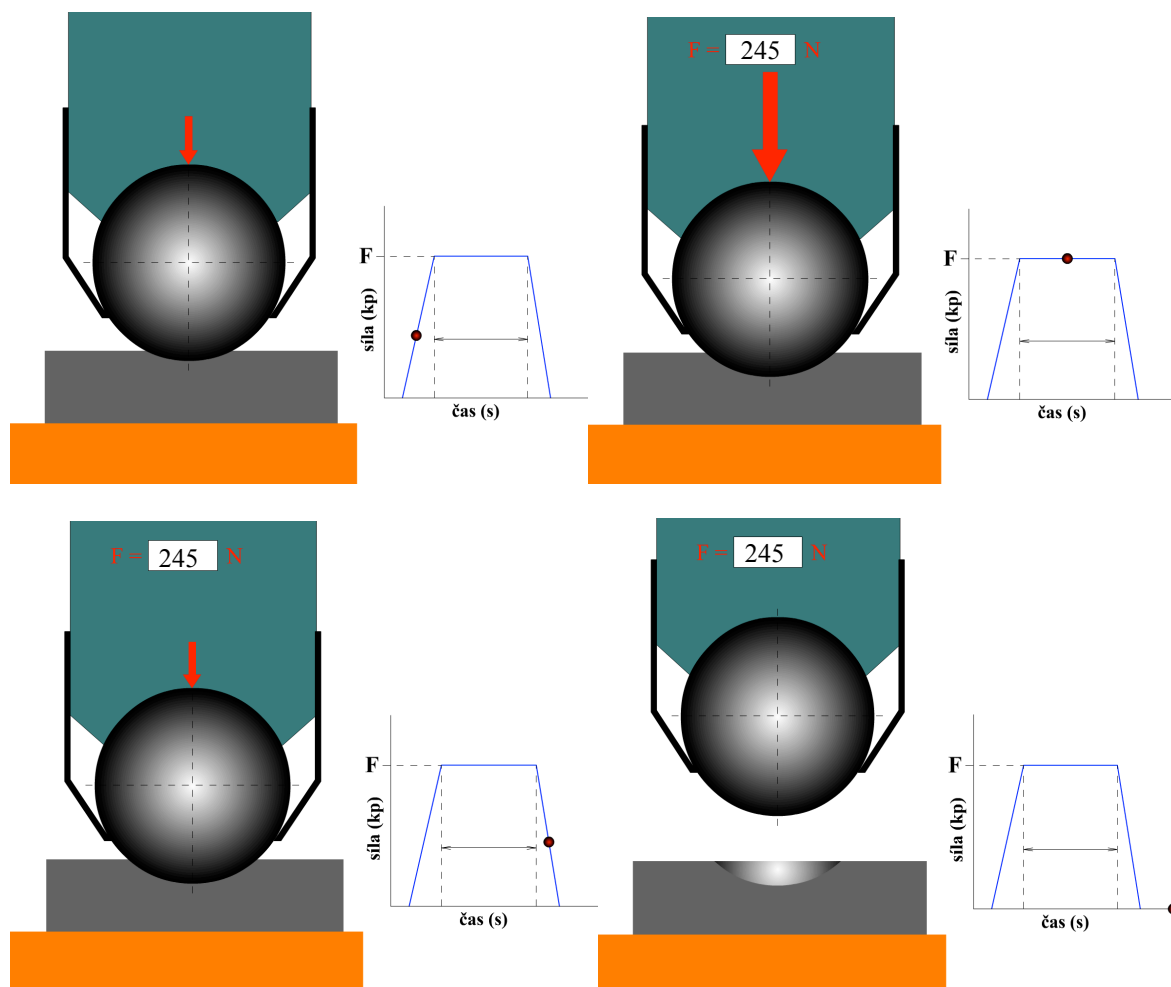
Premennou veličinou vo vzorci je hĺbka vtláčenia, ktorá sa meria na prístroji pomocou výškového indikátora. Skúšobne teleso sa vloží do prístroja a zaťaží príslušnou silou. Dochádza k postupnému vtláčovaniu guľôčky do telesa a hĺbka vtláčenia je indikovaná na výškovom indikátore, z ktorého sa dajú odčítať hodnoty v danom čase.

Tab. 7. Podmienky na skúšku tvrdosti podľa Brinella. [1]

Priemer guľičky	Sila
3 mm pre lamináty a termosety	49 N pre materiály s tvrdosťou do 200 MPa
5 mm pre väčšinu plastov	245 N pre tvrdšie materiály
10 mm pre mäkké PVC	

K výslednej hodnote tvrdosti sa uvádza priemer guľôčky v mm, použitá sila v N a doba pôsobenia sily. Rozmery skúšobného telesa majú mať minimálnu hrúbku 4 mm a šírku 15 mm. Skúška sa prevádza na piatich telesách a odčítava sa hodnota po 10 a 60 sekundách.





Obr. 23. Priebeh skúšky tvrdosti podľa Brinella. [2]

- STN ISO 868 (64 0129) Plasty a ebonit. Stanovenie tvrdosti tvrdomerom. (Tvrdosť podľa Shore). Táto stupnica je najpoužívanejšia pre stanovenie tvrdosti plastov. Trň tvrdomeru sa vtáča do povrchu skúšobného telesa a hĺbka vnorenia trňa do povrchu je priamo na tvrdomeri odčítaná v stupňoch Shore. Uvedená norma rozlišuje dve metódy merania, ktoré sa odlišujú v geometrii vtačovaného trnu. Skúšobné teliesko pri metóde Shore A má tvar kužela s uhlom 35° a priemerom plochej časti 0,79 mm. Stupnica je rovnaká ako stupnica IHRD a je v rozsahu od 0 do 100. Metóda Shore D je určená pre tvrdé plasty. Uhol vtačovaného trnu je 30° s veľmi jemným vrcholovým zakrivením. Skúšobné telesá pre tieto dve metódy majú predpísanú hrúbku 6mm aby meranie nebolo ovplyvnené podložkou. Meranie sa neprevádza bližšie k okraju telesa ako 12mm pre potlačenie okrajových efektov. [1]

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

7 STANOVENIE CIEĽU DIPLOMOVEJ PRÁCE

Hlavným cieľom tejto diplomovej práce je vyhodnotiť mechanické vlastnosti zadaných zmesí. Konkrétne sa jedná o zmesi:

- PP+25%PB- zmes polypropylénu a 25% polybuténu
- PP+50%PB- zmes polypropylénu a 50% polybuténu
- PP+25%PB_25%GF- zmes polypropylénu a 25% polybuténu plnená 25% sklenenými vláknami
- PP+50%PB_25%GF- zmes polypropylénu a 50% polybuténu plnená 25% sklenenými vláknami

Tieto zmesi obsahujú tiež určité percentá siet'ovacieho činidla, ktoré po ožiarení ionizačným žiarením umožní zosieťovanie jednotlivých materiálov.

Skúšobné telieska z takto modifikovaných zmesí sa budú vyrábať na vstrekovacom stroji ARBURG ALLROUNDER. Budú sa vstrekať telieska v tvare lopatky pre ťahovú skúšku a telieska v tvare tyčinky pre skúšku rázovej húževnatosti. Tri štvrtiny vyrobených teliesok pôjdu na ožiarenie ionizačným žiarením troma rôznymi dávkami do firmy BGS. Jedná sa o dávky 33kGy, 66kGy a 99kGy. Jedna štvrtina vyrobených teliesok zostane neožiarená.

Takto pripravené telieska budú podrobené meraniu mechanických vlastností na skúšobnom stroji ZWICK ROELL 1452, kde sa bude testovať výsledná pevnosť v ťahu zadaných zmesí. Na skúšobnom stroji CAEST RESIL IMPACOR JUNIOR sa bude zase skúšať vrubová húževnatosť týchto zmesí.

Namerané hodnoty budú vyhodnotené za účelom porovnať:

- vplyv modifikácie zmesí PP a PB na výsledné mechanické vlastnosti
- vplyv plnenia zmesi PP a PB sklenenými vláknami na výsledné mechanické vlastnosti
- vplyv ožiarenia zmesi PP a PB rôznymi dávkami ionizačného žiarenia na výsledné mechanické vlastnosti

8 POUŽITÉ ZARIADENIA A STROJE

Táto kapitola sa zaoberá popisom strojov a zariadení potrebných na výrobu skúšobných teliesok a na samotné prevedenie mechanických skúšok. Na výrobu skúšobných telies bol použitý vstrekovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C. Ťahová skúška bola prevedená na skúšobnom stroji ZWICK ROELL 1456 a skúška vrubovej húževnatosti bola prevedená na skúšobnom stroji CAEST RESIL IMPACTOR JUNIOR.

8.1 Vstrekovací stroj ARBURG ALLROUNDER C420

Skúšobné telesá boli vyrobené na vstrekovacom stroji Arburg Allrounder C420.

Skladá sa z nasledujúcich montážnych skupín:

- hydraulický pohon s hydromotorom
- rýchlopínacia spojka
- nerezová násypka pre plnenie granulátom
- modul komory s vyhrievaným plastikačným válcem, plastikačným šnekom a tryskou

Jednoduchá a bezpečná regulácia procesu vstrekovania je zabezpečená 32 bitovým multiprocesorovým riadiacim systémom SELOGICA. Je to veľmi univerzálny vstrekovací stroj, ktorý možno použiť napríklad aj na viackomponentné vstrekovanie.



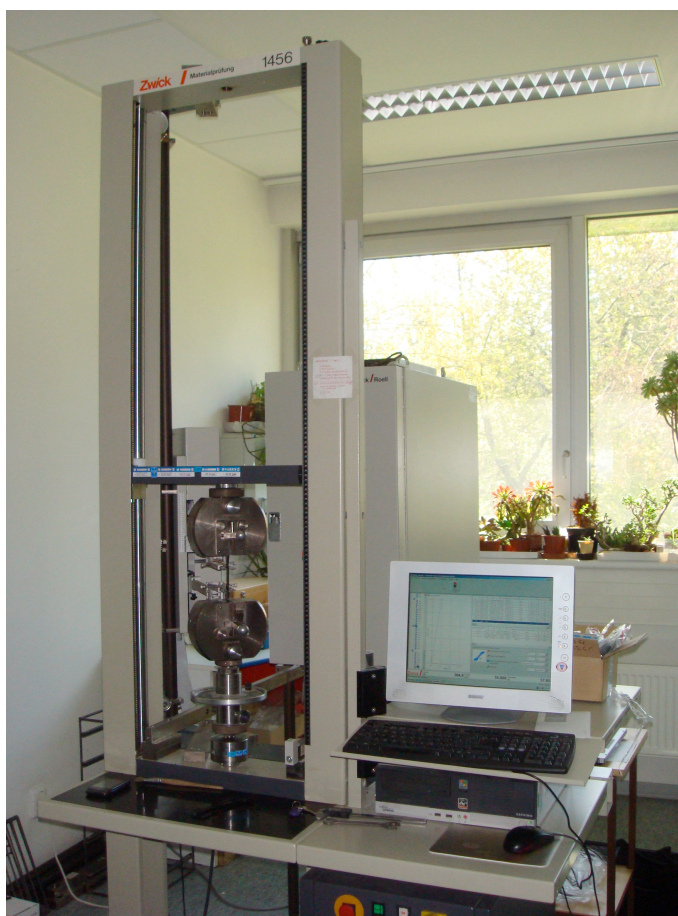
Obr. 24. Vstrekovací stroj Arburg Allrounder.

Tab. 8. Technické parametre vstrekovacieho stroja Arburg.

Typ stroja	Allrounder 420C	
Uzatváracia jednotka		
uzatváracia sila	1000	max. kN
otváracia sila/ zvýšená otváracia sila	35/ 250	max. kN
otvorenie	500	max. mm
vzdialenosť medzi vodiacimi stĺpmi	420x420	mm
veľkosť upínacej dosky (šírka x výška)	570x570	mm
vyhladzovacia sila	40	max. kN
zdvih vyhadzovača	175	max. mm
Hydraulika, pohon		
výkon čerpadla	22	kW
celkový príkon stroja	33,9	kW
Vstrekovacia jednotka		
priemer šneku	40	mm
pomer šneku	20	L/D
zdvih šneku	145	max. mm
objem dávky	182	max.cm ³
vstrekovací tlak	2120	max. bar
vstrekovacia rýchlosť (objemová)	168	max.cm ³ .s ⁻¹
spätný tlak pozitívny/ negatívny	350/ 160	max.bar
krútiaci moment šneku	700	max. Nm
prítlačná sila trysky	70	max. kN
objem násipky	50	l
Olejová náplň		
množstvo oleja	235	l
hmotnosť stroja bez oleja	3700	kg

8.2 Skúšobný stroj ZWICK ROELL 1456

Skúšobný stroj Zwick Roell 1456 bol použitý v tejto práci na prevedenie skúšky ťahom. Na tomto stoji sa však dajú prevádzať aj statické skúšky tlakom, ohybom a tiež cyklické skúšky so znižujúcim sa napätím. Tieto skúšky sa dajú prevádzať pri teplotách -80 až 250 C° pri použití teplotnej komory. K spracovaniu nameraných dát stroj využíva počítač s programom test Expert Master.



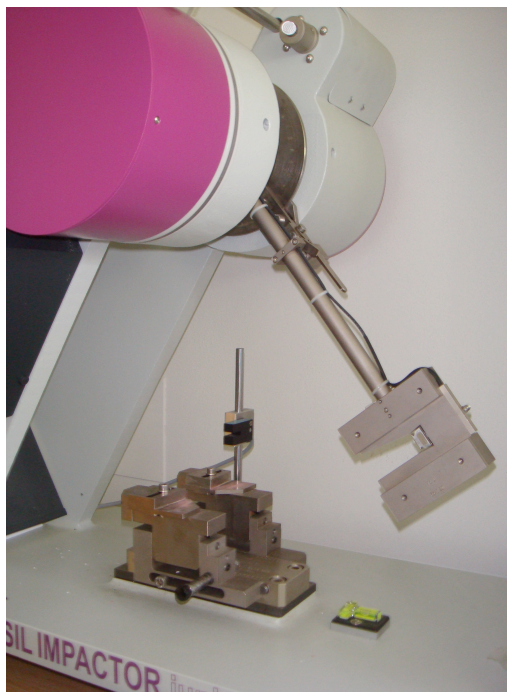
Obr. 25. Skúšobný stroj Zwick Roell 1456.

Tab. 9. Technické parametre skúšobného stroja Zwick Roell 1456.

Typ stroja	Zwick Roell 1456	
Rozmery stroja a hmotnosť		
strojová výška	1284	mm
celková výška	2012	mm
celková šírka	630	mm
šírka pracovného priestoru	420	mm
hmotnosť	150	kg
Dynamika stroja		
maximálna skúšobná sila	20	kN
maximálna rýchlosť posuvu priečniku	750	mm.min ⁻¹
Ostatné parametre		
extenzometry pre meranie pretiahnutia	macro	
	prídavný	
vyhodnocovací software	master- tah	
	standart- ohyb a tlak	
	štandardná hysterzná skúška	

8.3 Skúšobný stroj CAEST RESIL IMPACTOR JUNIOR

Skúšobný stroj Caest Resil Impactor Junior sa dá využiť na meranie rázovej a vrubovej húževnatosti materiálov. V tejto práci bolo zariadenie použité na meranie vrubovej húževnatosti.



Obr. 26. Skúšobný stroj Caest Resil Impactor Junior.

Tento skúšobný stroj využíva na spracovanie nameraných dát program DAS8WIN Extended Version.

Tab. 10. Technické parametre skúšobného stroja Caest Resil Impactor Junior.

Typ stroja	Caest Resil Impactor Junior	
Rozmery stroja		
rozмеры stroja(LxDxH)	900x500x800	mm
hmotnosť stroja	180	kg
dĺžka kladiva	0,375	m
hmotnosť kladiva	2,186	kg
počiatočný uhol vychýlenia kyvadla	50	°
Dynamika stroja		
nárazová energia	2,87	J
rýchlosť rázu	1,62	m/s

8.4 Vrubovací přístroj NOTCHVIS CEAST

Tento přístroj bol použitý na zhotovenie vrubu tvaru V veľkosti 2mm. Bol vyrobený mechanickým obrábaním podľa normy ISO 2818.



Obr. 27. Vrubovací přístroj Notchvis Ceast.

9 POUŽITÉ MATERIÁLY

Táto časť práce obsahuje popis vlastností materiálov, ktoré sú súčasťou testovaných zmesí.

Ich obchodné názvy sú:

- PP Granulatmix V- PTS- CREALEN- EP- 2300 L1 M800- na vstrekovanie neplnených zmesí
- PP Versuchsprodukt V- PTS- Crealen EP 8G 5HS M0083 PP Copo 25% GF- na vstrekovanie plnených zmesí
- PB 0110M BASELL POLYOLEFINS
- TAIC_triallylisocynulat- sieťovacie činidlo

9.1 Polypropylén- V- PTS- CREALEN

Tab. 11. Vlastnosti použitého polypropylénu.

Vlastnosti	Hodnoty	Jednotky
Fyzikálne vlastnosti		
Hustota	0,9	g/cm ³
Index toku taveniny (MFR)		
• (230°C/2.16kg)	6g/10min	
Tepelné vlastnosti		
Teplota topenia (DSC)	155	°C
Teplota pre spracovanie	200-240	°C
Teplota formy	20	°C

9.1.1 PP neplnený

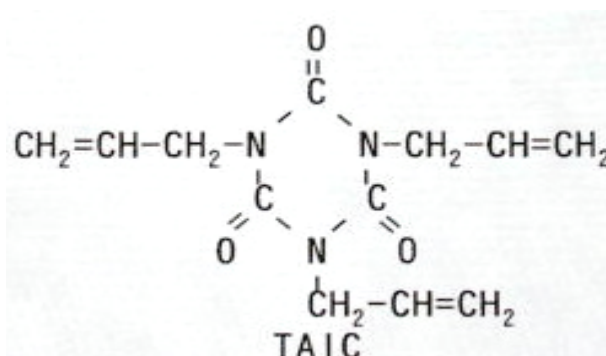
Doporučená dávka ožiarenia je medzi 10 a 99kGy. Po ožiarení má materiál pamäťový efekt, má veľkú odolnosť voči chemikáliám a dochádza k zlepšeniu mechanických vlastností.

9.1.2 PP plnený 25% GF

Pri spracovaní tohto materiálu je výhodnejšie pre lepšiu plastifikáciu zvýšený dynamický tlak. Je doporučený klesajúci teplotný profil od trysky k vstupnej násypke. Doporučená dávka ožiarenia je medzi 10 a 33kGy.

9.2 Siet'ovanie činidlo- TAIC_Triallylisocyanulat

Je to siet'ovacie činidlo, ktoré vo forme granuly bolo pridané do zmesi PP a PB. Jeho molárna hmotnosť je 249 g/mol a má 3 dvojné väzby v molekule.



Obr. 28. Chemická štruktúra monoméru TAIC.

Siet'ovacie činidlo umožní pri ožarovaní voľným radikálom polypropylénu a polybuténu, aby sa chemicky naviazali na siet'ovacie činidlo a tým sa vytvorí určitý stupeň kryštalizácie. Ten je závislý na dávke ožiarenia.

9.3 Polybutén-1- PB 0110M_BASELL POLYOLEFINS

Je to semikryštalický homopolymér, ktorý vyniká odolnosťou voči vonkajším vplyvom a zvýšenej teplote. Je vysoko kompatibilný s polypropylénom pretože majú podobnú molekulovú štruktúru.

Tab. 12. Vlastnosti použitého polypropylénu.

Vlastnosti	Hodnoty	Jednotky
Fyzikálne vlastnosti		
Hustota	0,914	g/cm ³
Index toku taveniny (MFR)		
• (190°C/10kg)	12g/10min	
• (190°C/2,16kg)	0,40g/10min	
Mechanické vlastnosti		
Napätie na medi klzu	19,5	MPa
Medza pevnosti v ťahu pri	35	MPa
Modul pružnosti v ťahu	450	MPa
Tepelné vlastnosti		
Teplota topenia (DSC)	117	°C

10 VÝROBA SKÚŠOBNÝCH TELIES

Skúšobne telesá boli vyrobené v dielňach Ústavu výrobného inžinierstva na vstrekovacom stroji Arburg Allrounder 420C, ktorého parametre sú popísané v predchádzajúcej kapitole. Skúšobné telesá boli pre ťahovú skúšku a pre skúšku vrubovej húževnatosti vyrábané zo zmesí PP+25%PB, PP+50%PB, PP+25%PB_25%GF, PP+50%PB_25%GF. Takto vystreknuté skúšobné vzorky obsahovali tiež siet'ovacie činidlo TAIC, ktoré umožnilo týmto zmesiam zosiet'ovanie, po ožiarení ionizačným žiarením.

10.1 Vstrekovanie skúšobných telies

Vstrekovanie skúšobných telies prebehlo v jednonásobnej forme s dutinou tvaru lopatky a tyčinky. Parametre vstrekovacieho cyklu sú znázornené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 13).

Tab. 13. Parametre vstrkovania pre plnené a neplnené zmesi.

Arburg Allrounder 420C			
Parametre	Neplnené zmesi	Plnené zmesi	Jednotky
vstrekovacia rýchlosť	60	60	mm.s ⁻¹
vstrekovací tlak	80	80	MPa
doba vstrekovania	0,4	0,4	s
doba chladenia	35	35	s
teplota formy	40	40	°C
dráha dávkovania	39	39	mm
tlak pri prepnutí	72	72	MPa
bod prepnutia	16	16	mm
uzatváracia sila	950	950	kN
celkový čas dotlaku	10	10	s
doba cyklu	56,1	56,1	s
Teploty pásiem plastifikačnej jednotky			
teplota pod násypkou	40	40	°C
teplotné pásmo 2	205	205	°C
teplotné pásmo 3	220	220	°C
teplotné pásmo 4	230	230	°C
teplotné pásmo 5	240	240	°C
teplota trysky	250	250	°C

10.2 Tvar a rozmery skúšobných telies

Boli vstrekované skúšobné telesá dvoch tvarov. Na ťahovú skúšku boli vyrábané vzorky tvaru lopatky a na skúšku vrubovej húževnatosti vzorky v tvare tyčinky.

10.2.1 Skúšobné telesá pre skúšku ťahom

Vzorok pre ťahovú skúšku mali normalizovaný tvar a rozmery podľa normy STN ISO 527-2, ktorá je popísaná v kapitole 6.1.1. Vzorok mali tvar lopatky a k nej príslušné rozmery. Smerodajné rozmery prierezu pracovnej časti telieska, ktoré boli 10x4mm.



Obr. 29. Skúšobné teleso pre ťahovú skúšku.

10.2.2 Skúšobné telesá pre skúšku vrubovej húževnatosti

Skúšobné telesá pre túto skúšku mali tvar tyčinky. Boli upravené vytvorením vrubu v tvare V s roztvorením 45° a hĺbkou 2mm na stroji Notchvis Ceast. Rozmery a tvar telesa sú normalizované.

Tab. 14. Rozmery skúšobného telesa pre skúšku Charpy.

Skúšobné teleso	Dĺžka l [mm]	Šírka b [mm]	Hrúbka h [mm]	Vzdialenosť Podpier [mm]
stredné	80	4	10	70



Obr. 30. Skúšobné teleso pre skúšku Charpy.

10.3 Siet'ovanie skúšobných telies

Použitým siet'ovacím činidlom je činidlo TAIC, ktoré bolo implementované do zmesi PP a PB v množstve 3 až 5 objemových percent. Samotné ožarovanie skúšobných telies prebehlo vo firme BGS Beta- Gamma Service GmbH & Co. KG, Industriestraße 9, Saal am Donau, Deutschland. Siet'ovanie skúšobných telies prebehlo tromi rôznymi dávkami ožiarenia. Tieto dávky ožiarenia boli 33kGy, 66kGy a 99kGy.

11 ZOBRAZENIE NAMERANÝCH VYSLEDKOV MECHANICKÝCH SKÚŠOK

Výsledky meraní boli spracované použitím týchto vzťahov štatistického vyhodnocovania:

- aritmetický priemer (výberový) \bar{x} - vyjadruje typickú hodnotu popisujúcu súbor veľkého počtu hodnôt. Je to súčet všetkých hodnôt vydelený ich počtom.

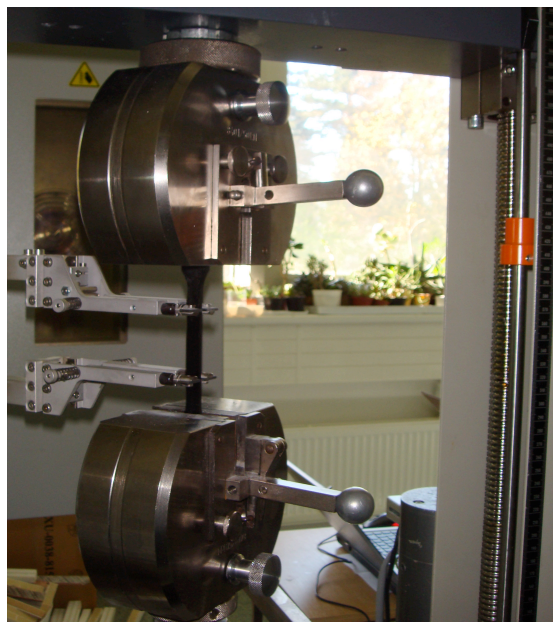
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (20)$$

- výberový rozptyl s^2 - je najrozšírenejšou mierou variability výberového súboru. Je daný podielom súčtu kvadrátu odchýlok jednotlivých hodnôt od priemeru a rozsahu súboru zníženého o jednotku.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (21)$$

- výberová smerodatná odchýlka s - je definovaná ako kladná odmocnina výberového rozpylu [14]

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (22)$$



Obr. 31. Čeluste trhacieho stroja.

11.1 Skúška ťahom

Skúška bola meraná na skúšobnom stroji Zwick Roell 1456 pri izbovej teplote 23°C. Pri každej testovanej zmesi bola skúšaná séria desiatich kusov skúšobných telies. Vďaka počítaču, ktorý je súčasťou stroja sú namerané údaje, z každej zmesi prehľadné usporiadané do tabuliek. Pre stanovenie modulu pružnosti zmesi bola rýchlosť posuvu čelusti v prvej fáze zadaná 1mm.min⁻¹. V druhej fáze sa rýchlosť posuvu čelustí zvýšila na 10mm.min⁻¹.

11.1.1 Namerané výsledky ožiarených a neožiarených neplnených zmesí PP a PB

Tab. 15. Namerané hodnoty pri ťahovej skúške neplnenej zmesi.

Zmes		Dávka ožiarenia 33 kGy				
		σ_M	σ_B [MPa]	E [MPa]	ϵ_M [%]	ϵ_B [%]
PP+25%PB	\bar{x}	26,43	18,13	950,90	13,86	95,14
	s	0,28	0,54	39,73	0,26	50,56
PP+50%PB	\bar{x}	25,94	17,81	927,49	13,51	85,83
	s	0,21	0,44	16,20	0,26	22,91
Zmes		Dávka ožiarenia 66 kGy				
		σ_M	σ_B [MPa]	E [MPa]	ϵ_M [%]	ϵ_B [%]
PP+25%PB	\bar{x}	26,81	19,31	963,39	13,89	86,94
	s	0,27	0,40	21,82	0,21	34,14
PP+50%PB	\bar{x}	26,59	18,53	961,28	13,57	97,96
	s	0,40	0,34	14,76	0,26	22,09
Zmes		Dávka ožiarenia 99 kGy				
		σ_M	σ_B [MPa]	E [MPa]	ϵ_M [%]	ϵ_B [%]
PP+25%PB	\bar{x}	27,03	19,91	956,80	14,57	94,69
	s	0,14	0,18	15,54	0,84	51,83
PP+50%PB	\bar{x}	26,88	19,76	955,56	13,86	92,33
	s	0,17	0,96	11,50	0,13	35,60
Zmes		Neožiarený				
		σ_M	σ_B [MPa]	E [MPa]	ϵ_M [%]	ϵ_B [%]
PP+25%PB	\bar{x}	21,35	15,74	651,40	19,21	251,40
	s	0,46	0,94	17,14	0,85	128,32
PP+50%PB	\bar{x}	20,97	15,26	636,63	19,21	237,31
	s	0,30	0,53	9,79	0,79	143,53

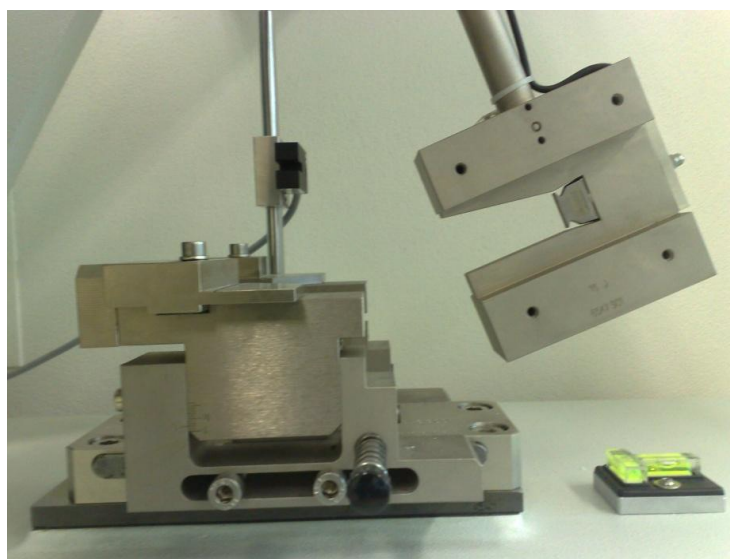
11.1.2 Namerané výsledky ožiarených a neožiarených zmesí PP a PB plnenými 25% sklenenými vláknami

Tab. 16. Namerané hodnoty skúšky ťahom zmesí plnenými sklenenými vláknami.

Zmes		Dávka ožiarenia 33 kGy				
		σ_M	σ_B [MPa]	E [MPa]	ε_M [%]	ε_B [%]
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	65,60	65,36	4387,62	6,22	6,58
	s	1,08	1,12	188,59	0,13	0,31
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	65,17	64,52	4360,32	6,29	6,75
	s	0,47	0,71	120,81	0,11	0,32
Zmes		Dávka ožiarenia 66 kGy				
		σ_M	σ_B [MPa]	E [MPa]	ε_M [%]	ε_B [%]
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	66,82	65,75	4415,87	6,31	6,68
	s	0,72	1,06	83,75	0,10	0,24
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	66,86	66,51	4384,14	6,22	6,51
	s	0,58	0,77	105,73	0,06	0,19
Zmes		Dávka ožiarenia 99 kGy				
		σ_M	σ_B [MPa]	E [MPa]	ε_M [%]	ε_B [%]
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	68,15	66,99	4441,16	6,23	6,60
	s	0,76	1,75	161,06	0,11	0,21
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	67,74	66,84	4425,22	6,27	6,56
	s	2,03	2,12	203,94	0,16	0,23
Zmes		Neožiarený				
		σ_M	σ_B [MPa]	E [MPa]	ε_M [%]	ε_B [%]
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	55,04	54,14	3721,77	7,67	8,48
	s	1,36	1,30	200,31	0,15	0,38
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	54,12	53,60	3645,98	7,81	8,62
	s	0,97	1,00	94,64	0,15	0,30

11.2 Skúška Charpy

Skúška prebehla na skúšobnom stroji Caest Resil Impactor Junior, ktorého parametre sú zobrazené v kapitole 8.3. Pri skúške Charpy sa vyhodnocovala vrubová húževnatosť testovaných zmesí. Skúška prebiehala pri izbovej teplote 23°C. Pri meraní bola stanovená nárazová energia 2,87J a rýchlosť nárazu 1,62m.s⁻¹. Hmotnosť kladiva bola 2,18kg a počiatočný uhol vychýlenia kladiva 50°. Pri každej testovanej zmesi, bola vyhodnotená séria desiatich kusov skúšobných telies.



Obr. 32. Kyvadlo skúšobného zariadenia Caest Resil Impactor Junior.

11.2.1 Namerané výsledky ožiarených a neožiarených neplnených zmesí PP a PB

Tab. 17. Namerané hodnoty pri skúške Charpy neplnených zmesí.

Zmes		Dávka ožiarenia 33 kGy		
		A _n [kJ/m ²]	W [J]	δ [%]
PP+25%PB	\bar{x}	11,84	0,36	6,66
	s	0,73	0,02	0,10
PP+50%PB	\bar{x}	11,98	0,38	6,62
	s	0,86	0,03	0,12
Zmes		Dávka ožiarenia 66 kGy		
		A _n [kJ/m ²]	W [J]	δ [%]
PP+25%PB	\bar{x}	11,73	0,38	6,66
	s	0,83	0,03	0,12
PP+50%PB	\bar{x}	12,99	0,40	6,46
	s	0,99	0,04	0,15

Zmes		Dávka ožiarenia 99 kGy		
		A_n [kJ/m ²]	W [J]	δ [%]
PP+25%PB	\bar{x}	12,40	0,40	6,56
	s	0,78	0,02	0,10
PP+50%PB	\bar{x}	12,57	0,40	6,55
	s	0,91	0,03	0,13
Zmes		Neožiarený		
		A_n [kJ/m ²]	W [J]	δ [%]
PP+25%PB	\bar{x}	19,73	0,63	5,59
	s	2,13	0,07	0,33
PP+50%PB	\bar{x}	17,93	0,50	5,83
	s	1,56	0,04	0,22

11.2.2 Namerané výsledky ožiarených a neožiarených zmesí PP a PB plnenými 25% sklenenými vláknami

Tab. 18. Namerané hodnoty pri skúške Charpy plnených zmesí.

Zmes		Dávka ožiarenia 33 kGy		
		A_n [kJ/m ²]	W [J]	δ [%]
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	18,11	0,54	5,21
	s	1,47	0,05	0,17
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	18,07	0,54	5,16
	s	1,14	0,04	0,18
Zmes		Dávka ožiarenia 66 kGy		
		A_n [kJ/m ²]	W [J]	δ [%]
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	17,34	0,55	5,36
	s	0,57	0,02	0,12
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	17,20	0,55	5,30
	s	0,92	0,03	0,09
Zmes		Dávka ožiarenia 99 kGy		
		A_n [kJ/m ²]	W [J]	δ [%]
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	16,82	0,49	5,48
	s	1,03	0,04	0,10
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	17,05	0,55	5,49
	s	1,66	0,05	0,18
Zmes		Neožiarený		
		A_n [kJ/m ²]	W [J]	δ [%]
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	22,01	0,70	4,00
	s	1,02	0,03	0,29
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	22,09	0,70	4,03
	s	1,02	0,03	0,19

12 VYHODNOTENIE VÝSLEDKOU MECHANICKÝCH SKÚŠOK

Táto kapitola sa zaoberá grafickým znázornením a vyhodnotením nameraných výsledkov testovaných zmesí, ktoré boli podrobené ťahovej skúške a skúške Charpy.

12.1 Vyhodnotenie výsledkov ťahovej skúšky

Boli testované mechanické vlastnosti zmesí PP+25%PB, PP+50%PB, PP+25%PB_25%GF, PP+50%PB_25%GF, ktoré tiež boli modifikované β -žiarením v dávkach 0, 33, 66, 99kGy.

12.1.1 Vyhodnotenie maximálnej pevnosti v ťahu

Tab. 19. Hodnoty maximálneho napätia všetkých skúšaných zmesí.

Materiál		Maximálne napätie			
		Neožiarený	33kGy	66kGy	99kGy
PP+25%PB	\bar{x}	21,35	26,43	26,81	27,03
	s	0,46	0,28	0,27	0,14
PP+50%PB	\bar{x}	20,97	25,94	26,59	26,88
	s	0,30	0,21	0,40	0,17
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	55,04	65,60	66,82	68,15
	s	1,36	1,08	0,72	0,76
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	54,12	65,17	66,86	67,74
	s	0,97	0,47	0,58	2,03

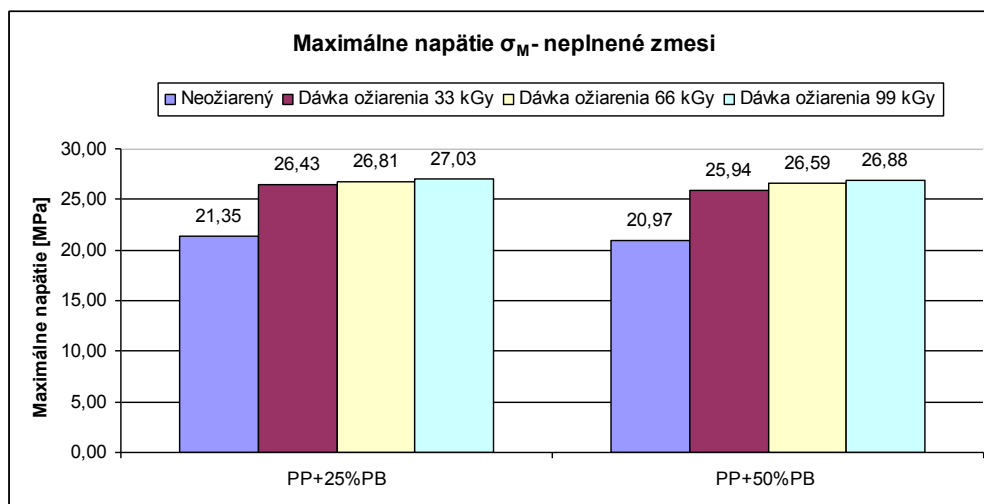
Zmes PP+25%PB

Pri ťahovej skúške neplnenej zmesi PP+25%PB vplyvom β -žiarenia vzrástla najviac hodnota maximálneho napätia $\sigma_M=27,03\pm 0,14$ MPa u zmesi ožiarenej dávkou 99kGy. Naopak najmenšia hodnota bola u neožiarenej zmesi $\sigma_M=21,35\pm 0,21$ MPa (Obr. 33). Maximálne napätie zmesi ožiarenej dávkou 99kGy bolo o 27% vyššie ako u neožiarenej (Obr. 35).

Zmes PP+50%PB

Pri rovnomernom zastúpení zmesi PP+PB bola taktiež nameraná najvyššia hodnota maximálneho napätia u dávky ožiarenia 99kGy $\sigma_M=26,88\pm 0,17$ MPa a najnižšia hodnota bola dosiahnutá pri neožiarenej zmesi $\sigma_M=20,97\pm 0,30$ MPa (Obr. 33). V tomto prípade bol nárast maximálneho napätia u ožiarenej zmesi o 28% (Obr. 35).

Vplyvom modifikácie neožiarenej zmesi z PP a PB, v ktorej sa zvýšil podiel PB z 25% na 50% kleslo maximálne napätie z hodnoty $\sigma_M=21,35\pm 0,21\text{MPa}$ na $\sigma_M=20,97\pm 0,30\text{MPa}$. (Obr. 33)



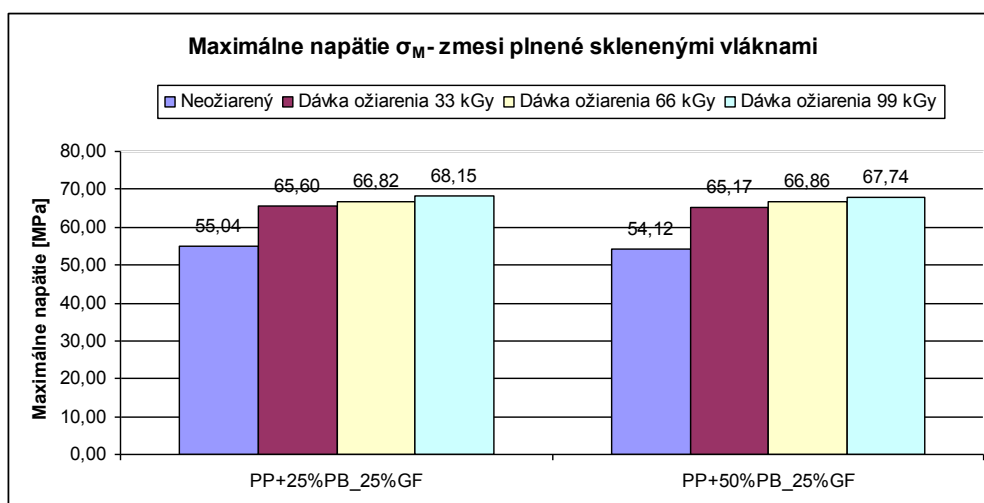
Obr. 33. Porovnanie maximálneho napätia neplných zmesí.

Zmes PP+25%PB_25%GF

Pri meraní zmesi PP+25%PB_25%GF bola zistená najvyššia hodnota maximálneho napätia $\sigma_M=68,15\pm 0,76\text{MPa}$ u dávky ožiarenia 99kGy. Najnižšia hodnota maximálneho napätia bola zistená u neožiarenej zmesi $\sigma_M=55,04\pm 1,36\text{MPa}$ (Obr. 34). Nárast maximálneho napätia bol o 24% u zmesi ožiarenej dávkou 99kGy v porovnaní s neožiarenou (Obr. 35).

Zmes PP+50%PB_25%GF

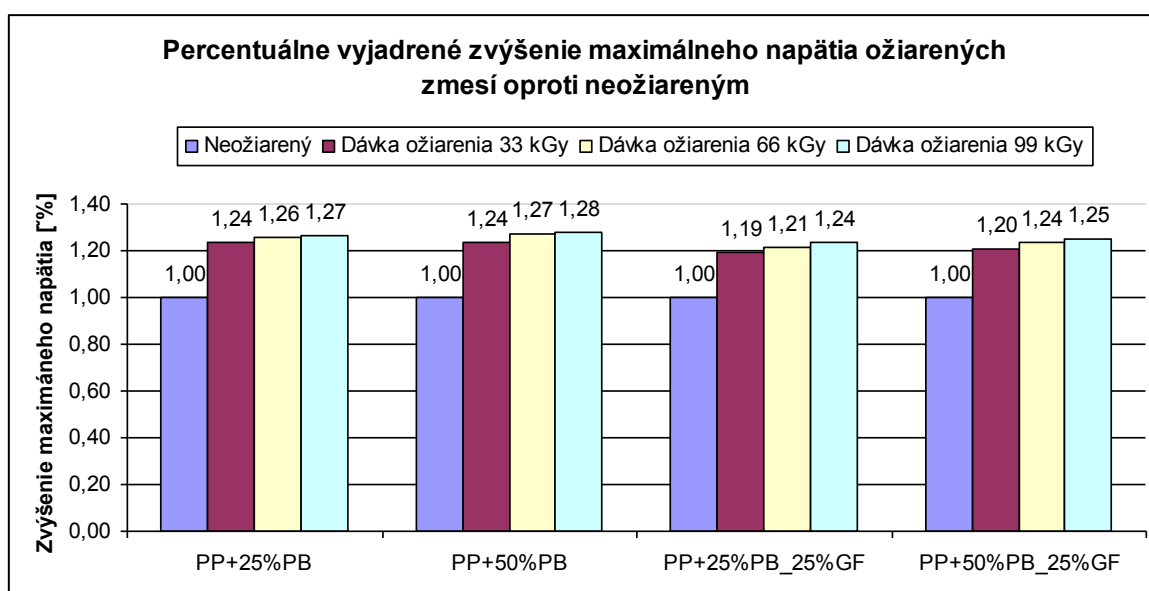
U zmesi PP+50%PB_25% GF bola taktiež nameraná najvyššia u zmesi ožiarenej dávkou 99kGy $\sigma_M=67,74\pm 2,03\text{MPa}$ a najnižšia hodnota bola nameraná u neožiarenej zmesi $\sigma_M=54,12\pm 0,97\text{MPa}$ (Obr. 34). U ožiarenej zmesi bol nárast maximálneho napätia o 25% (Obr. 35).



Obr. 34. Porovnanie maximálneho napätia plnených zmesí.

Vplyvom modifikácie neožiarenej plnenej zmesi z PP a PB, v ktorej sa zvýšil podiel PB z 25% na 50% kleslo maximálne napätie z hodnoty $\sigma_M=55,04\pm 1,36$ MPa na $\sigma_M=54,12\pm 0,97$ MPa. (Obr. 34)

Vplyvom plnenia zmesi PP+25%PB sklenenými vláknami narástlo maximálne napätie z hodnoty $\sigma_M=21,35\pm 0,21$ MPa na $\sigma_M=55,04\pm 1,36$ MPa. Pri porovnaní zmesi PP+50%PB a PP+50%PB_25%GF vzrástlo maximálne napätie z hodnoty $\sigma_M=20,97\pm 0,30$ MPa na $\sigma_M=54,12\pm 0,97$ MPa. To znamená nárast maximálneho napätia o viac ako polovicu.



Obr. 35. Percentuálne vyjadrenie zvýšenia maximálneho napätia ožiarených zmesí oproti neožiareným.

12.1.2 Vyhodnotenie modulu pružnosti v ťahu

Tab. 20. Hodnoty modulu pružnosti všetkých skúšaných zmesí.

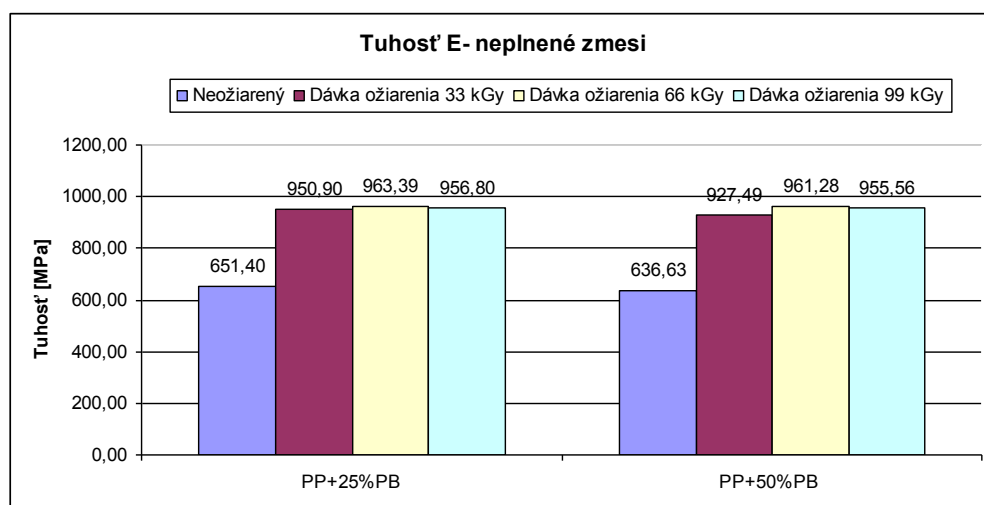
Materiál		Tuhosť			
		Neožiarený	33kGy	66kGy	99kGy
PP+25%PB	\bar{x}	651,40	950,90	963,39	956,80
	s	17,14	39,73	21,82	15,54
PP+50%PB	\bar{x}	636,63	927,49	961,28	955,56
	s	9,79	16,20	14,76	11,50
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	3721,77	4387,62	4415,87	4441,16
	s	200,31	188,59	83,75	161,06
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	3645,98	4360,32	4384,14	4425,22
	s	94,64	120,81	105,73	203,94

Zmes PP+25%PB

Pri ťahovej skúške neplnenej zmesi PP+25%PB vplyvom β -žiarenia vzrástla najviac hodnota modulu pružnosti v ťahu (tuhosti) $E=963,39\pm 21,82$ MPa u zmesi ožiarenej dávkou 66kGy, zatiaľ čo najmenšiu hodnotu tuhosti vykazuje neožiarená zmes $E=651,40\pm 17,14$ MPa (Obr. 36). Nárast modulu pružnosti u tejto zmesi je 48% (Obr. 38).

Zmes PP+50%PB

U zmesi PP+50%PB bola zistená najvyššia hodnota modulu pružnosti u dávky ožiarenia 66kGy $E=961,28\pm 14,76$ MPa a najmenšia bola nameraná pri neožiarenej zmesi $E=636,63\pm 9,79$ MPa (Obr. 36). Tuhosť narástla v tomto prípade o 51% (Obr. 38).



Obr. 36. Porovnanie tuhosti neplnených zmesí.

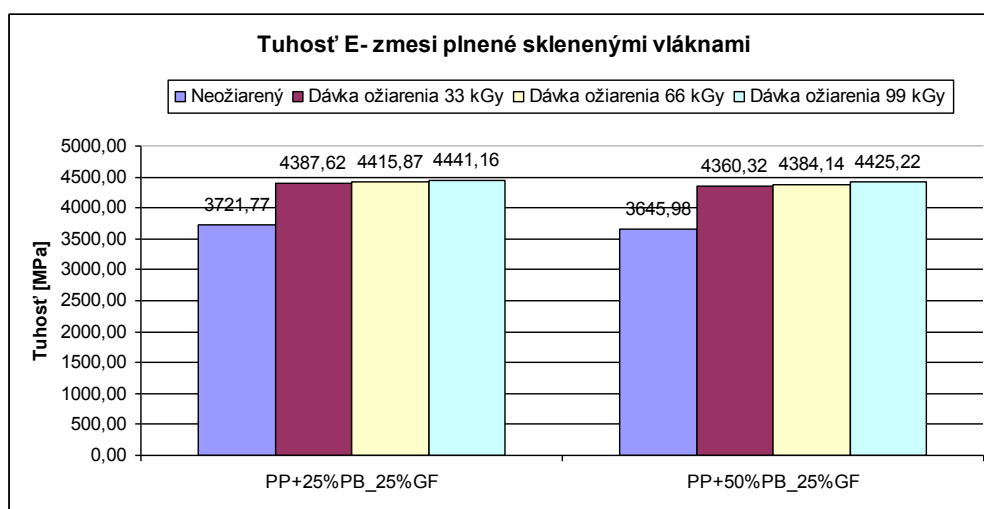
Vplyvom modifikácie neožiarenej zmesi z PP a PB, v ktorej sa zvýšil podiel PB z 25% na 50% klesol modul pružnosti v ťahu z hodnoty $E=651,40\pm 17,14\text{MPa}$ na $E=636,63\pm 9,79\text{MPa}$. (Obr. 36)

Zmes PP+25%PB_25%GF

U zmesi PP+25%PB_25%GF bola najvyššia miera tuhosti zistená pri dávke ožiarenia 99kGy $E=4441,16\pm 161,06\text{MPa}$, zatiaľ čo najnižšiu hodnotu vykazuje neožiarená zmes $E=3721,77\pm 200,31\text{MPa}$ (Obr. 37). Nárast modulu pružnosti v ťahu zmesi ožiarenej dávkou 99kGy je o 19% (Obr. 38).

Zmes PP+50%PB_25%GF

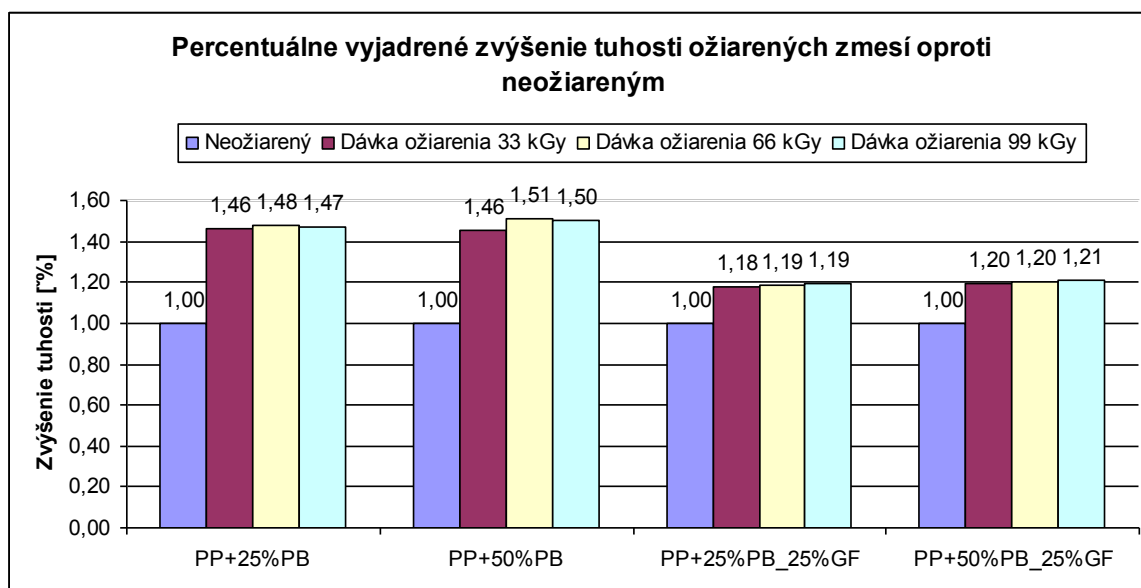
Pri meraní tejto zmesi bola tiež zistená najvyššia hodnota modulu pružnosti u zmesi ožiarenej dávkou 99kGy $E=4425,22\pm 203,94\text{MPa}$ a najnižšia bola nameraná u neožiarenej zmesi $E=3645,98\pm 94,64\text{MPa}$ (Obr. 37). Modul pružnosti narástol v tomto prípade o 21% (Obr. 38).



Obr. 37. Porovnanie tuhosti plnených zmesí.

Pri porovnaní zmesi PP+25%PB_25%GF a PP+50%PB_25%GF klesol modul pružnosti v ťahu z hodnoty $E=3721,77\pm 200,31\text{MPa}$ na $E=3645,98\pm 94,64\text{MPa}$. (Obr. 37)

Z dôvodu plnenia zmesi PP+25%PB sklenenými vláknami narástol modul pružnosti z hodnoty $E=651,40\pm 17,14\text{MPa}$ na $E=3721,77\pm 200,31\text{MPa}$. Pri porovnaní zmesi PP+50%PB a PP+50%PB_25%GF narástol modul z hodnoty $E=636,63\pm 9,79\text{MPa}$ na $E=3645,98\pm 94,64\text{MPa}$.



Obr. 38. Percentuálne vyjadrenie zvýšenia maximálneho napätia ožiarených zmesí oproti neožiareným.

12.2 Vyhodnotenie skúšky Charpy

Boli testované mechanické vlastnosti zmesí PP+25%PB, PP+50%PB, PP+25%PB_25%GF, PP+50%PB_25%GF, ktoré boli modifikované β -žiarením v dávkach 0, 33, 66, 99kGy.

12.2.1 Vyhodnotenie vrubovej húževnatosti

Tab. 21. Hodnoty vrubovej húževnatosti všetkých skúšaných zmesí.

Materiál		Vrubová húževnatosť			
		Neožiarený	33kGy	66kGy	99kGy
PP+25%PB	\bar{x}	19,73	11,84	11,73	12,40
	s	2,13	0,73	0,83	0,78
PP+50%PB	\bar{x}	17,93	11,98	12,99	12,57
	s	1,56	0,86	0,99	0,91
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	22,01	18,11	17,34	16,82
	s	1,02	1,47	0,57	1,03
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	22,09	18,07	17,20	17,05
	s	1,02	1,14	0,92	1,66

Zmes PP+25%PB

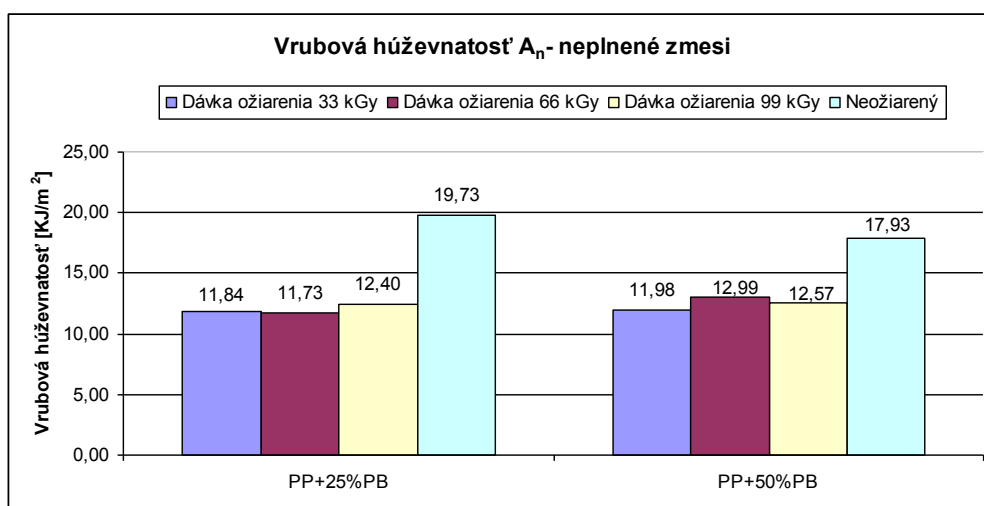
Pri skúške Charpy neplnenej zmesi PP+25%PB vplyvom β -žiarenia poklesla najviac hodnota vrubovej húževnatosti u zmesi ožiarenej dávkou 66kGy $A_n=11,73\pm 0,83\text{KJ/m}^2$.

Naopak najvyššia hodnota vrubovej húževnatosti bola nameraná u neožiarenej zmesi $A_n=19,73\pm 2,13\text{KJ/m}^2$ (Obr. 39). Pokles hodnoty vrubovej húževnatosti bol u ožiarenej zmesi dávkou 66kGy o 41% oproti neožiarenej zmesi (Obr. 41).

Zmes PP+50%PB

Pri zmesi PP+50%PB bola taktiež nameraná najvyššia hodnota vrubovej húževnatosti u neožiarenej zmesi $A_n=17,93\pm 1,56\text{KJ/m}^2$ a najnižšia hodnota bola dosiahnutá pri zmesi ožiarenej dávkou 33kGy $A_n=11,98\pm 0,86\text{KJ/m}^2$ (Obr. 39). Táto hodnota bola o 28% nižšia ako hodnota vrubovej húževnatosti neožiarenej zmesi (Obr. 41).

Vplyvom modifikácie neplnenej zmesi z PP a PB, v ktorej sa zvýšil podiel PB z 25% na 50% klesla hodnota vrubovej húževnatosti $A_n=19,73\pm 2,13\text{KJ/m}^2$ na $A_n=17,93\pm 1,56\text{KJ/m}^2$. (Obr. 39).



Obr. 39. Porovnanie vrubovej húževnatosti neplnených zmesí.

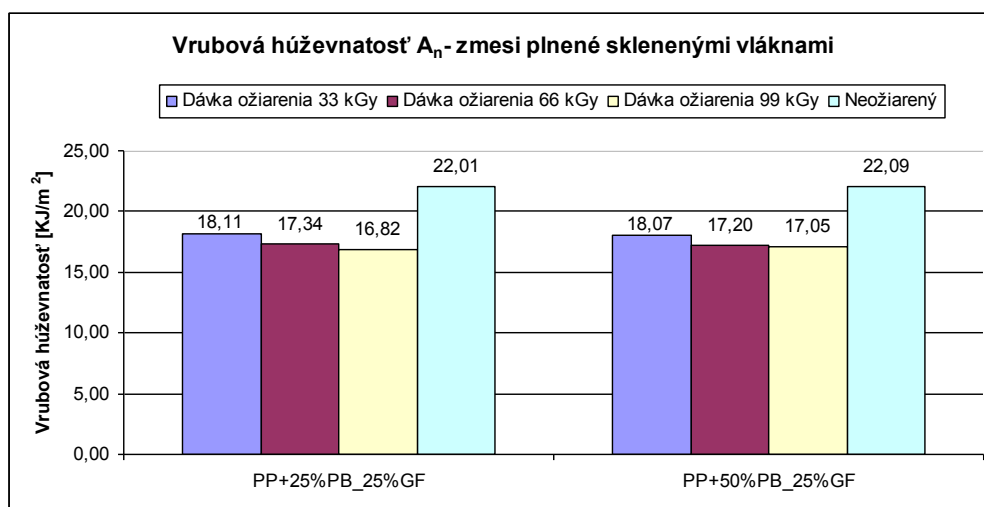
Zmes PP+25%PB_25%GF

U zmesi PP+25%PB_25%GF bola pri skúške Charpy najvyššia hodnota vrubovej húževnatosti u neožiarenej zmesi $A_n=22,01\pm 1,02\text{KJ/m}^2$. Naopak najmenšia hodnota bola nameraná u zmesi ožiarenej dávkou 99kGy $A_n=16,82\pm 1,03\text{KJ/m}^2$ (Obr. 40). Táto hodnota je o 24% menšia ako vrubová húževnatosť nameraná u neožiarenej zmesi. (Obr. 41)

Zmes PP+50%PB_25%GF

Najvyššia hodnota vrubovej húževnatosti u zmesi PP+50%PB_25%GF bola nameraná u neožiarenej zmesi $A_n=22,09\pm 1,02\text{KJ/m}^2$ a najnižšia u zmesi ožiarenej dávkou 99kGy

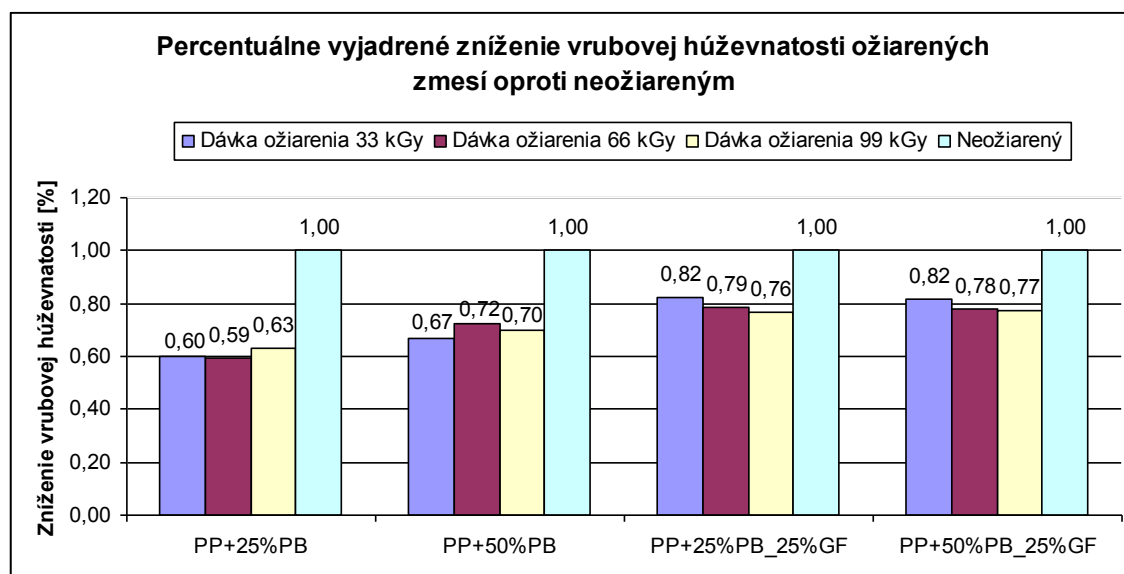
$A_n=17,05\pm 1,66\text{KJ/m}^2$ (Obr. 40). Pri dávke ožiarenia 99kGy je hodnota vrubovej húževnatosti o 23% nižšia ako u neožiarenej zmesi. (Obr. 41)



Obr. 40. Porovnanie vrubovej húževnatosti plnených zmesí.

Pri porovnaní zmesi PP+PB 25%_25% GF a PP+PB 50%_25% GF mierne vzrástla hodnota vrubovej húževnatosti $A_n=22,01\pm 1,02\text{KJ/m}^2$ na $A_n=22,09\pm 1,02\text{KJ/m}^2$. (Obr. 40).

Pri porovnaní vplyvu plnenia zmesi PP+25%PB sklenenými vláknami vzrástla hodnota vrubovej húževnatosti $A_n=19,73\pm 2,13\text{KJ/m}^2$ na $A_n=22,01\pm 1,02\text{KJ/m}^2$. Pri porovnaní zmesi PP+50%PB a PP+50%PB_25%GF vzrástla hodnota vrubovej húževnatosti $A_n=17,93\pm 1,56\text{KJ/m}^2$ na $A_n=22,09\pm 1,02\text{KJ/m}^2$.



Obr. 41. Percentuálne vyjadrenie zníženia vrubovej húževnatosti ožiarených zmesí oproti neožiarených.

12.2.2 Vyhodnotenie práce spotrebovanej na prerazenie skúšobného telieska

Tab. 22. Hodnoty nárazovej práce všetkých skúšaných zmesí.

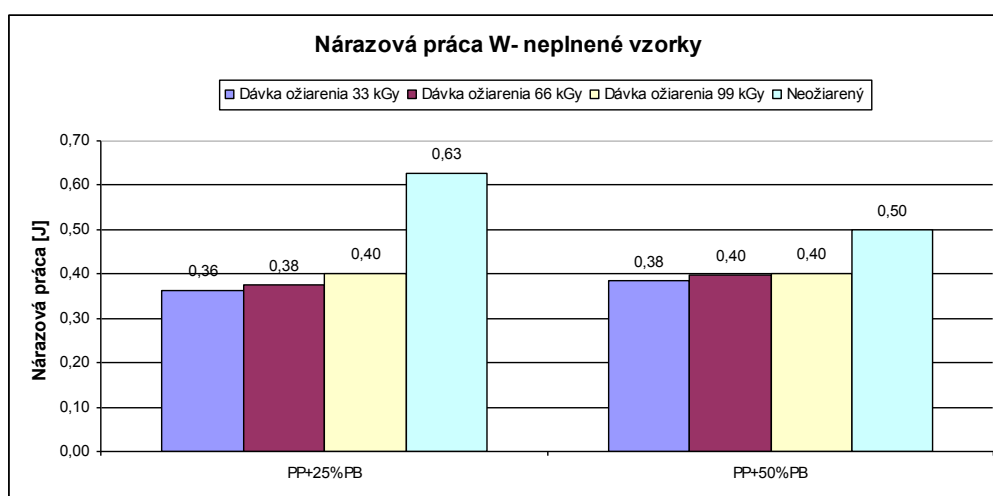
Materiál		Nárazová práca			
		Neožiarený	33kGy	66kGy	99kGy
PP+25%PB	\bar{x}	0,63	0,36	0,38	0,40
	s	0,07	0,02	0,03	0,02
PP+50%PB	\bar{x}	0,50	0,38	0,40	0,40
	s	0,04	0,03	0,04	0,03
PP+25%PB_25%GF	\bar{x}	0,70	0,54	0,55	0,49
	s	0,03	0,05	0,02	0,04
PP+50%PB_25%GF	\bar{x}	0,70	0,54	0,55	0,55
	s	0,03	0,04	0,03	0,05

Zmes PP+25%PB

Pri meraní zmesi PP+25%PB bola najvyššia hodnota spotrebovanej nárazovej práce u neožiarenej zmesi $W=0,63\pm 0,07$ J. Naopak najmenšia hodnota $W=0,36\pm 0,02$ J bola nameraná u zmesi ožiarenej dávkou 33kGy (Obr. 42). Pri tejto dávke ožiarenia je hodnota o 42% nižšia ako u neožiarenej zmesi (Obr. 44).

Zmes PP+50%PB

Pri meraní zmesi PP+50%PB bola taktiež nameraná najvyššia hodnota nárazovej práce u neožiarenej zmesi $W=0,05\pm 0,04$ J a najnižšia hodnota $W=0,38\pm 0,03$ J bola nameraná pri zmesi ožiarenej dávkou 33kGy (Obr. 42). Pokles bol u ožiarenej zmesi dávkou 33kGy o 23% oproti neožiarenej zmesi (Obr. 44).



Obr. 42. Porovnanie spotrebovanej práce pri prerazení neplnených zmesí.

Vplyvom modifikácie zmesi z PP a PB, v ktorej sa zvýšil podiel PB z 25% na 50% klesla hodnota nárazovej práce na $W=0,63\pm 0,07\text{J}$ na $W=0,50\pm 0,04\text{J}$ (Obr. 42).

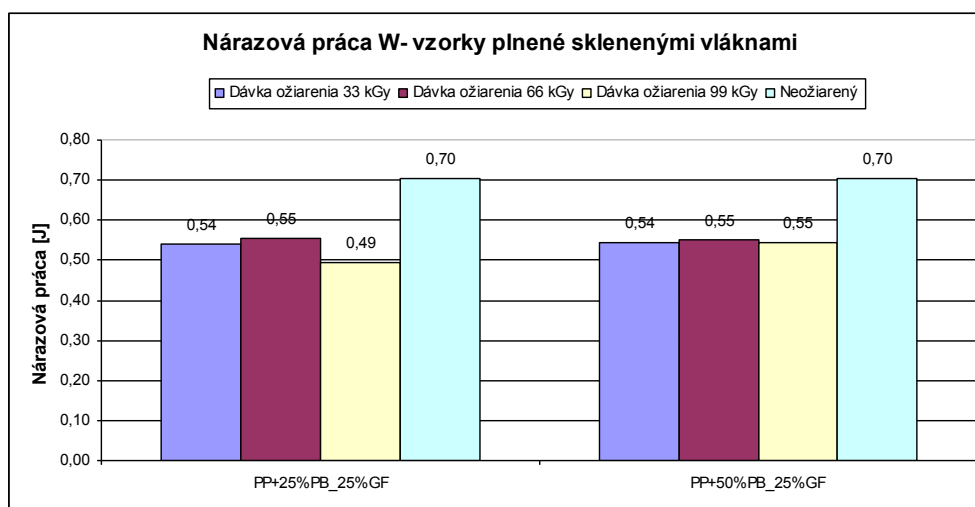
Zmes PP+25%PB_25%GF

Pri meraní zmesi PP+25%PB_25%GF bolo zistené, že najvyššia hodnota nárazovej práce bola dosiahnutá u neožiarenej zmesi $W=0,70\pm 0,03\text{J}$. Naopak najmenšia hodnota bola nameraná u zmesi ožiarenej dávkou 99kGy $W=0,49\pm 0,04\text{J}$ (Obr. 43). Táto hodnota bola o 30% nižšia ako hodnota nežiarenej zmesi (Obr. 44).

Zmes PP+50%PB_25%GF

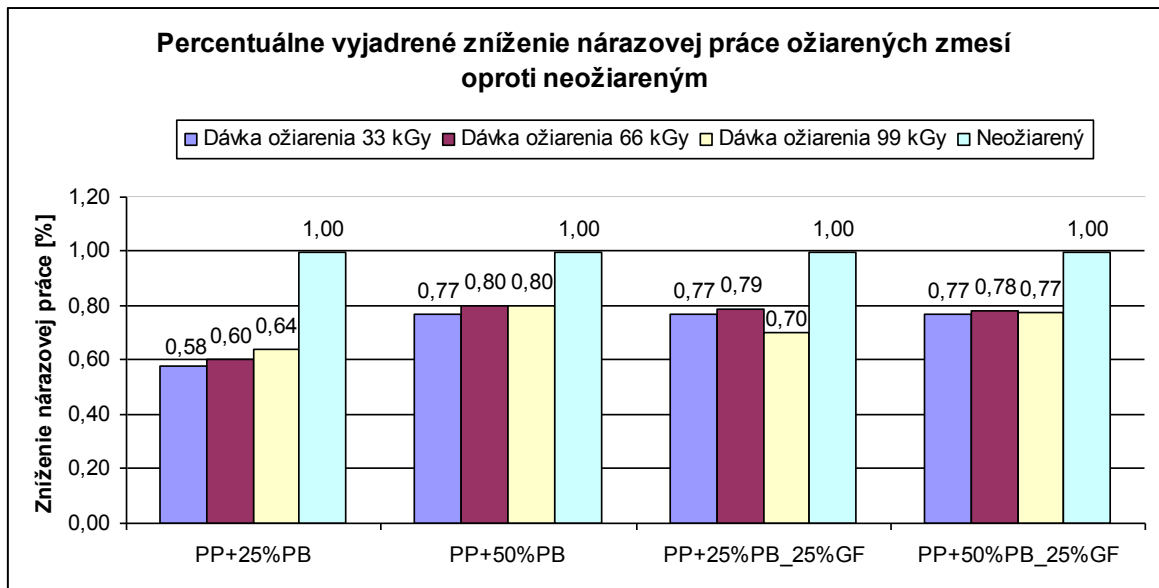
Pri meraní zmesi plnenej sklenenými vláknami PP+50%PB bola taktiež nameraná najvyššia hodnota nárazovej práce u neožiarenej zmesi $W=0,70\pm 0,03\text{J}$. Najmenšia hodnota $W=0,54\pm 0,04\text{J}$ bola u zmesi ožiarenej dávkou 33kGy (Obr. 43). Pri tejto dávke ožiarovania je spotrebovaná sila o 23% nižšia ako u neožiarenej zmesi (Obr. 44).

Pri porovnaní zmesi PP+25%PB_25%GF a PP+50%PB_25%GF hodnota nárazovej práce je rovnaká $W=0,70\pm 0,03\text{J}$ (Obr. 43).



Obr. 43. Porovnanie spotrebovanej práce pri prerazení plnených zmesí.

Pri porovnaní vplyvu plnenia zmesi PP+25%PB sklenenými vláknami vzrastá hodnota spotrebovanej nárazovej práce $W=0,63\pm 0,07\text{J}$ na $W=0,70\pm 0,03\text{J}$. Pri porovnaní zmesi PP+PB 50% a PP+PB 50%_25% GF vzrástla hodnota $W=0,50\pm 0,04\text{J}$ na $W=0,70\pm 0,03\text{J}$.



Obr. 44. Percentuálne vyjadrenie zníženia spotrebovanej nárazovej práce ožiarených zmesí oproti neožiareným.

ZÁVER

Diplomová práca popisuje porovnanie mechanických vlastností zmesí PP+PB (plnených a neplnených), ktoré boli modifikované β -žiarením v dávkach 0, 33, 66, 99kGy. Zmesi PP+PB boli pripravené v množstvách PP+25%PB a PP+50%PB. Skúšobné telesá pripravené z týchto zmesí boli zhotovené vstrekomím. Následne boli prevedené ťahové testy a testy vrubovej húževnatosti. Namerané výsledky boli graficky znázornené a vyhodnotené.

Z výsledkov merania ťahovej skúšky vyplýva, že najvyššie hodnoty maximálnej pevnosti a tuhosti boli dosiahnuté u zmesí PP+PB modifikovaných dávkou 99kGy. Naopak najnižšie hodnoty boli zistené u neožiarených zmesí PP+PB. Ožiarené neplnené zmesi vykazovali v porovnaní s neožiarenými zvýšenie hodnoty tuhosti v priemere o 47% a u maximálnej pevnosti došlo k nárastu v priemer o 25%. Zvýšené množstvo PB v zmesi PP+PB vykazovalo mierny pokles hodnôt maximálnej pevnosti a tuhosti. Vplyvom plnenia neožiarených zmesí PP+PB vzrástla maximálna pevnosť takmer o polovicu a tuhosť sa zvýšila päťnásobne.

Pri meraní Charpyho skúšky boli najvyššie hodnoty vrubovej húževnatosti a nárazovej práce namerané u neožiarených zmesí PP+PB. Znížené hodnoty boli dosiahnuté u zmesí ožiarenými rôznymi dávkami žiarenia. Ožiarené plnené zmesi vykázali v porovnaní s neožiarenými pokles vrubovej húževnatosti a nárazovej práce v priemere o 22%. Zvýšením množstva PB v zmesi plnenej PP+PB viedlo k miernemu nárastu vrubovej húževnatosti. Vplyvom plnenia neožiarených zmesí PP+PB vzrástla vrubová húževnatosť a nárazová práca.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] LIPTÁKOVÁ, T., ALEXY, P., GONDÁR, E., HUNOVÁ, V. *Polymérne technické materiály* [online]. [cit. 2012-1-15]. Dostupný z WWW: http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/10/polymerne_konstrukcne_materialy.pdf
- [2] MAŇAS, D. *Náuka o materiálu II*. Zlín. Poznámky z prednášiek. 2009
- [3] *Titan-plastimex*. [online]. [cit. 2012-1-20]. Dostupný z WWW: <http://www.titan-plastimex.cz/Produkty/PB/pb.htm>
- [4] *Wikipedia: Otvorená encyklopedia*. [online]. [cit. 2012-1-22]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org>
- [5] *Matnet: Virtuálny inštitút*. [online]. [cit. 2012-1-15]. Dostupný z WWW: <http://www.matnet.sav.sk/index.php?ID=201>
- [6] DUCHÁČEK, V. *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití* [online]. [cit. 2012-1-24]. Dostupný z WWW: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/obsah.html
- [7] NAVEÁTILOVÁ, J. *Knstrukční polymery*. Zlín. Poznámky z prednášiek. 2009
- [8] JRUŠEK, J. *Metody zkoumání polymeru*. 2.vyd. Pardubice: VŠCHT, 1989. 105 s. ISBN 80-85113-01-5
- [9] DVOŘÁK, Z. *Zpracovatelské procesy gumárenské pre konstrukčné směry*. Zlín. FT UTB. 2011
- [10] STAŇE, M. *Konstrukce forem*. Poznámky z prednášiek. 2009
- [11] *BGS-Beta gama service*. [online]. [cit. 2012-1-26]. Dostupný z WWW: <http://www.bgs.eu/>
- [12] BOTLÍK, R. *Nástroje pro tváření polymerů*. Disertační práce. Brno: FSI VUT, 2004
- [13] ABRAHAM, J. *Vplyv množstva sieťovacieho činidla na vlastnosti ožiareného polyamidu*. Diplomová práca. Zlín. FT UTB. 2010
- [14] PATA, V. *Počítačová podpora vyhodnocení dat*. Zlín. Poznámky z prednášiek. 2009

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A ZKRATIEK

PP	polypropylén
PB	polybutén
PVC	polyvinilchlorid
PE-HD	vysokohustotný polyetylén
GF	sklenené vlákna (Glass fiber)
GMT	termoplasty vystužené skleneným materiálom (Glass Material reinforced Thermoplastic)
T _g	teplota sklovitosti [°C]
T _m	teplota topenia [°C]
T _f	teplota tečenia [°C]
ρ	hustota [g/cm ³]
G _y	intenzita žiarenia Gray [J/kg]
σ	napätie [MPa]
σ _B	medza pevnosti v ťahu pri pretrhnutí (napätie, pri ktorom dochádza k porušeniu telesa) [MPa]
σ _M	medza pevnosti v ťahu (maximálne napätie, ktorého sa dosiahlo počas skúšky) [MPa]
E	modul pružnosti v ťahu (tuhosť) [MPa]
ε	pomerné predĺženie [%]
ν	Poissonov pomer [-]
A _n	rázová/vrubová húževnatosť [kJ/m ²]
W	spotrebovaná práca na prerazenie skúšobného telieska [J]
\bar{x}	aritmetický priemer výberový
s ²	výberový rozptyl
s	výberová smerodatná odchýlka

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1. Rozdelenie polymérov podľa elasticko-plastických vlastností. [10]</i>	12
<i>Obr. 2. Chemické zloženie polypropylénu. [4]</i>	15
<i>Obr. 3. Ataktický polypropylén. [1]</i>	15
<i>Obr. 4. Izotaktický polypropylén. [1]</i>	15
<i>Obr. 5. Syndiotaktický polypropylén. [1]</i>	16
<i>Obr. 6. Závislosť medze klzu PP rôznej kríšťalinity od teploty. [1]</i>	17
<i>Obr. 7. Nádoby na potraviny z polypropylénu. [7]</i>	19
<i>Obr. 8. Chemické zloženie polybuténu. [6]</i>	20
<i>Obr. 9. Výrobky na rozvod médií z polybuténu. [3]</i>	21
<i>Obr. 10. Trubky z polybuténu. [7]</i>	21
<i>Obr. 11. Schéma radiačného sieťovania elektrónovým žiarením. [11]</i>	22
<i>Obr. 12. Vlastnosti plastov v závislosti na dávke ožiarenia. [11]</i>	24
<i>Obr. 13. Zväzok sklenených vlákien. [12]</i>	27
<i>Obr. 14. Zmena geometrie pri ťahovej skúške. [1]</i>	29
<i>Obr. 15. Priebeh ťahových kriviek. [1]</i>	30
<i>Obr. 16. Typický tvar skúšobného telesa pre skúšku ťahom. [1]</i>	31
<i>Obr. 17. Tvary skúšobných telies typu 1 a 2 na skúšku ťahom podľa STN ISO 527-2. [1]</i>	32
<i>Obr. 18. Ťahové krivky pre rôzne druhy materiálov. [1]</i>	33
<i>Obr. 19. Základné možnosti usporiadania pri skúške ohybom. [1]</i>	35
<i>Obr. 20. Typy kriviek pri ohybovej skúške. [1]</i>	36
<i>Obr. 21. Schéma experimentálneho usporiadania pri skúške. [1]</i>	38
<i>Obr. 22. Skúška Charpy. [9]</i>	40
<i>Obr. 23. Priebeh skúšky tvrdosti podľa Brinella. [2]</i>	43
<i>Obr. 24. Vstrekovací stroj Arburg Allrounder</i>	46
<i>Obr. 25. Skúšobný stroj Zwick Roell 1456</i>	48
<i>Obr. 26. Skúšobný stroj Caest Resil Impactor Junior</i>	49
<i>Obr. 27. Vrubovací prístroj Notchvis Ceast</i>	50
<i>Obr. 28. Chemická štruktúra monoméru TAIC</i>	52
<i>Obr. 29. Skúšobné teleso pre ťahovú skúšku</i>	54
<i>Obr. 30. Skúšobné teleso pre skúšku Charpy</i>	54
<i>Obr. 31. Čeluste trhacieho stroja</i>	55

<i>Obr. 32. Kyvadlo skúšobného zariadenia Caest Resil Impactor Junior.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 33. Porovnanie maximálneho napätia neplných zmesí.</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 34. Porovnanie maximálneho napätia plných zmesí.</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 35. Percentuálne vyjadrenie zvýšenia maximálneho napätia ožiarených zmesí oproti neožiareným.</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 36. Porovnanie tuhosti neplných zmesí.</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 37. Porovnanie tuhosti plných zmesí.</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 38. Percentuálne vyjadrenie zvýšenia maximálneho napätia ožiarených zmesí oproti neožiareným.</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 39. Porovnanie vrubovej húževnatosti neplných zmesí.</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 40. Porovnanie vrubovej húževnatosti plných zmesí.</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 41. Percentuálne vyjadrenie zníženia vrubovej húževnatosti ožiarených zmesí oproti neožiarených.</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 42. Porovnanie spotrebovanej práce pri prerazení neplných zmesí.</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 43. Porovnanie spotrebovanej práce pri prerazení plných zmesí.</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 44. Percentuálne vyjadrenie zníženia spotrebovanej nárazovej práce ožiarených zmesí oproti neožiareným.</i>	<i>70</i>

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 1. Všeobecné vlastnosti polypropylénu. [1]</i>	16
<i>Tab. 2. Rozmery skúšobného telesa 1. typu.</i>	32
<i>Tab. 3. Odporúčané rýchlosti pri ťahovej skúške podľa STN ISO 527-1. [1]</i>	33
<i>Tab. 4. Vysvetlenie základných pojmov ťahovej skúšky. [1]</i>	34
<i>Tab. 5. Základne pojmy pri skúške ohybom. [1]</i>	36
<i>Tab. 6. Rozmery skúšobných telies podľa normy pre skúšku rázovej húževnatosti.[13]</i>	39
<i>Tab. 7. Podmienky na skúšku tvrdosti podľa Brinella. [1]</i>	42
<i>Tab. 8. Technické parametre vstrekovacieho stroja Arburg.</i>	47
<i>Tab. 9. Technické parametre skúšobného stroja Zwick Roell 1456.</i>	48
<i>Tab. 10. Technické parametre skúšobného stroja Caest Resil Impactor Junior.</i>	49
<i>Tab. 11. Vlastnosti použitého polypropylénu.</i>	51
<i>Tab. 12. Vlastnosti použitého polypropylénu.</i>	52
<i>Tab. 13. Parametre vstrkovania pre plnené a neplnené zmesi.</i>	53
<i>Tab. 14. Rozmery skúšobného telesa pre skúšku Charpy.</i>	54
<i>Tab. 15. Namerané hodnoty pri ťahovej skúške neplnenej zmesi .</i>	56
<i>Tab. 16. Namerané hodnoty skúšky ťahom zmesí plnenými sklenenými vláknami.</i>	57
<i>Tab. 17. Namerané hodnoty pri skúške Charpy neplnených zmesí.</i>	58
<i>Tab. 18. Namerané hodnoty pri skúške Charpy plnených zmesí.</i>	59
<i>Tab. 19. Hodnoty maximálneho napätia všetkých skúšaných zmesí.</i>	60
<i>Tab. 20. Hodnoty modulu pružnosti všetkých skúšaných zmesí.</i>	63
<i>Tab. 21. Hodnoty vrubovej húževnatosti všetkých skúšaných zmesí</i>	65
<i>Tab. 22. Hodnoty nárazovej práce všetkých skúšaných zmesí.</i>	68