

Porovnání mechanických vlastností u ozářeného a neozářeného TPE

Ladislav Zapletal

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ladislav ZAPLETAL**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Porovnání mechanických vlastností u ozářeného a neozářeného TPE.**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte literární studii na dané téma
- 2) Proveďte přípravu vzorků pro porovnání mech. vlastností u ozářeného a neozářeného TPE.
- 3) Proveďte porovnání mechanických vlastností u ozářeného a neozářeného TPE
- 4) Vyhodnoťte naměřené výsledky

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Maňas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 22. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Cílem práce se bylo porovnání mechanických vlastností termoplastických elastomerů neo-zářených s termoplastickými elastomery ozářenými elektronovým beta zářením, kdy byly použity dávky elektronového beta záření 0, 66, 99, 132, 165 kGy.

Klíčová slova: termoplastický elastomer, mechanické vlastnosti, ozářený, dávky záření

ABSTRACT

The purpose of this work was comparing mechanical properties of thermoplastic elastomers non-irradiated with thermoplastic elastomers irradiated by elektron beta radiation, when were used elektron beta radiation doses 0, 66, 99, 132, 165 kGy.

Keywords: thermoplastic elastomer, mechanical properties, irradiated, radiation doses

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. za odborné vedení, jak při teoretické tak i při experimentální části, rady, konzultace a připomínky, které mi pomohli při zpracování mé bakalářské práce. Dále mé poděkování patří i všem ostatním, kteří mi při vypracování mé práce pomohli.

Motto

„Překážky jsou ony obávané věci, které spatříte,
když odvrátíte pohled od svého cíle.“

Henry Ford

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

Ve Zlíně

.....

Ladislav Zapletal

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POPIS MATERIÁLU	12
1.1 CHARAKTERISTIKA TERMOPLASTICKÉHO ELASTOMERU	12
1.2 STRUKTURA TERMOPLASTICKÝCH ELASTOMERŮ.....	12
1.3 KLASIFIKACE TERMOPLASTICKÝCH ELASTOMERŮ.....	13
1.3.1 Podle chemické výstavby:	13
1.3.1.1 Blokované styrenové kopolymery.....	13
1.3.1.2 Polyuretany.....	13
1.3.1.3 Polyetherestery	14
1.3.1.4 Kopolyamidy.....	14
1.3.1.5 Směsi elastomerů s termoplasty	14
1.3.2 Podle fyzikálních vlastností:.....	15
1.4 APLIKACE TPE DLE FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ	15
1.4.1 Blokované styrenové kopolymery	16
1.4.1.1 Náhrada klasické pryže (vulkanizovaného kaučuku).....	16
1.4.1.2 Adheziva, těsnící materiály a povlaky.....	16
1.4.1.3 Opláštění drátů a kabelů	17
1.4.1.4 Polymerní směsi	17
1.4.2 Polyuretany	17
1.4.3 Náhrada vulkanizovaného kaučuku.....	18
1.4.4 Polymerní směsi	18
1.4.5 Polyetherestery.....	18
1.4.6 Polyetheramidy	19
1.4.7 Směsi elastomerů s termoplasty	19
1.5 SOUHRN.....	19
1.6 VÝHODY A NEVÝHODY TERMOPLASTICKÝCH ELASTOMERŮ.....	20
2 IONIZAČNÍ ZÁŘENÍ	21
2.1 VLASTNOSTI A ROZDÍLY ELEKTRONOVÉHO BETA ZÁŘENÍ A GAMA ZÁŘENÍ	21
2.2 ELEKTRONOVÉ BETA ZÁŘENÍ	23
2.2.1 Typy elektronových urychlovačů.....	24
2.2.1.1 Elektronový urychlovač typu Betatron.....	24
2.2.1.2 Elektronový katodový lineární urychlovač.....	25
2.2.1.3 Elektronový urychlovač typu Rodotron	26
2.3 GAMA ZÁŘENÍ.....	27
3 SÍŤOVÁNÍ	29
3.1 RADIAČNĚ SÍŤOVATELNÉ POLYMERY	30
3.2 ZLEPŠENÍ VLASTNOSTÍ PLASTŮ RADIAČNÍM OZÁŘENÍM	31
3.2.1 Radiačním síťováním lze měnit následující vlastnosti plastů:	31
3.2.1.1 U tepelných vlastností dochází v důsledku síťování k:.....	32

3.2.1.2	Mezi zlepšené chemické vlastnosti patří:.....	32
3.2.2	Vliv ozáření na přilnavost matrice k vláknům.....	33
4	POUŽITÍ IONIZAČNÍHO ZÁŘENÍ V PRAXI A POUŽÍVANÉ JEDNOTKY	34
4.1	KABELY A IZOLOVANÉ VODIČE	34
4.2	TRUBKY A HADICE	35
4.3	DÍLY VYROBENÉ VSTRÍKOVÁNÍM	36
4.4	DALŠÍ OBLASTI POUŽITÍ	37
4.5	MĚRNÉ JEDNOTKY POUŽÍVANÉ U IONIZAČNÍHO ZÁŘENÍ	37
II	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	38
III	PRAKTICKÁ ČÁST	40
5	MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ TPE.....	41
5.1	MĚŘENÉ VLASTNOSTI	41
5.1.1	Tahové zkoušky.....	43
5.1.2	Strukturní pevnost	49
5.1.3	Tvrdość Shore	51
6	DISKUZE VÝSLEDKŮ	53
6.1	VYHODNOCENÍ PEVNOSTI V TAHU A TAŽNOSTI	53
6.2	VYHODNOCENÍ MODULU 50, 100, 200, 300, 500.....	54
6.3	VYHODNOCENÍ STRUKTURNÍCH PEVNOSTÍ	55
6.4	VYHODNOCENÍ TVRDOŚTI SHORE	56
	ZÁVĚR.....	57
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	58
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	60
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	61
	SEZNAM TABULEK	62

ÚVOD

Plasty jsou v současné době často používaným materiálem využívaným v průmyslu. Podle svého složení plasty podléhají v různé míře znehodnocení, přičemž jejich odolnost proti působení vnějšího prostředí závisí na chemickém složení polymeru, na jeho struktuře, na množství a složení plniv, příměsí a nečistot. Jednou z nejdůležitějších vlastností polymerních materiálů, jež ovlivňuje životnost výrobků z nich zhotovených, je odolnost proti znehodnocení vlivem vnějšího prostředí.

V průmyslových odvětvích rostou stále náročnější požadavky na lepší vlastnosti plastových dílů, kdy tyto požadavky nemusí být nutně plněny aplikací drahých vysoce odolných konstrukčních termoplastů.

Už padesát let se osvědčuje jako levnější a jednodušší řešení radiační síťování jako optimalizace plastových dílů. Polyetylen (PE) byl prvním materiálem, který mohl ozářením prokázat, jaké kvality se v něm ukrývají. Radiační technologie se osvědčily například u trubek, kdy jen v Německu je ročně zesíťováno zhruba 100 miliónů metrů polyethylenových trubek.

Průkopníkem v problematice radiačního síťování je německá společnost BGS, která nabízí své služby na třech místech v Německu a svého zástupce má i v České republice. Tato společnost provádí zušlechťování vlastností plastů radiačním ozařováním pro ostatní výrobce a následně just-in-time dále transportuje.

Aby byly splněny požadavky levnějšího a jednoduššího řešení, přivedeme molekuly ke vzájemnému chemickému propojení a propůjčí se jim mechanické, tepelné a chemické vlastnosti vysoce odolných konstrukčních termoplastů. Tímto dosáhneme, že levnější masové nebo konstrukční plasty vydrží větší zatížení.

Tento proces síťování můžeme řídit beta nebo gama zářením. Energie ze záření je materiálem absorbována a vznikají radikály, které spolu reagují a při následné chemické reakci vytváření požadované spojení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POPIS MATERIÁLU

Termoplastické elastomery (TPE) patří do skupiny mladších polymerních materiálů a jsou obvykle založeny na dvoufázových systémech s termoplastickou a elastomerní fází. Termoplastické elastomery mají za běžné teploty podobné vlastnosti jako pryž, ale zpracovávají se jako termoplasty. Vzhledem k těmto vlastnostem je odtud název termoplastické elastomery

1.1 Charakteristika termoplastického elastomeru

Pružné elastomerní vlastnosti lze u polymerních materiálů docílit blokovou kopolymerací tvrdých a měkkých bloků (např. SBS, SEPS, SEBS) nebo tzv. blendy-směsi termoplastu s částečně nebo vůbec nezesíťovaným kaučukem (např. EPDM/PP). V případě blokové kopolymerace tvoří tvrdé segmenty tzv. termoplastické domény (uzly sítě), které mají funkci jako fyzikální zesíťované prostory (viz. Obr. 1d). Domény v TPE jsou daleko větší než chemické vazby tvořící uzly sítě v klasických pryžích. Domény tvrdé fáze proto působí v TPE i jako plnivo a mohou mít příznivý vliv na mechanické vlastnosti, zejména při větších deformacích.

1.2 Struktura termoplastických elastomerů

Hlavní rozdíl mezi TPE a pryžemi je dán rozdílem ve vlastnostech uzlů sítě, které jsou u TPE nikoli chemické, ale fyzikální povahy. Z hlediska zpracování jsou vlastnosti TPE výhodné, protože přechod ze zpracovatelské taveniny k pevnému, elastickému tělesu je rychlý, vratný a nastává pouhým ochlazením taveniny. Při výrobě pryží musí kaučukové směsi k dosažení potřebných užitečných vlastností projít složitým vulkanizačním procesem.

Uzly sítě termoplastických elastomerů tvoří obvykle určité množství nemísitelných termoplastických domén, dispergovaných v kontinuální elastomerní fázi. Zatímco u konvenčních směsí polymerů působí na rozhraní fází poměrně malé síly, u TPE se vytvářejí fyzikální vazby, jejichž energie je srovnatelná s energií kovalentních vazeb. Domény v TPE jsou samozřejmě daleko větší než chemické vazby tvořící uzly sítě v klasických pryžích. Domény tvrdé fáze proto působí v TPE i jako plnivo a mohou mít příznivý ztužující vliv na mechanické vlastnosti, zejména při větších deformacích. Domény tvořící uzly jsou při pokojové teplotě tuhé a spojují elastomerní řetězce do trojrozměrné sítě. Při zahřátí tvrdé bloky

měknou a TPE je schopen toku. Vícefázová doménová struktura TPE někdy přetrvává i za zvýšených teplot v taveninách a komplikuje jejich reologické chování.

Vlastnosti TPE závisí jak na vlastnostech elastomeru, tak i na poměru mezi obsahem tvrdé a měkké fáze. Zpracovatelnost TPE ovlivňuje také molární hmotnost a stupeň mísitelnosti mezi měkkou a tvrdou fází. Odolnost proti olejům a rozpouštědlům je obvykle lepší, je-li tvrdá fáze krystalická, nebo lze-li do TPE přimíchat polymer schopný krystalizace. Rychlost stárnutí závisí u TPE na termooxidační a světelné odolnosti obou jeho základních složek.

Protože měkké i tvrdé domény TPE mohou být vytvořeny polymery různého složení, struktury, vlastností a různého stupně vzájemné mísitelnosti, existuje mnoho materiálů, které lze na základě jejich vlastností mezi TPE z ostatních polymerních systémů nevyděluje. Proto jejich klasifikace není jednoduchá.

1.3 Klasifikace termoplastických elastomerů

1.3.1 Podle chemické výstavby:

1.3.1.1 *Blokové styrenové kopolymery*

Patří sem především blokové butadien-styrenové kopolymery. Jejich výroba je umožněna moderní technologií iontové polymerizace. Typickým příkladem jsou styren-butadien-styrenové (SBS) kopolymery a jejich styren-isopren-styrenové (SIS) analogy.

Dále zde můžeme zařadit i blokové olefin-styrenové kopolymery. TPE tohoto typu mají centrální měkký kaučukový blok vytvořen ze statistického kopolymeru etylenu s propylenem (EP), nebo s butylenem (EB). Proto jsou výsledné TPE typu SEPS nebo SEBS v porovnání s předcházejícími odolnější vůči termooxidačnímu a povětrnostnímu stárnutí. Mají však na druhé straně menší pevnost a tažnost.

Do této kategorie spadají i kopolymery styrenu s karboxylovými sloučeninami.

1.3.1.2 *Polyuretany*

U polyuretanových elastomerů vznikají polyadici diolu a diisofyanátu blokové kopolymery, v jejichž struktuře se střídají tvrdé a elastomerní segmenty. T hrdé segmenty jsou polyure-

tany nebo polymočoviny a jsou obvykle krystalické. Amorfni elastomerni segmenty jsou polyethery nebo polyestery.

1.3.1.3 Polyetherestery

Strukturne jsou to striedajici se tvrdé krystalické segmenty polyesteru. Jejich morfologie je podobná styrenovým blokovým kopolymerům.

1.3.1.4 Kopolyamidy

Jsou to materiály, které mají v tuhém stavu vícefázovou polymerní strukturu. Toto znamená, že kromě krystalické a amorfni fáze, které jsou součástí semikrystalických polyamidů, tyto látky obsahují další polymerní fázi, většinou amorfni, která je tvořena modifikující polymerní složkou.

Z chemické stránky rozlišujeme:

-Kopolymery vyrobené polykondenzací prepolymerů, patří mezi ně polyetheramidy.

-Blokové a roubované kopolymery získané polymerizací laktamů.

-Modifikované polyamidy připravené reaktivním vstřikováním. Metoda reaktivního vstřikování (RIM) byla vypracována především pro výrobu polyuretanových výrobků z kapalných prepolymerů ve speciálních vstřikovacích strojích, opatřených zařízením pro mísení složek před nástřikem, případně použitím více forem, které obíhají mezi vstřikovacím strojem, linkou pro vytvrzování výstřiků a vyjímacím zařízením. Pro tuto metodu se hodí pouze vysoce reaktivní systémy, aby byl výrobní cyklus co nejkratší.

1.3.1.5 Směsi elastomerů s termoplasty

Tyto polymerní směsi jsou vyráběny intenzivním mícháním elastomeru a termoplastu. V některých případech je elastomerní fáze vulkanizována při intenzivním smykovém namáhání a dává dobrou disperzi síťovaného elastomeru ve tvrdém termoplastu. Tento proces je znám jako dynamická vulkanizace. Velký význam v této třídě má směs síťovaného EPDM, cena tohoto je asi dvakrát vyšší než styrenový TPE.

1.3.2 Podle fyzikálních vlastností:

Ukázalo se, že ačkoliv je rozdělení TPE podle chemické výstavky důležité, je také problematické. Proto se nabízejí jako rozlišovací kritérium fyzikální vlastnosti TPE, zejména změna vlastností s teplotou, tvrdost při pokojové teplotě, nebo modul elasticity. Pokud by se přihlíželo k rozsahu tvrdostí (SHORE), mohla by být jedna hranice pro rozdělení TPE na ty, co jsou blíže elastomerům a na ty co jsou blíže k termoplastům. U tvrdších polymerů se při daném zatížení vyskytují jenom odpovídající malé deformace, poté by se TPE daly rozdělit do tříd:

- směsi kaučuků a termoplastů (směsné TPE, např. EPDM/PP)
- měkké blokové kopolymery (víceúčelové TPE, např. SBS a sis)
- tvrdé blokové kopolymery (technické TPE, např. termoplastické polyuretany, kopolyestery a polyetheramidy)

1.4 Aplikace TPE dle fyzikálních vlastností

Díky své vysoké houževnatosti byly některé typy TPE použity k náhradě termoplastů. Jednou z prvních oblastí, kde se staly TPE komerčně důležité, je náhrada vulkanizovaných kaučuků. V této aplikaci jsou i značné ekonomické výhody, jako vyloučení přípravy směsi kaučuků s dalšími (vulkanizačními) přísadami, také vyhnutí se drahému procesu vulkanizace, která je poměrně pomalá a probíhá prakticky vždy za vyšších teplot. Naopak přeměna TPE z kapaliny ke kaučukovitému výrobku je rychlé, reverzibilní a probíhá za chlazení. Tato schopnost TPE dává výrobě možnost produkovat výrobky podobné pryži užitím rychlých postupů výroby vyvinutých pro plastikářský průmysl, např. vstřikováním a podobně. Odpad může být většinou recyklován. Bohužel měkké TPE mají malou odolnost k rozpouštědlům a olejům, proto mohou být použity jen v oblastech, kde nejsou tyto vlastnosti tak důležité a dále jako adheziva a polymerní modifikátory. Tvrdší produkty, založené např. na polyuretanech, polyesterech a polyamidech, mají větší odolnost k olejům a rozpouštědlům. Proto jsou používány i v takových aplikacích jako jsou brzdové hadice nebo těsnění a další součásti hnacích a řídicích systému automobilů nebo lokomotiv.

1.4.1 Blokové styrenové kopolymery

V rozsahu použití do +60 C se tyto materiály s tvrdostí do 60 Shore A chovají jako skutečný elastomer. Výrobky z těchto materiálů jsou levné a lehké. Jsou snadno zpracovatelné, dokonce i na strojích používaných žně pro zpracování kaučuku. Přesto nejsou často používány samostatně, ale ve směsích s dalšími materiály. Výsledné produkty většinou obsahují méně než 50% blokového kopolymery. Jejich aplikace mohou být rozděleny do tří tříd:

1.4.1.1 *Náhrada klasické pryže (vulkanizovaného kaučuku)*

Do této oblasti patří hlavně kopolymery typu SBS a SEBS. Tyto jsou vyráběny ve velkém rozsahu tvrdostí (35 Shore A až 55 Shore D). Pro SBS bývá jako přísada polystyren, dále oleje, popř. PE a pro snížení ceny bez většího vlivu na fyzikální vlastnosti se používají inertní vláknitá a prášková plniva (např. mastek nebo křída). Pro SEBS se jako preferovaná přísada užívá polypropylen, ten zlepšuje zpracovatelnost a zvyšuje horní teplotu použitelnosti a odolnost vůči rozpouštědlům.

1.4.1.2 *Adheziva, těsnící materiály a povlaky*

Toto je jedna z nejdůležitějších aplikací blokových styrenových kopolymerů. Vliv různých přísad závisí na tom, jaké materiály se spolu spojují. Přísady mohou přecházet do polyesterové fáze, elastomerní fáze, do obou fází, nebo do žádné z nich. Do první skupiny patří styrenové pryskyřice s vysokou teplotou měknutí. Zvyšují horní teplotu použitelnosti produktu. Protože zvyšují objem polystyrenové fáze, ztužují materiál. Podobně, přísady v elastomerní fázi materiál změkčují. Přísady, které pronikají do obou fází, jsou obvykle nežádoucí. Polymery, které nejsou mísitelné s žádnou fází (např. polypropylen), ovlivňují teplotu použitelnosti a ztužení produktů. Pro snížení ceny mohou být přidávána plniva. Produkty jsou aplikovány ve formě roztoku nebo taveniny. Preferovány jsou taveniny, které umožňují vyhnout se problémům spojeným s rozpouštědly (hořlavost, toxicita a znečištění ovzduší).

Některé konečné použití jsou:

Adheziva citlivá na tlak jsou pravděpodobně nejstarším použitím polymerních směsí typu PS/SEBS. Produkty jsou obvykle aplikovány jako taveniny, ačkoli i forma roztoku je možná a má výhodu nízké viskozity. Konečné použití zahrnuje různé druhy pásků a štítků.

Montážní adheziva – preferovány jsou SBS a SEBS ve formě taveniny.

Těsnicí materiály jsou dominantní aplikací SEBS. Obě formy, tavenina i roztok, jsou důležité. Taveniny jsou používány nejčastěji v automatizovaných procesech. Mohou být také zpěněny, např. při výrobě těsnících vložek, vytvářených až na místě použití. Roztoky se používají ve stavebním průmyslu během počátečních konstrukčních prací a v průběhu údržby a oprav.

1.4.1.3 Opláštění drátů a kabelů

Asfaltové směsi - tato aplikace se poněkud liší od výše uvedených. Styrenové TPE zvyšují teplotu měknutí asfaltů a bitumenů a také jejich pružnost (elasticitu). Dále zvyšují tuhost, pevnost v tahu a elastické zotavení konečného produktu. Aplikace zahrnují především silniční, chodníkové a střešní krytiny včetně opravárenských tmelů. Styrenové TPE se uplatňují i tam, kde vyžadujeme pružnost a vodovzdornost materiálu, např. v oblasti stavebních izolací.

1.4.1.4 Polymerní směsi

Blokové styrenové kopolymery jsou technologicky mísitelné s překvapivě širokou škálou polymerů. Řada termoplastických i reaktoplastických polymerů může být touto cestou modifikováno.

1.4.2 Polyuretany

Oproti blokovým styrenovým kopolymerům jsou tvrdší, pevnější, dražší a odolnější vůči olejům a rozpouštědlům. Rozsah jejich tvrdosti je široký (od 65 Shore A do 75 Shore D). V nižším stupni tvrdosti do 85 Shore A konkurují vulkanizovaným kaučukům, ve stupni tvrdosti nad 55 Shore D termoplastům, reaktoplastům a kovům, mezi 40 a 55 Shore D konkurují elastomerním směsím, termoplastickým kopolyesterům a polyetheramidům. Jejich použití může být samostatné nebo v polymerních směsích.

1.4.3 Náhrada vulkanizovaného kaučuku

Toto je nejdůležitější konečné využití polyuretanových blokových kopolymerů. Mohou se zde použít pracovní techniky pro konvenční termoplasty, tj. vstřikování, vytlačování atd. Důležitým krokem před vlastním zpracováním je sušení. Pokud by se materiál nevysušil, výsledný produkt by obsahoval póry a snáze by degradoval. Doporučená doba sušení je v rozmezí 1-2 hodiny při teplotě 100 °C. Po dokončení procesu mohou být produkty vystaveny přes noc teplotě asi 115 °C. Další významné aplikace využívají vysoké odolnosti vůči oděru a houževnatosti těchto polymerů. Zahrnují válce, ozubená kola, podrážky, kolečka, řemenové pohony a průmyslové hadice. Polymery s polyetherovými elastomerními segmenty našly uplatnění i v medicíně (implantáty).

1.4.4 Polymerní směsi

Blokové polyuretanové kopolymery jsou míchány s velkým počtem dalších termoplastů a elastomerů. Pravděpodobně nejdůležitější je měkký PVC. Podobně jako SEBS, mohou být míchány reaktivním silikonovým kaučukem za vzniku produktů použitelných v medicíně a aplikacích.

1.4.5 Polyetherestery

Podle délky tvrdých a měkkých segmentů a podle poměru jejich zastoupení představují měkčí (35 Shore D) a pružnější nebo tvrdší (např. 72 Shore D) materiály. Díky svým vysokým mechanickým pevnostem, tepelné odolnosti, odolnosti vůči bobtnání v olejích, alifatických a aromatických uhlovodících, alkoholech a současně dobré elasticitě a vysokému modulu v ohybu, jsou velmi zajímavé pro mnoho upotřebení.

Ve srovnání s polyuretany mají vyšší moduly (tj. jsou tužší), jsou odolnější vůči studenému toku a vykazují menší změny modulů s teplotou. Částečně se jimi nahrazují pryže z kaučuků odolných vůči olejům pro jejich lepší fyzikální vlastnosti (např. pevnost v tahu) při teplotách nad 150 °C. Mohou být zpracovávány vstřikováním, vytlačováním a vyfukováním na folie. Zpracování je snadnější než u polyuretanů, protože tepelné degradace je zde menším problémem. Aplikace zahrnují pružné spojky, těsnící kroužky, zavazadlové prostory automobilů, hydraulické a jiné hadice, lyžařské boty atd.

1.4.6 Polyetheramidy

Tvrlosti obchodních produktů jsou od 60 Shore A do 65 Shore D, tzn., že měkké typy dosahují dále v klasickém elastomerním chování než termoplastické kopolyestery. Používají se především jako náhrada vulkanizovaného kaučuku. Hlavní aplikací jsou podrážky a někdy i celá obuv, např. sportovní a lyžařské boty.

1.4.7 Směsi elastomerů s termoplasty

Tato třída TPE má široký rozsah tvrdostí. V oblasti od 55 do 85 Shore A vykazují dobré elastické vlastnosti. Ve vyšších stupních tvrdosti vyplňují mezeru mezi elastomerem a termoplastem. V nejvyšších stupních tvrdosti konkurují houževnatým termoplastům. Vysoké teploty T_m vyžadují zpracování na strojích pro plasty.

Z této třídy mají největší význam směsi PP s EPDM. Mají mnoho aplikací v automobilovém průmyslu a v oblasti izolací vodičů. Podmínky zpracování jsou podobné jako u PP a produkty jsou relativně stabilní, degradace během zpracování nebývá problémem. Odpad může být snadno znovu zpracován.

1.5 Souhrn

Ekonomický aspekt termoplastickým elastomerů není jednoduše jen funkcí jejich ceny. Pokud by byl, jejich komerční úspěšnost by byla malá, protože cena jejich surovin je větší než cena konvenčních kaučuků. Stejně důležité a možná i důležitější je množství prostředků ušetřených díky rychlým procesům, recyklaci odpadů atd. Dalším faktorem jsou zpracovatelské technologie, které se zavádějí do gumárenského průmyslu. Ty zahrnují kromě vstřikování (např. podrážek) také vyfukování, nebo zpracování taveniny. Vlastnosti termoplastických elastomerů by měli být vzaty při hodnocení těchto TPE jako náhrady mnoha konvenčních materiálů, než jako jednoduché cenové srovnání.

1.6 Výhody a nevýhody termoplastických elastomerů

Na rozdíl od kaučukových směsí, ve kterých se vzhledem k možnosti navulkanizování sleduje maximální teplota během zpracování, u TPE musí technologický postup zajistit určitou minimální teplotu taveniny, aby v budoucím výrobku nevznikaly studené spoje. TPE jsou proto citlivější na rozdíly teplot během zpracování.

Další rozdíl mezi TPE a kaučukovými materiály je v tom, že kaučukové směsi mohou prostupovat i otvory menšími než 0,03 mm a vyžadují proto vysoce těsné formy, kdežto formy pro zpracování TPE takovou těsnost nevyžadují. Při zpracování TPE není také nutno věnovat přílišnou péči přetokům a jinému technologickému odpadu, protože jej lze drtit a znovu použít. Mimo jednodušší zpracování a možnost recyklace odpadu se jako hlavní výhody TPE ve srovnání s klasickou pryží uvádějí nižší cena hotových výrobků, širší možnost volby barvy materiálu podle požadavků aplikace a rovnoměrnější kvalita výrobků.

TPE mají samozřejmě i své problémy a nedostatky. Největším problémem již před začátkem zpracování je obsah vlhkosti. Voda může při zpracování TPE vyvolat defekty na povrchu nebo uvnitř materiálů již v množstvích pouhých 0,2 až 0,3 %, které v kaučukových směsích nevadí. Pokud se TPE nezpracuje bezprostředně po otevření originálního obalu, zajištěného výrobcem proti vlhkosti je nutno materiál obvykle sušit 2 až 4 hodiny.

Hlavními problémy TPE v některých aplikacích se týkají především horších vlastností za zvýšených teplot a větší trvalé deformace ve srovnání s pryží.

2 IONIZAČNÍ ZÁŘENÍ

Pojem záření je definováno jako šíření energie prostorem ve formě korpuskulárního a elektromagnetického záření. Korpuskulární záření je druh částicového záření, které představuje proud částic s nenulovou klidovou hmotností (α , β , jaderné a neutronové záření). Elektromagnetické záření má tvar příčné vlny charakterizované dvěma na sebe navzájem kolmými vektory (intenzitou elektrického pole a magnetickou indukcí). Jádro při radioaktivním rozpadu samovolně emituje jádra ${}^2\text{H}^4$ – záření α , elektrony – záření β nebo fotony – γ záření, čímž se buď zbavuje své jaderné excitační energie, nebo dosahuje konfigurace, která má větší stabilitu, nebo konfiguraci s větší stabilitou. Při všech přeměnách ubývá vyzařujícího prvku s časem exponenciálně, to znamená, že radioaktivní přeměna prvku je statistický děj, při němž nestálost jader je pro každý druh záření konstantní, a tedy pravděpodobnost, že se jádro přemění během časového intervalu.

Tab. 1 Frekvence a vlnová délka různých typů elektromagnetického záření

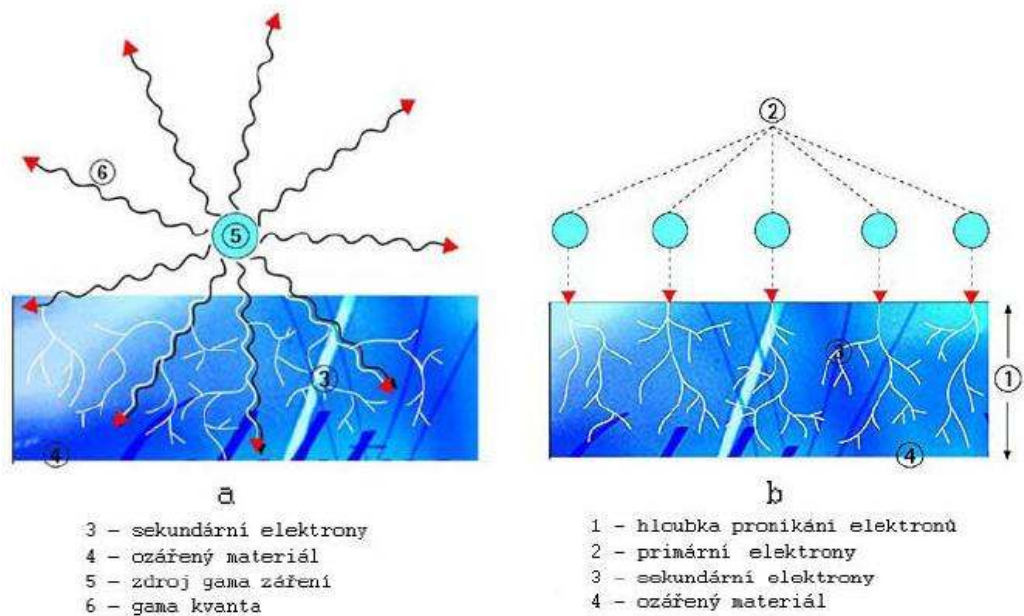
Záření	Vlnová délka [μm]	Frekvence [Hz]
Viditelné	10 ⁻¹	10 ¹⁴
Ultrafialové	10 ⁻² - 1	10 ¹⁵ - 10 ¹⁷
Mikrovlnné	10 ³ - 10 ⁵	10 ¹⁰ - 10 ¹²
Elektronové	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁴	10 ¹⁸ - 10 ²¹
Gama	10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁷	10 ²¹ - 10 ²³

2.1 Vlastnosti a rozdíly elektronového beta záření a gama záření

V případech těchto dvou ionizujících záření se jedná buď o částicové záření (elektronové – beta záření) nebo o elektromagnetické vlny (záření gama). Při použití těchto technologií dojde u polymerních materiálů k radiačnímu síťování, které je v první řadě závislé na určité dávce ozáření, kdy tato dávka změní vlastnost materiálu. Materiál absorbuje množství energie na jednotku hmoty.

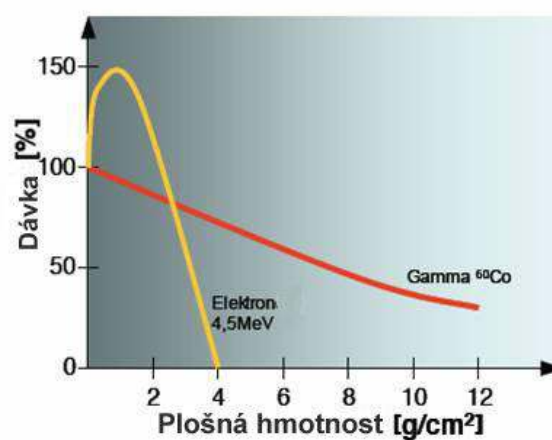
Průchodem elektronů beta záření materiálem následuje aktivace a ionizace molekul v ozářeném materiálu (Obr. 1b).

Pronikáním elektromagnetických vln gama záření do materiálu dochází k různým na sebe vzájemně působícím procesům, při nichž vznikají sekundární (excitované) elektrony, které aktivují a ionizují molekuly ozařovaného materiálu (Obr.1a).



Obr. 1 Schéma pronikání elektronového beta záření a elektromagnetického gama záření

Jako hlavní rozdíl mezi zářením beta a zářením gama je schopnost pronikání záření materiálem a intenzita dávky ozáření. (Obr. 2).



Obr. 2. Schopnost pronikání gama a elektronového záření

V zařízeních s urychlovači elektronů se pracuje s vysokými intenzitami dávek ozáření, ale s omezenou hloubkou pronikání závislou na energii. Naopak je tomu u záření gama, které má vysokou schopnost penetrace (hloubky pronikání záření) při relativně nízké intenzitě dávky ozáření. Výkon dávky ozáření je závislý na instalované celkové aktivitě gama záření. Z hlediska technického použití to znamená, že v urychlovačích elektronů je v průběhu několika sekund dodána dávka, pro kterou by zařízením se zářením gama potřebovala několik hodin. Proto je v průmyslově využívaných gama zařízeních ozařováno více m³ současně.

Z důvodu potřeby relativně vysokých dávek záření potřebných pro síťování polymerních materiálů je v současnosti používáno převážně beta záření.

I když se stále více v průmyslu využívá gama záření k síťování plastů z důvodu větší hloubky pronikání elektronového záření, například je tomu tak u složitých objemových tvarových dílů, tak hlavní oblastí použití gama záření je radiační sterilizace zdravotnických produktů a potravin.

Tab. 2 Srovnání charakteristik elektronových urychlovačů a gama záření

Charakteristika	Elektronový urychlovač	Gama zařízení
Výkon [kW]	150	15-75
Průchodnost [kGy-tun/hod]*	30	1,5
Energie [MeV]	4,5	1,3
Hloubka proniknutí[cm]	4,0	20
Dávka	100 kGy/s	10kGy/h

* Množství ozářeného materiálu při dané dávkové intenzitě

2.2 Elektronové beta záření

Toto záření se skládá ze záporných elektronů, a proto je přesněji označujeme β^- , aby byly odlišeny od záření β některých umělých radioaktivních nuklid, složených z kladných pozitronů β^+ . Beta záření obsahuje obecně dva elektrony, z nichž některé dosahují sice pro každý zářič zcela určité maximální energie, ale energie ostatních elektronů má různé hodnoty, jenž jsou spojitě rozloženy mezi nulovou a maximální hodnotou. V jádře atomu vzniká tzv. primární záření na rozdíl od sekundárního záření, které vzniká jako druhotný jev podmíněný zářením gama.

Průchodem prostředí se zmenšuje energie částic β různými interakcemi s atomy okolí, z nichž nejúčinnější je ionizace, vznik brzděného záření a rozptyl. Když se elektron přiblíží

k elektronovému obalu některého atomu, je silně přibrzděn. Rychlost jádra v klidové soustavě elektronu se pohybuje rychlostí blízkou světla.

Elektrony lze urychlovat uměle, v takzvaných urychlovačích elektronech.

Tab. 3 Rychlost a hmotnost elektronu v závislosti na napětí

Urychlující napětí [V] [μm]	Rychlost [m/s]	Hmotnost [kg]	m/me
102	$5,95 \cdot 10^6$	$9,12 \cdot 10^{-31}$	1,001
103	$1,87 \cdot 10^7$	$9,15 \cdot 10^{-31}$	1,004
104	$5,85 \cdot 10^7$	$9,30 \cdot 10^{-31}$	1,02
105	$1,65 \cdot 10^8$	$11,0 \cdot 10^{-31}$	1,2
106	$2,97 \cdot 10^8$	$64,6 \cdot 10^{-31}$	7,1

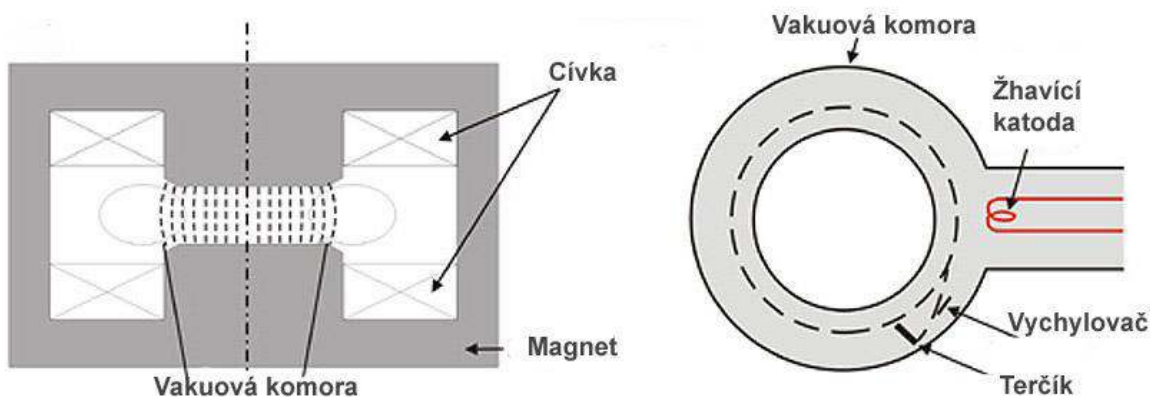
2.2.1 Typy elektronových urychlovačů

2.2.1.1 Elektronový urychlovač typu Betatron

Elektronu lze udělit rychlost blízkou rychlosti světla, přičemž hmotnost elektronu vzroste asi na sedminásobek jeho klidové hmotnosti. K získání dostatečného množství elektronů s velmi značnou energií (až 100 MeV), které dávají vznik záření beta, sestrojil již v roce 1941 Kerst indukční urychlovač – Betatron na principu uzavřeného vodiče, jehož plochou prochází indukční tok, který indukuje elektromotorické napětí (Faradayův zákon). Elektromotorické napětí urychluje volné elektrony obsažené ve vodiči. Jejich pohyb je brzděn odporem vodiče. Nahradíme-li vodič trubici ve tvaru kruhového prstence, musíme pomocí magnetického pole udržet elektrony v kruhové dráze. Na celém obvodu je elektromotorické napětí a vzniká zde potenciální spád. Tento spád působí na elektron jako urychlující síla. V Betatronu se dosahuje velké rychlosti elektronů pomocí stálé kruhové dráhy po mnoho oběhů. Tečná síla urychluje elektrony ve vakuové trubici betatronu, a to při každém oběhu. Střídavé pole se používá proto, aby při zmenšování indukčního toku se elektrony zase nezpomalily.

Betatron je tvořen prstencovou komorou mezi pólovými nástavci napájeného střídavým proudem o frekvenci 50 Hz. V řezu kolmém k ose urychlovací trubice je elektronová tryska, z níž jsou vystřelovány elektrony s energií 35 až 50 keV v tečném směru prstencové

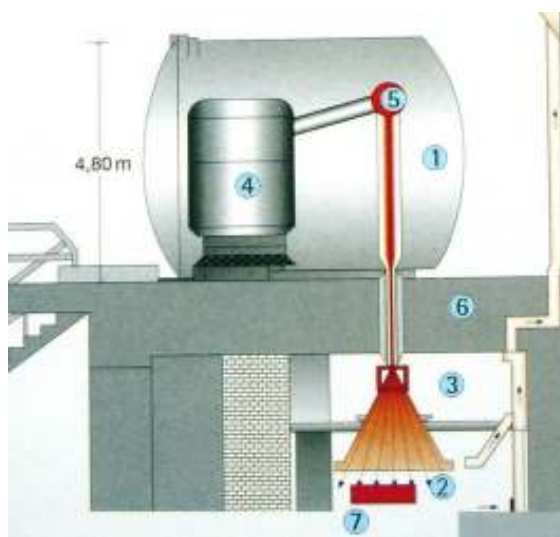
komory. Vystřelování trvá $2 \mu\text{s}$ a opakuje se vždy po 20 ms na počátku každé periody buďícího proudu ve vinutí elektromagnetu. Elektronů jsou nejprve slabým magnetickým polem přivedeny na kruhovou dráhu, na které vykonají během méně než 5 ms 1,6. 10⁶ oběhů, během nichž roste s indukci i energie, až dosáhne 15 až 100 MeV. Pak je dráha spirálovitě stočena k urychlovací trubici, kde elektrony dopadnou na wolframový terčik. Přes něj jsou emitovány do okolí.



Obr. 3 Schéma betatronu.

2.2.1.2 Elektronový katodový lineární urychlovač

Základní princip tohoto urychlovače (používaného v současnosti) je srovnáván s Braunovou elektronkou. Ohřívá se zde žhavicí katoda a ta vysílá elektrony, které jsou urychlovány v elektromagnetickém poli. Rychlost, respektive energie elektronů, je závislá na střídavém napětí mezi žhavicí katodou a anodou (potencionální spád). Vysoké napětí (kolem 104V) je uloženo pod vysokým vakuem (méně než 2 Pa), ve svislé trubici. Z katody vycházejí elektrony, jsou „vázány“ elektromagnetickým polem do svazků a urychlovány. Pomocí magnetického, střídavého pole, je proud elektronů odchýlen tak, že na ústí jsou rozloženy do vějíře a jako proud procházejí titanovou folií, jež zabraňuje úniku vakua do okolního prostředí. Tento urychlovač elektronů je umístěn v tlakovém zásobníku (aby nedošlo k probití napětí), který je naplněn izolujícím plynem.



Obr. 4 Schéma elektronového katodového lineárního urychlovače

1 - tlaková nádoba naplněná izolačním plynem, 2 - titanová fólie, 3 – vychylovací magnet, 4 – vysokonapěťový generátor, 5 – termokatoda, 6 – stínění betonu, 7 – produkt

2.2.1.3 Elektronový urychlovač typu Rodotron

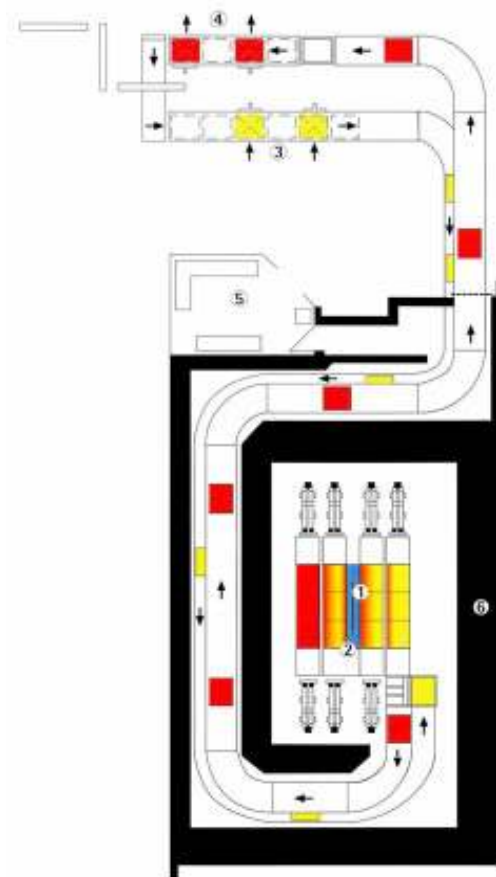
Funkce tohoto urychlovače, je obdobná, jako u předchozího popsaného typu urychlovače. Princip je tento: žhavicí katoda vysílá elektrony do urychlovacího prostoru. V tomto prostoru se nachází vysoké vakuum (okolo 1,8. 10⁻⁹ torru) utvořeno vývěvou. Proud elektronů prochází chlazeným vysokofrekvenčním měničem, kde se mění polarita elektronu a takto, repolarizován, je poslán k magnetu. Průchodem magnetem jsou elektrony urychleny a odkloněny opět směrem k vysokofrekvenčnímu měniči. Tento proces se opakuje průchodem přes všechny magnety, až elektrony dosáhnou potřebné energie 10 MeV. Takto urychlené elektrony jsou směřovány, z urychlovače, do vakuové trubice. Ozařované předměty jsou umístěny obvykle v patře pod tímto urychlovačem. Usměrnění elektronů z vakuové trubice se děje opět směrovým elektromagnetem, který odkloní elektrony požadovaným směrem.

2.3 Gama záření

U průmyslových zařízení se zařízením gama se v současnosti obvykle používá jako zdroj záření radionuklid kobaltu (CO^{60}), který emituje záření gama se střední energií cca 1.3 MeV a vysokou hloubkou vniknutí – penetrací. Tyto účinky například společnost BGS používá jako jednotky ozařování průmyslové palety tzv. europalety.

Celkové dávky ozáření se dosahuje opakovaným objížděním palet kolem zdroje, vzhledem k době ozařování až několika hodin v závislosti na požadované dávce se v poli záření může nacházet až 24 palet.

Oproti elektronovým urychlovačům není možné samotný zdroj u gama záření vypnout. Aby bylo možné bez rizika vstoupit do ozařovacího prostoru, musí být záření odcloněno. Z tohoto důvodu jsou zdroje CO^{60} ponořeny do vodní nádrže. Funkci clony tedy plní sloupec vody nad zdrojem záření.



Obr. 5 Gama zařízení

1 – zdroje CO^{60} , 2 – vodní nádrž, 3 – nakládací stanice, 4 – vykládací stanice, 5 – řídicí stanoviště, 6 – betonové stínění

Charakteristika gama zařízení BGS

Zdroje záření: zapouzdřený izotop CO^{60}

Max. kapacita: 5 Mci

Výkon: 75kW

Lokalita: Wiehl

Ozařovaná jednotka: průmyslová paleta 1200 x 1000 mm

europaleta 1200 x 800 mm

Max. výška 1900 mm (včetně palety)

3 SÍŤOVÁNÍ

S pojmem síťování se máme možnost setkat v mnoha oblastech i mimo sféru techniky. V technické oblasti vzniká v důsledku zesíťování (vulkanizace) z kaučuku materiál schopný většího zatížení jako je pryž.

U plastů je síťování chemický proces, kdy v průběhu tohoto procesu se jednotlivé molekuly plastů chemicky navzájem spojují. V ideálním případě pak dojde k začlenění všech molekul do této sítě. Tento chemický proces může být u mnohých plastů spuštěn ozářením. Tímto ozářením jsou přetvářeny např. termoplasty na materiály vykazující v určitých teplotních oblastech vlastnosti elastomerů. U elastomerů nebo částečně síťovaného systému jsou vytvořeny ozářením další místa síťování (dodatečně jsou ozářením získána nesíťovaná místa).

Mezi nejdůležitější vlastnosti síťovaného systému patří tažnost a pružnost, kdy tyto vlastnosti přetrvávají i při dlouhodobém teplotním a mechanickém zatížení.

Pro síťování za použití ozáření není často třeba využít žádné další přísady. Výhodou procesu síťování je, že tento proces je proveden až po zpracovatelském procesu (např. vytlačování, vstřikování nebo vyfukování).

Radiační síťování probíhá při pokojové teplotě bez následného namáhání výrobků. Mezi výhody také patří variace ozařovacích parametrů, kterými lze v ozařovaném dílu měnit stupeň síťování a dále tak ovlivňovat vlastnosti materiálu podle požadovaných nároků.

Při síťování se používají záření beta a gama, které iniciují na základě svých energií chemické procesy. Při těchto procesech nezávisle od délky ozařování nemůže v používaných průmyslových zařízeních ani v ozářených produktech vzniknout žádná radioaktivita.

Základním předpokladem u radiačního síťování je, že působením ionizačního záření převážně materiál síťuje a ne degraduje. V některých případech polymerů je zapotřebí přidání pomocného síťovacího činidla. Síťovací činidla jsou pro radiační síťování u komerčních směsí v současnosti používány například zvláště ke zlepšení výsledných vlastností materiálu, k redukci dávek záření a ke snížení hořlavosti.

Hlavním předpokladem je přítomnost tří a více funkčních monomerů, kdy interakcí polymeru se zářením vznikají polymerní radikály (rozpad vazeb C-H), tyto vazby pomocí rekombinace vytvoří v řetězci síť a to spojením dvou volných radikálů mezi sousedními ře-

těžci za vzniku vazby C-C. Síťování je prováděno nejčastěji beta elektronovým a gamma zářením.

3.1 Radiačně síťovatelné polymery

Rozhodujícím faktorem pro výběr vhodného materiálu k radiačnímu síťování je oblast využití výrobku, kdy využitím technologie radiačního síťování mohou být tyto výrobky realizovány s mimořádnými technickými vlastnostmi a ekonomickými zisky. Průmyslově je využíváno síťování u výrobků z elastomerů, termoplastů a termoplastických elastomerů.

(*) v některých případech polymerů je zapotřebí přídavek pomocného činidla. Ve většině komerčních směsí pro radiační síťování jsou v současnosti používány síťovací činidla, která slouží ke zlepšení vlastností, k redukci dávek záření, ke snížení hořlavosti a jiné).

Přehled radiačně síťovatelných polymerů

Elastomery:

ACM, polyakrylátový kaučuk
 BR, polybutadienový kaučuk
 CR, polychloroprenový kaučuk
 CSM, chlorsulfonovaný polyetylen
 FPM, fluor kaučuk
 IR, polyizoprenový kaučuk
 NBR, butadien akrylonitrilový kaučuk
 NR, přírodní kaučuk
 SBR, butadien styrenový kaučuk
 SBS, styren-butadien-styrenový kopolymer (*)
 SI, silikon

Termoplastické elastomery:

FPM, fluor kaučuk
 TPE-E, polyesterový termoplastický elastomer (*)
 TPE-O, polyolefinický termoplastický elastomer
 TPE-S, polystyrenový termoplastický elastomer
 TPE-U, polyuretanový termoplastický elastomer (*)
 TPE-V, zesíťovaný polyolefinický termoplastický elastomer

Termoplasty:

Polyolefiny:

CSM, chlorsulfonovaný polyetylen
 EEA, kopolymer etylenu s akrylátem
 EPDM, ethylenpropylendienový kaučuk
 EPM, ethylenpropylenový kaučuk
 EVA, kopolymer etylenu s vinylacetátem
 PE, polyetylen (LDPE, HDPE, LLDPE,..)
 CM, chlorovaný polyetylen
 PP, polypropylen (*)

Polyestery:

PBT(P), polybutylentereftalát (*)
 UP, nenasycená polyesterová pryskyřice

Halogenované polymery:

CSM, chlorsulfonovaný polyetylen
 ETFE, kopolymer etylenu s tetrafluorethylenem
 FPM, fluor kaučuk
 PVC, polyvinylchlorid (*)
 PVDF, polyvinylidenfluorid

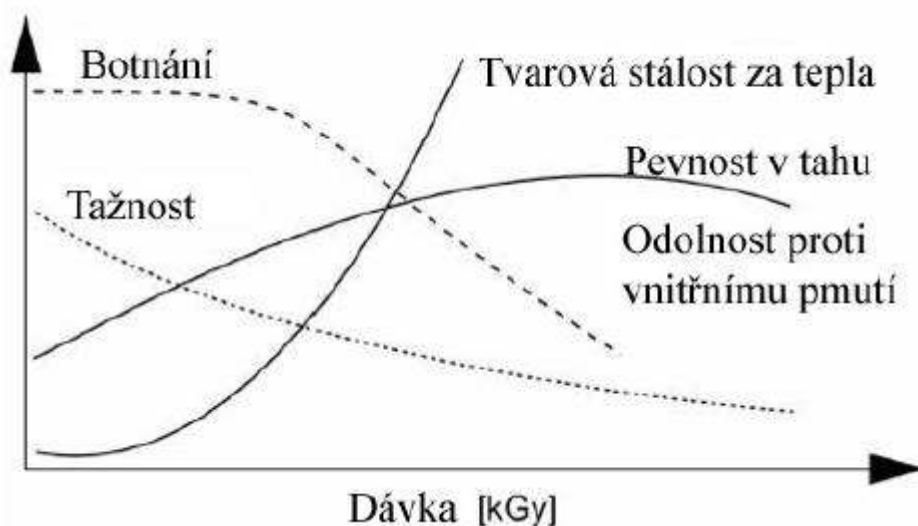
Další polymery:

PA, polyamid 6., 6.6, 11., 12 (*)
 PVAL, polyvinylalkohol

3.2 Zlepšení vlastností plastů radiačním ozářením

Vlivem radiačního síťování některých termoplastů jsou tyto jejich vlastnosti změněny takovým způsobem, že se v širokých oblastech teplot chovají jako elastomery. Elastomerické vlastnosti těchto síťovaných termoplastů se projevují především nad teplotou tání krystalů, respektive teplotou skelného přechodu neupraveného polymeru.

Výsledkem procesu radiačního síťování poté může původně termoplastický výrobek odolávat vyšším teplotám než předtím. Tvarová stálost za působení tepla je značně zlepšena v porovnání s výchozím termoplastickým materiálem.



Obr. 6 Charakteristika vlastností termoplastů v závislosti na dávce ozáření

3.2.1 Radiačním síťováním lze měnit následující vlastnosti plastů:

- nárůst modulu
- zvýšení pevnosti (zejména z dlouhodobého hlediska)
- pokles poměrného prodloužení při přetržení (tažnosti)
- redukce studeného tečení (creepu)
- nárůst tvrdosti (Shore)
- zlepšení meze únavy (při střídavém ohybu)

- zlepšení povrchové pevnosti vůči otiskům a nespojitosti vstříkovaných dílů
- zlepšení odolnosti proti vnitřnímu pnutí a redukce přenosu a růstu
- zlepšení zotavení materiálu (memory effect)
- zlepšení ošetrivzdornosti (podmíněně)
- zlepšení chování při dlouhodobém zatížení vnitřním tlakem

Výrazně se ukazuje toto zlepšení např. u smykového modulu jako funkce teploty, kdy parametrem je dávka odpovídající stupni zesíťování. U nezesíťovaných termoplastů smykový modul po překročení teploty přechodu klesne prakticky na nulu, ale u zesíťovaného termoplastu lze naměřit menší modul, který se v závislosti na stupni zesíťování zvyšuje.

Tečení pod zatížením (creep) může být stanoveno při zkoušce tečení v tahu. Při zkoušce tečení v tahu lze také měřit odolnost proti vzniku trhlin způsobených pnutím. Kromě mechanického zatížení je materiál vystaven i chemickému zatížení.

3.2.1.1 U tepelných vlastností dochází v důsledku síťování k:

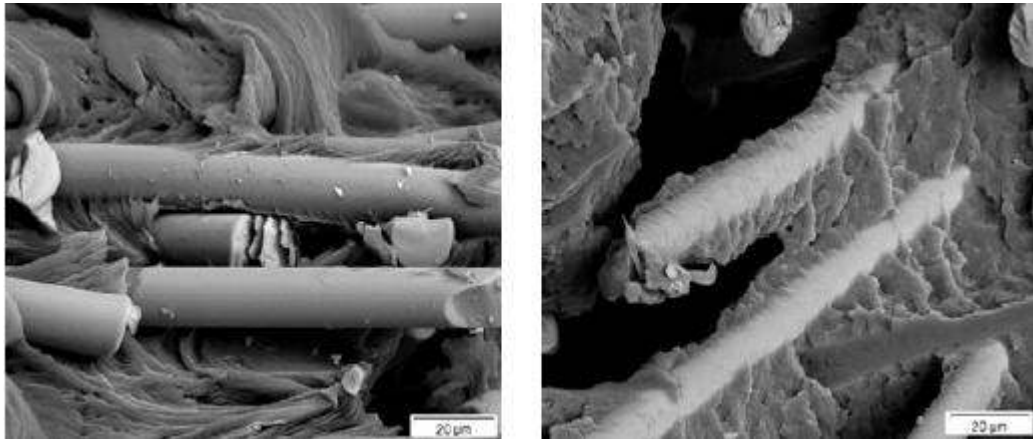
- zlepšení tvarové stálosti za tepla
- cílenému nastavení tepelné roztažnosti
- zlepšení trvalé deformace při zatížení tahem (tlakem)
- zvýšení tepelné odolnosti
- zvýšení odolnosti proti vniknutí žhavého drátu
- vyšší odolnost vůči stárnutí

3.2.1.2 Mezi zlepšené chemické vlastnosti patří:

- snížení rozpustnosti
- zlepšení odolnosti proti bobtnání
- zvýšení odolnosti proti vzniku trhlin způsobených pnutím
- zlepšení odolnosti vůči hydrolýze a zvýšená olejuvzdornost

3.2.2 Vliv ozáření na přílnavost matrice k vláknům

Výsledné vlastnosti kompozitu plněného částicovým plnivem závisí na fyzikálních vlastnostech složek (matrice, plnivo). Pro výsledný přenos napětí na výztuž a výsledné mechanické vlastnosti má velký vliv soudržnost matrice s plnivem. Pomocí radiačního ozařování beta a gama zářením se pro různé materiály dosahuje tzv. navázání struktury matrice k výztuži a toto vede k zvýšení pevnosti.



Obr. 7 Struktura neozařeného materiálu, struktura ozařeného materiálu

Zdroj: LKT-Erlangen – Lomová plocha při tahové zkoušce

REM RE-Detekto

Material: PA6 GF30 (99kGy)

4 POUŽITÍ IONIZAČNÍHO ZÁŘENÍ V PRAXI A POUŽÍVANÉ JEDNOTKY

4.1 Kabely a izolované vodiče

Proces radiačního síťování je používán po řadu let pro výrobu tepelně odolných kabelů a vodičů. Umožňuje vysokou flexibilitu ve volbě surovin. Dále poskytuje cílené zlepšení vlastností, výrobně-technické a ekonomické výhody. Takto mohou být radiačně zesíťovány např. bezhalogenové polyolefiny odolné proti hoření a termoplastické elastomery (TPE).

Zlepšení vlastností izolací a plášťů kabelů:

Tvarová stálost za tepla

- teplotní roztažnost (Hot-Set)
- odolnost proti tlaku za vyšší teploty
- tepelná odolnost podle Vicata (podmíněně)
- odolnost proti teplotním špičkám

Vyšší odolnost proti chemikáliím

- odolnost proti vnitřnímu pnutí a redukce šíření trhlin
- odolnost proti olejům
- odolnost proti hydrolýze
- zlepšení elastických vlastností

Vyšší mechanická odolnost

- pevnost v tahu
- mez únavy při namáhání středovým ohybem
- odolnost proti otěru (podmíněně)

Zlepšení odolnosti proti stárnutí

4.2 Trubky a hadice

Radiačním síťováním je v současnosti v Německu vyráběno přibližně 100 milionů PE trubek pro podlahová topení a vodovodní sítě. Dosahuje se tak vyšší teplotní stability za současného zlepšení hodnot časové pevnosti tlakového napětí a podstatně vyšší odolnosti proti vzniku trhlin napětím.

Zlepšené vlastnosti trubek a hadic:

Mechanické vlastnosti

- nárůst Youngova modulu pružnosti
- pevnost v tahu
- odolnosti proti vnitřnímu tlaku
- mez únavy při cyklickém namáhání
- tečení při zatížení
- tok za studena

Tvarová stálost za tepla

- teplotní roztažnost (Hot-Set, Hot-Modul)
- vyšší pracovní teploty

Vyšší odolnost proti chemikáliím

- odolnost proti olejům
- odolnost proti hydrolýze
- odolnost proti trhlinám způsobených pnutím a redukce šíření trhlin

4.3 Díly vyrobené vstřikováním

Získané zkušenosti radiačního síťování hadic, trubek a izolací kabelů, byly přeneseny na díly vyráběné vstřikováním. Kromě klasických termoplastů jako polyetylen, etylenové kopolymery, měkčené PVC a jejich směsi se více používá konstrukčních termoplastů jako polyamid, polybutylentereftalát, polyuretan a termoplastické elastomery. Síťovány jsou i výstřiky pro elektrotechniku, které musí odolávat krátkodobému vysokému teplotnímu zatížení. V řadě případů mohou být termosety (duroplasty) nahrazeny síťovanými termoplasty. V obalové technice je možné plnit vysoké nároky na chemickou a mechanickou odolnost plastových uzávěrů obalů jejich radiačním zesíťováním. Zmenšením trvalých deformací při tlakovém namáhání radiačním síťováním je využíváno u těsnících a tlumících elementů.

Zlepšení vlastností dílů vyrobených vstřikováním:

Mechanické vlastnosti

- pevnosti
- nárůst Youngova modulu pružnosti
- Creepové chování (studený tok)
- Pevnosti v ohybu při cyklickém namáhání
- Pevnost studených spojů

Chemické vlastnosti

- odolnost proti trhlinám způsobených pnutím a redukce šíření trhlin
- odolnost proti bobtnání
- odolnost proti hydrolýze
- odolnost proti olejům a mazivům

Tepelné vlastnosti

- tvarové stálosti za tepla
- odolnosti působení žhavým drátem
- tlakové formování zbytků

- odolnosti vůči hoření

4.4 Další oblasti použití

Například u drahokamů se ozářením dosáhne změny jejich zbarvení, která potom více vyhovují estetickým požadavkům. Tento efekt nastává také při ozáření skel a pigmentových termoplastů. Dále také přísné předpisy na ochranu životního prostředí, zlepšení hygieny a zvyšující se požadavky z oblasti diagnostiky vedou ke stále rozsáhlejšímu využívání technologie radiačního ozařování. To se využívá pro rozsáhlou oblast sterilizace zdravotnických výrobků a laboratorního vybavení, atd.

4.5 Měrné jednotky používané u ionizačního záření

Energie:

Kinetická energie, kterou získá elektron při průchodu potencionálním rozdílem 1 V, ve vakuu.

eV (elektron volt) $1\text{eV}=1,602177 \times 10^{-19} \text{ J}$

Dávka:

Absorbovaná energie záření/hmoty

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

Dávková intenzita:

Absorbovaní energie záření za čas

Gy/s (Gray za sekundu) $1 \text{ Gy/s} = 1 \text{ Watt/kg}$

Penetrace – hloubka proniknutí:

Velikost hloubky proniknutí je úzce závislá na energii

MeV (mega elektron volt)

Aktivita:

Výkon radioaktivních paprsků záření je charakterizován jejich aktivitou

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

1 Ci (Curie) $1 \text{ Ci} = 37 \times 10^{10} \text{ Bq}$

II. CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské bylo porovnání mechanických vlastností ozářeného a neozářeného TPE. Dávky použité k ozáření TPE byly použity v rozsahu 0, 66, 99, 132, 165 kGy.

Výsledky testů byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

Postup řešení:

- vypracovat literární studii na dané téma
- příprava zkušebních vzorků pro porovnání mechanických vlastností
- provedení porovnání mechanických vlastností
- vyhodnocení naměřených výsledků

III. PRAKTICKÁ ČÁST

5 MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ TPE

Pro praktickou část byl vybrán termoplastický elastomer TPE, který byl ozářen elektronovým beta zářením dávkami 0, 66, 99, 132, 165 kGy. U TPE byly porovnávány mechanické vlastnosti neozářeného TPE s ozářeným, u kterého byly modifikovány mechanické vlastnosti aplikací jednotlivých dávek ozáření.

Tab. 4 Označení směsí

Dávka	Materiál
0 kGy	TPE
66 kGy	TPE
99 kGy	TPE
132 kGy	TPE
165 kGy	TPE

5.1 Měření vlastností

Na základě analýzy vlastností, které mohou ovlivnit výsledné chování výrobku z termoplastického elastomeru (TPE), bylo rozhodnuto provést u připravených zkušebních těles následující měření:

- Tahové zkoušky
- Strukturní pevnost
- Tvrdost Shore

Zkušební tělesa z termoplastického elastomeru TPE byla vyrobena na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 420 C Advance obr. 8. Vstřikovací stroj ARBURG 420 C Allround Advance je vybaven 32 bitovým multiprocesovým řídicím systémem SELOGICA, který umožňuje strojům Allrounder jednoduše a bezpečně ovládat komplexní technologii vstřikování. Tento vstřikovací stroj je předurčen pro univerzální řešení všech úkolů v oblasti vstřikování, ale lze ho použít také pro všechny speciální oblasti zpracování plastů, jako např. v oblasti vícekomponentního vstřikování nebo v oblasti zpracování LSR nebo PET – materiálů. Po vyrobení zkušebních tělísek byla tělíska upravena na finální podobu, jak je patrné z obr. 9. Připravená zkušební tělesa byla ozářena elektronovým beta zářením dávkami 0, 66, 99, 132, 165 kGy.



Obr. 8 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C



Obr. 9 Zkušební tělesa

5.1.1 Tahové zkoušky

Zkouška spočívá v protahování standardních zkušebních těles v trhacím stroji konstantní rychlostí. Odečítají se hodnoty síly a prodloužení potřebné k hodnocení požadovaných charakteristik zkušebních těles v průběhu jejich bezporuchového protahování a v okamžiku přetržení.

Napětí v tahu - je napětí způsobující protažení zkušebního tělesa. Vypočítá se jako podíl síly a plochy, na kterou síla působí.

Prodloužení - je protažení vzniklé působením napětí v tahu na zkušební těleso, vyjádřené v procentech délky pracovní části.

Pevnost v tahu - je definována jako maximální napětí v tahu, zaznamenané při protahování zkušebního tělesa do okamžiku přetržení.

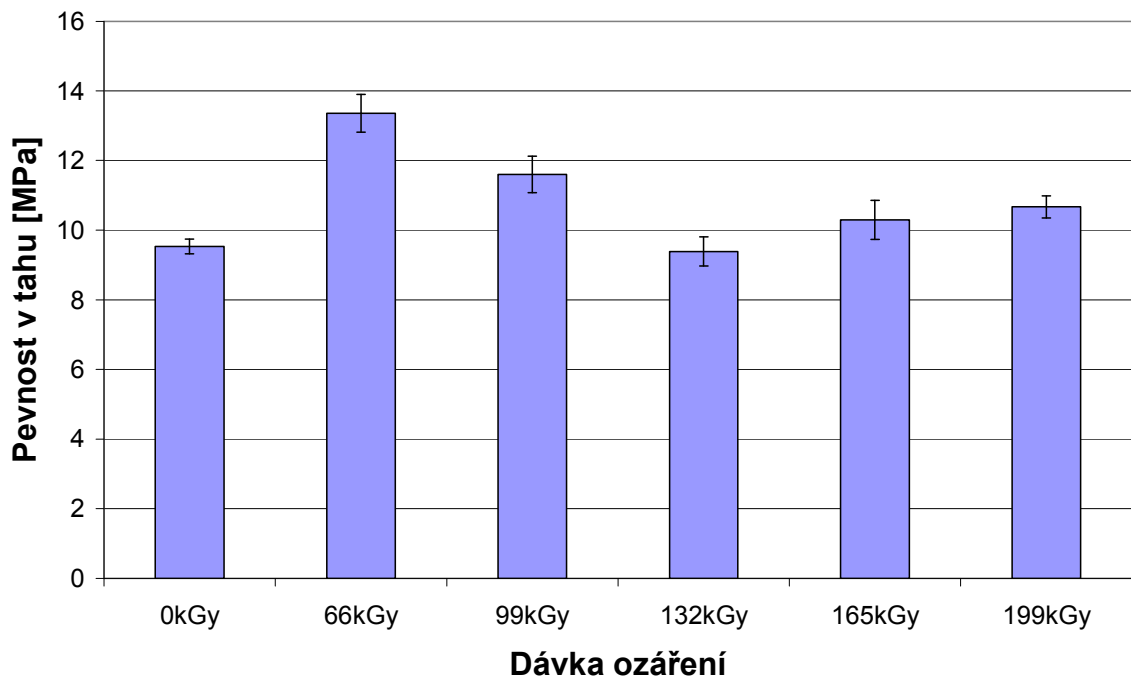
Tažnost - je tahové napětí zaznamenané v okamžiku přetržení.

M50, M100, M200, M300, M500 – napětí při protažení 50%, 100%, 200%, 300%, 500%.

Pro přehlednější vyhodnocení byla zavedena bezrozměrná hodnota (je to podíl příslušné hodnoty měření neozařeného TPE při dané zkoušce mechanických vlastností k hodnotě příslušného měření ozářenému TPE).

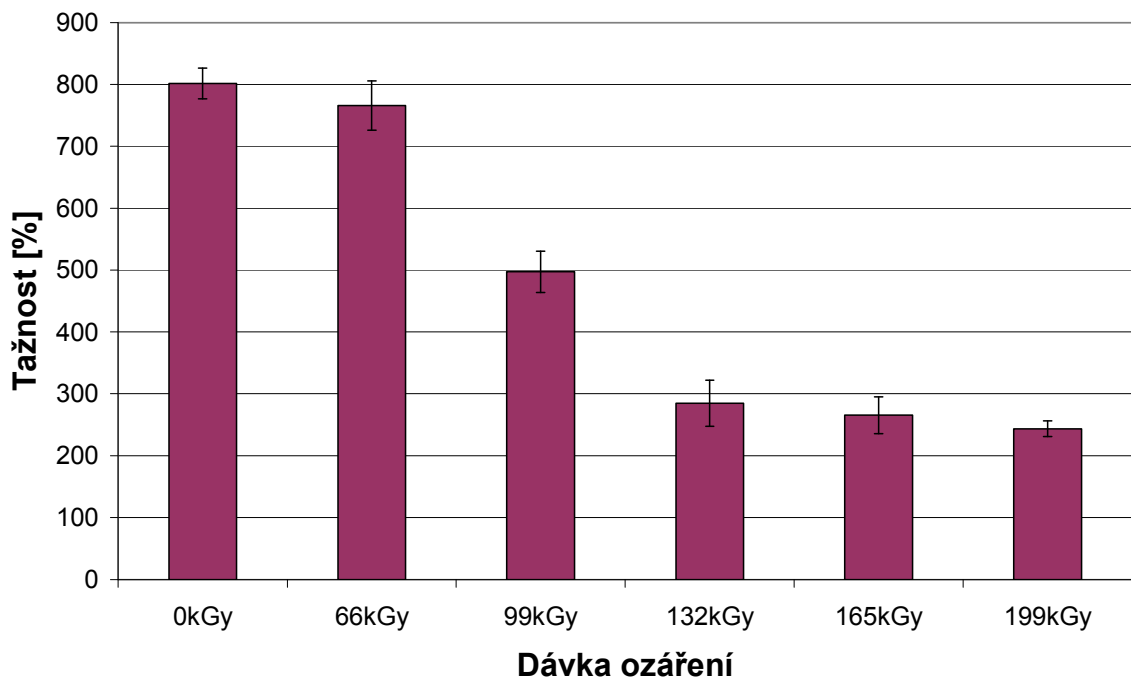
Tab. 5 Tahové zkoušky

Dávka ozáření [kGy]	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost v tahu [-]	SMCH	Tažnost [%]	Tažnost [-]	SMCH
0	9.534	1.000	0.210	801.510	1.000	24.973
66	13.357	1.401	0.544	765.810	0.955	39.605
99	11.604	1.217	0.526	497.140	0.620	33.349
132	9.392	0.985	0.421	284.780	0.355	37.454
165	10.297	1.080	0.557	265.520	0.331	29.608
199	10.670	1.119	0.314	243.480	0.304	12.721



Obr. 10 Porovnání pevnosti v tahu

Nejvyšší hodnota pevnosti v tahu byla zjištěna u dávky ozáření 66kGy. Hodnota pevnosti v tahu byla naměřena 13,357 MPa. Nejmenší hodnota pevnosti v tahu byla zjištěna u dávky ozáření 132 kGy , jejichž velikost byla naměřena 9,392 MPa (obr. 10).

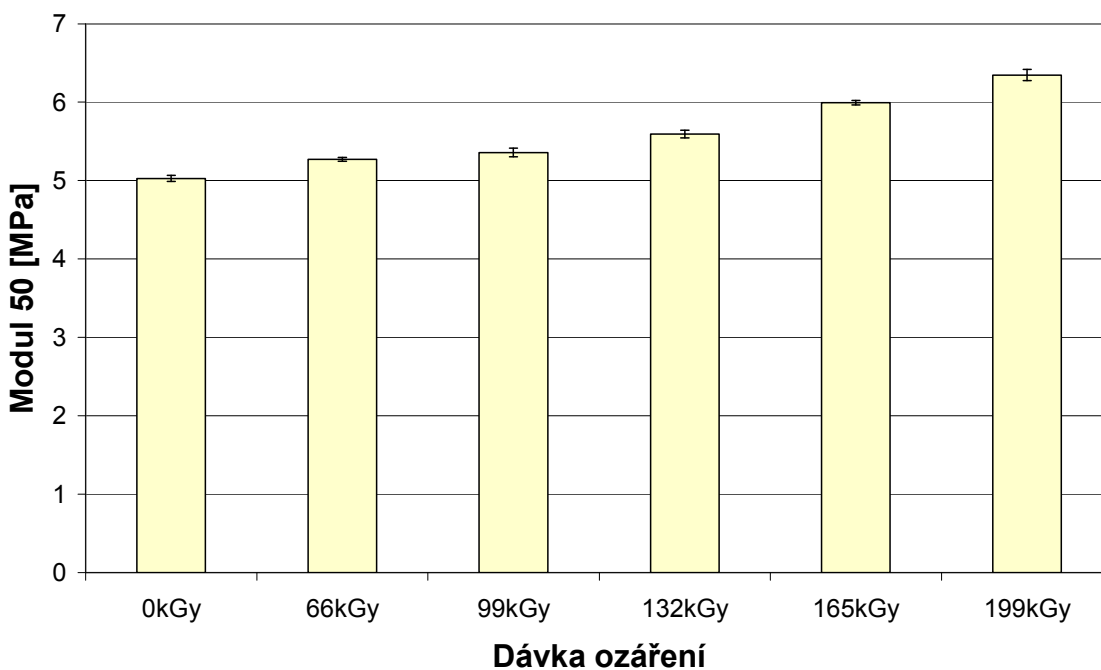


Obr. 11 Porovnání tažnosti

Při tahové zkoušce byla naměřena nejvyšší hodnota tažnosti 801,510 % u neozářeného TPE. Nejmenší hodnoty bylo dosaženo u dávky ozáření 165 kGy. Hodnota tažnosti dosaženo u dávky ozáření 199 kGy byla naměřena 243,480 % (obr. 11).

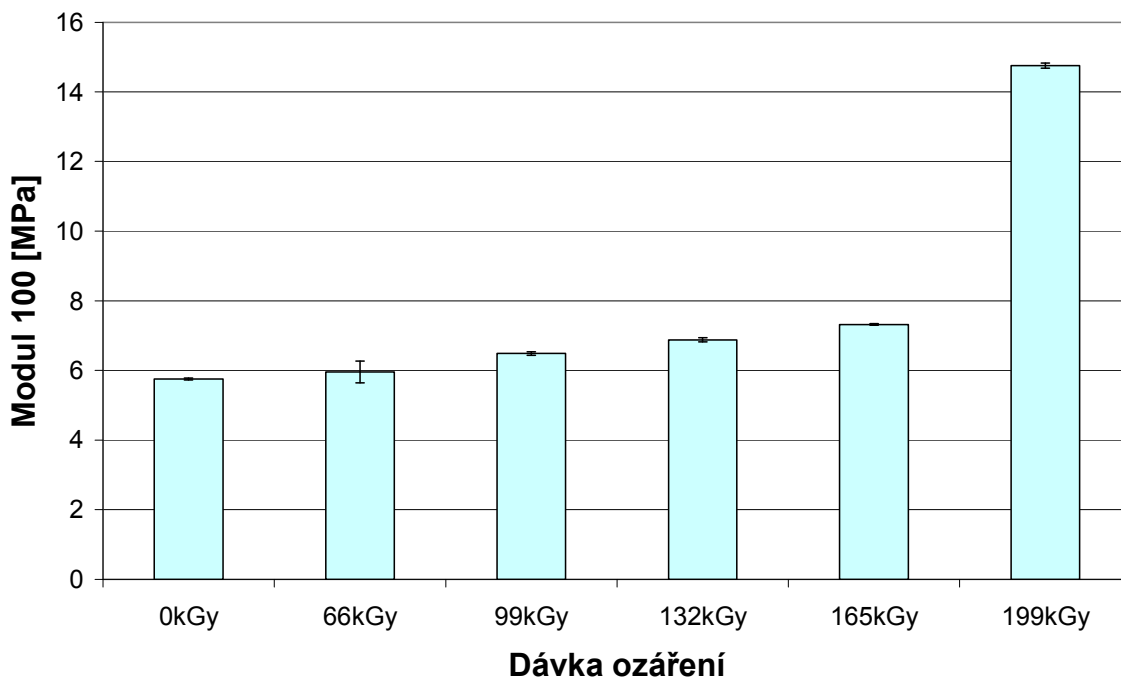
Tab. 6 Modul 50, Modul 100

Dávka ozáření [kGy]	Modul 50 [MPa]	Modul 50 [-]	SMCH	Modul 100 [MPa]	Modul 100 [-]	SMCH
0	5.028	1.000	0.037	5.749	1.000	0.028
66	5.270	1.048	0.024	5.957	1.036	0.311
99	5.358	1.066	0.055	6.487	1.128	0.051
132	5.594	1.113	0.049	6.879	1.196	0.061
165	5.995	1.192	0.030	7.318	1.273	0.027
199	6.348	1.263	0.072	14.758	2.567	0.072



Obr. 12 Porovnání M50

Nejvyšší hodnota modulu 50 byla zjištěna u dávky ozáření 199 kGy. Hodnota modulu 50 byla naměřena 6,348 MPa. Nejmenší hodnota modulu 50 byla zjištěna u neozářeného TPE , jehož velikost byla naměřena 5,028 MPa (Obr. 12).

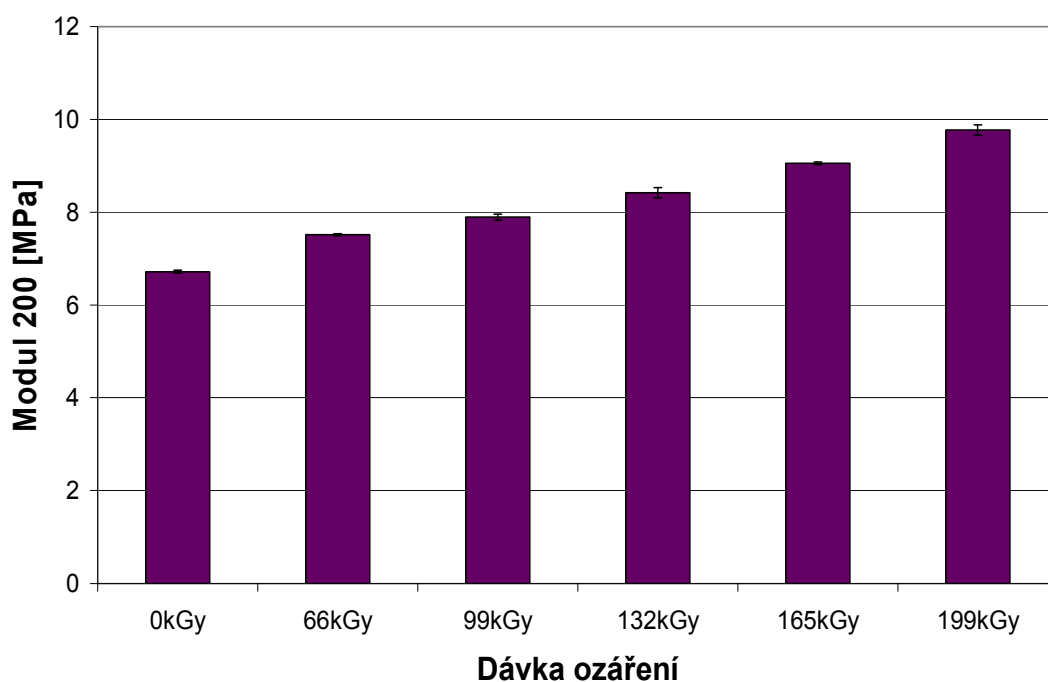


Obr. 13 Porovnání M100

Nejvyšší hodnota modulu 100 byla zjištěna u dávky ozáření 199 kGy. Hodnota modulu 100 byla naměřena 14,758 MPa. Nejmenší hodnota modulu 100 byla zjištěna u neozářeného TPE , jehož velikost byla naměřena 5,749 MPa (Obr. 13).

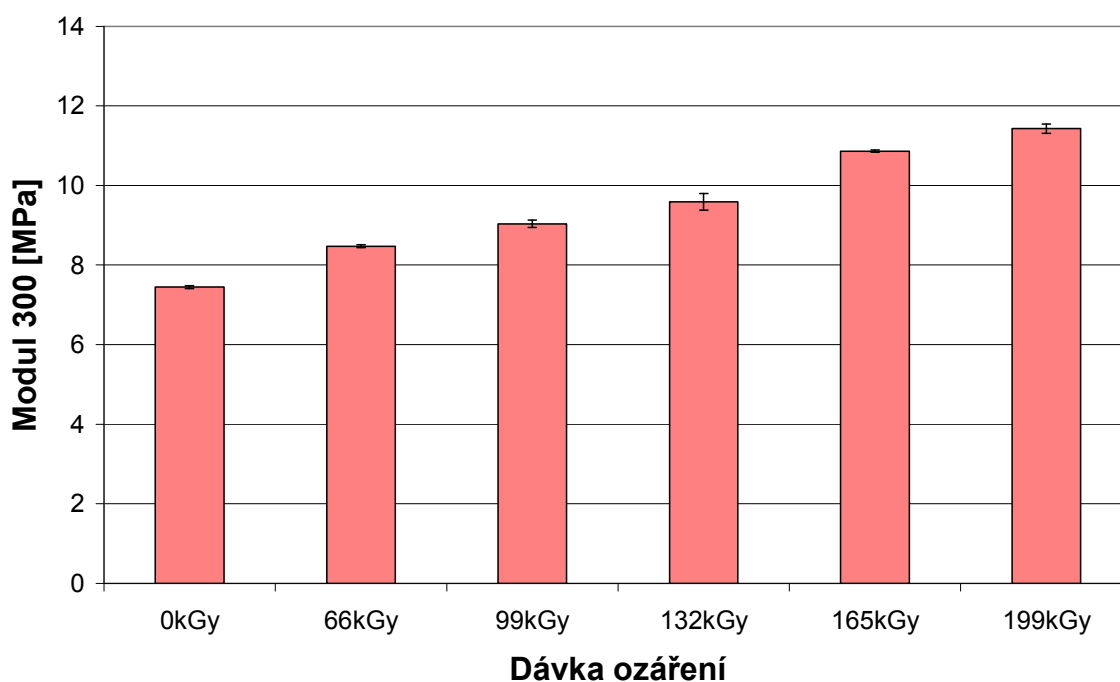
Tab. 7 Modul 200, Modul 300

Dávka ozáření [kGy]	Modul 200 [MPa]	Modul 200 [-]	SMCH	Modul 300 [MPa]	Modul 300 [-]	SMCH
0	6.717	1.000	0.030	7.444	1.000	0.041
66	7.512	1.118	0.024	8.475	1.138	0.036
99	7.891	1.175	0.064	9.038	1.214	0.093
132	8.418	1.253	0.108	9.584	1.287	0.208
165	9.050	1.347	0.029	10.861	1.459	0.032
199	9.769	1.455	0.112	11.426	1.535	0.112



Obr. 14 Porovnání M200

Nejvyšší hodnota modulu 200 byla zjištěna u dávky ozáření 199 kGy. Hodnota modulu 200 byla naměřena 9,769 MPa. Nejmenší hodnota modulu 200 byla zjištěna u neozářeného TPE, jehož velikost byla naměřena 6,717 MPa (Obr. 14).

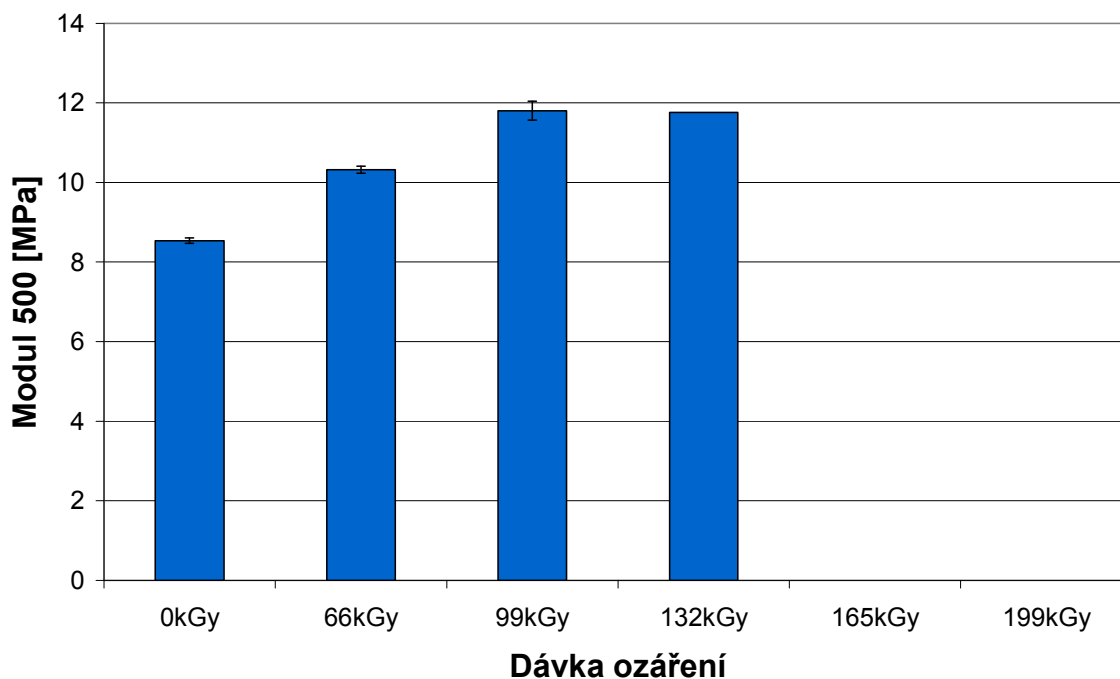


Obr. 15 Porovnání M300

Nejvyšší hodnota modulu 300 byla zjištěna u dávky ozáření 199 kGy. Hodnota modulu 300 byla naměřena 11,426 MPa. Nejmenší hodnota modulu 300 byla zjištěna u neozářeného TPE, jehož velikost byla naměřena 7,444 MPa (Obr. 15).

Tab. 8 Modul 500

Dávka ozáření [kGy]	Modul 500 [MPa]	Modul 500 [-]	SMCH
0	8.534	1.000	0.068
66	10.321	1.209	0.086
99	11.803	1.383	0.236
132	11.765	1.379	0.000
166	0.000	0.000	0.000
199	0.000	0.000	0.000



Obr. 16 Porovnání M500

Nejvyšší hodnota modulu 500 byla zjištěna u dávky ozáření 99 kGy. Hodnota modulu 500 byla naměřena 11,803 MPa. Nejmenší hodnota modulu 500 byla zjištěna u neozářeného TPE, jehož velikost byla naměřena 8,534 MPa (Obr. 16). U dávek ozáření 165kGy a 199kGy nebyly hodnoty M 500 vůbec naměřeny.

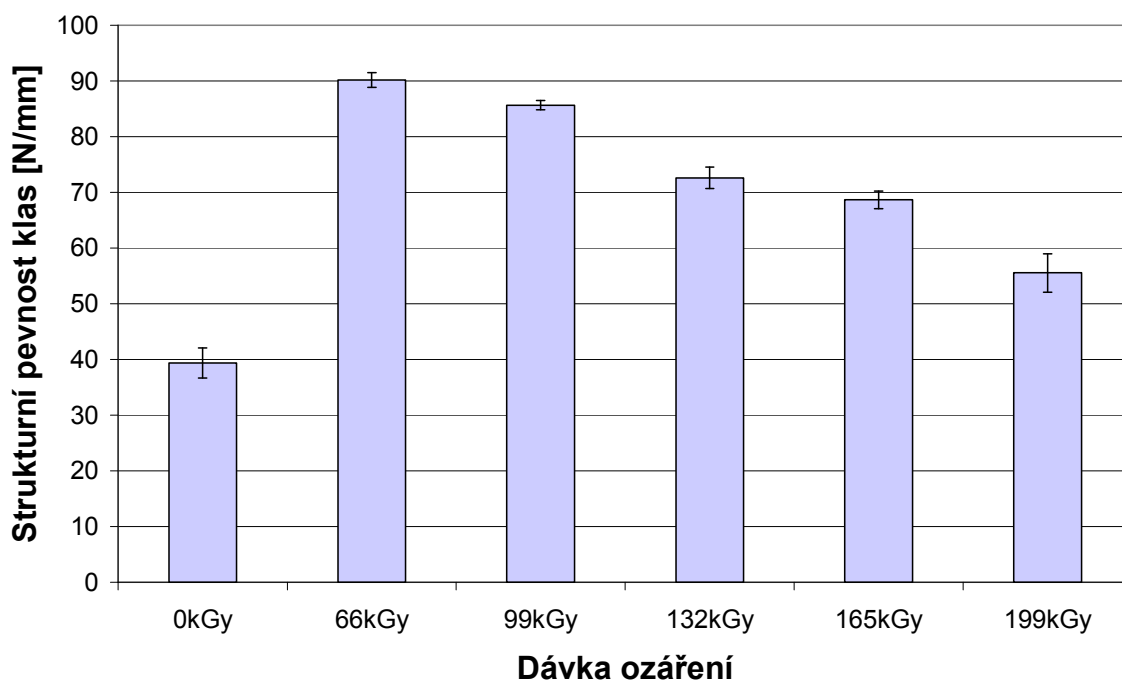
5.1.2 Strukturální pevnost

Zkouška spočívá v namáhání zkušebních těles, upnutých v čelistech trhacího stroje, tahem a v měření síly potřebné k přetržení zkušebních těles. Zkušební tělesa se namáhají tahem při rychlosti posuvu pohyblivé čelisti 500 ± 50 mm/min a zaznamenává se nejvyšší síla, která je potřebná k přetržení zkušebního tělesa.

Strukturální pevnost (T_s) v N/mm je podíl maximální síly potřebné k přetržení a tloušťky zkušebního tělesa v mm.

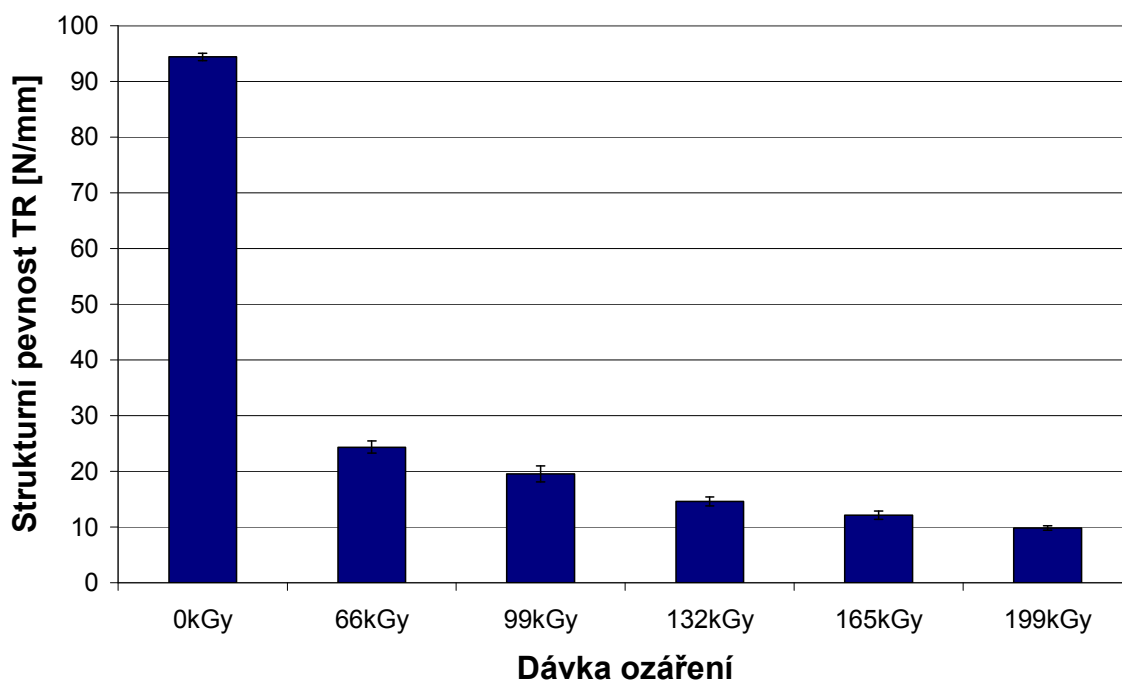
Tab. 9 Strukturální pevnost

Směs	Strukturální pevnost KI [N/mm]	Strukturální pevnost KI [-]	SMCH	Strukturální pevnost TR [N/mm]	Strukturální pevnost TR [-]	SMCH
0	39.339	1.000	2.707	94.376	1.000	0.644
66	90.162	2.292	1.324	24.312	0.258	1.086
99	85.622	2.177	0.852	19.517	0.207	1.455
132	72.587	1.845	1.914	14.562	0.154	0.797
165	68.649	1.745	1.590	12.092	0.128	0.767
199	55.515	1.411	3.453	9.805	0.104	0.402



Obr. 17 Porovnání strukturální pevnosti KI

Nejvyšší hodnota strukturní pevnosti KL byla zjištěna u dávky ozáření 66kGy. Hodnota strukturní pevnosti KL byla naměřena 90,162 N/mm. Nejmenší hodnota pevnosti v tahu byla zjištěna u neozářeného TPE , jejichž velikost byla naměřena 39,339 N/mm (obr. 17).



Obr. 18 Porovnání strukturní pevnosti TR

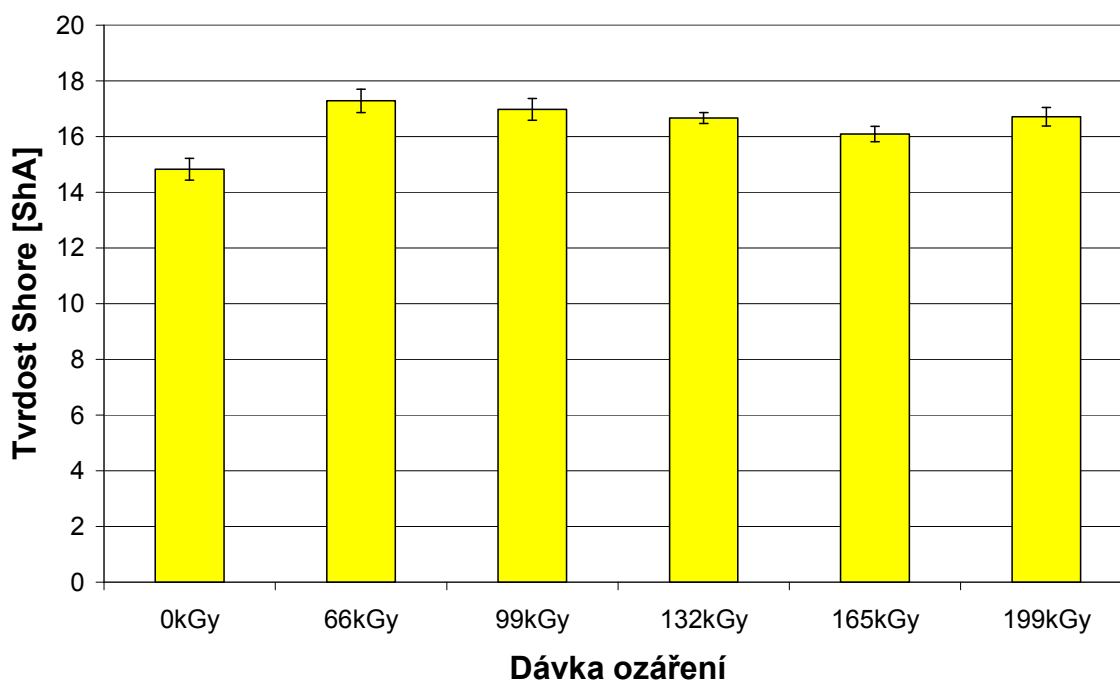
Nejvyšší hodnota strukturní pevnosti TR byla zjištěna u neozářeného TPE. Hodnota strukturní pevnosti TR byla naměřena 94,376 N/mm. Nejmenší hodnota pevnosti v tahu byla zjištěna u dávky ozáření 199 kGy , jejichž velikost byla naměřena 9,805 N/mm (Obr. 18)

5.1.3 Tvrdost Shore

Podstatou zkoušky tvrdosti je měření hloubky vniknutí zkušební hrotu vtlačovaného do materiálu za specifických podmínek. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vniknutí hrotu do materiálu a závisí na modulu pružnosti a viskoelastických vlastnostech materiálu. Pro měření byl použit tvrdoměr typu A (Shore A).

Tab. 10 Tvrđost Shore

Dávka ozáření [kGy]	Tvrđost SHORE	Tvrđost SHORE [-]	SMCH
0	14.820	1.000	0.396
66	17.280	1.166	0.420
99	16.970	1.145	0.386
132	16.660	1.124	0.191
165	16.090	1.086	0.276
199	16.710	1.128	0.333



Obr. 19 Porovnání tvrdosti Shore A

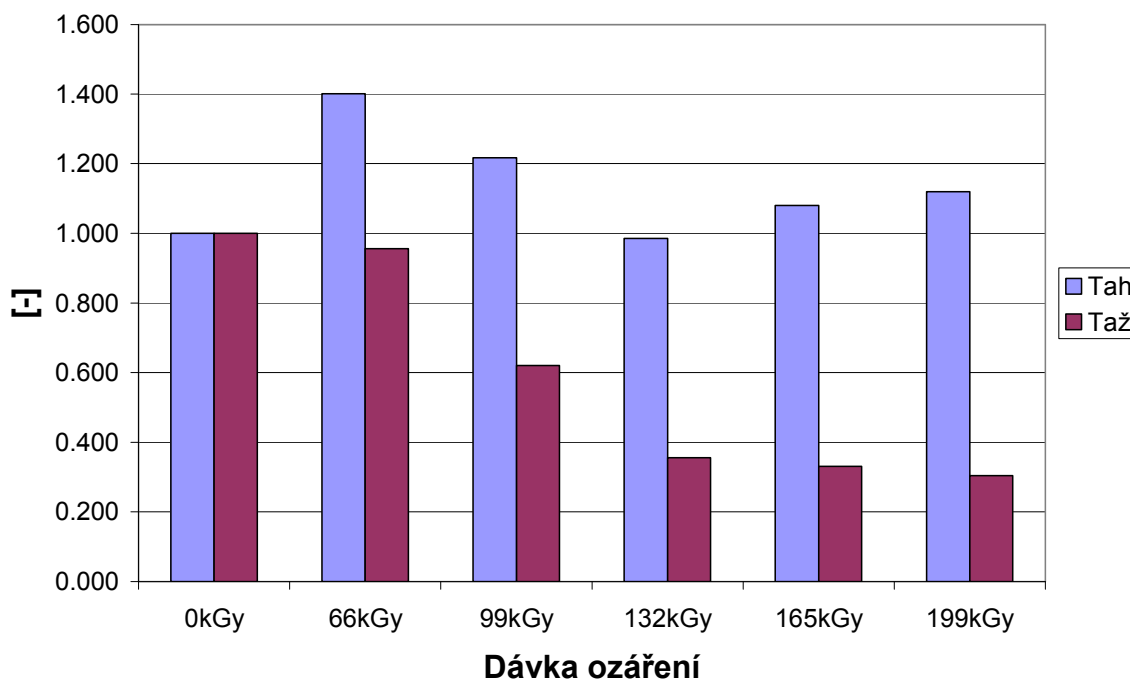
Nejvyšší hodnota tvrdosti byla zjištěna u dávky ozáření 66kGy. Hodnota tvrdosti byla naměřena 17,280 ShA. Nejmenší hodnota tvrdosti byla zjištěna u neozářeného TPE, jejíž velikost byla naměřena 14,820 ShA (Obr. 19).

6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro praktickou část byl vybrán termoplastický elastomer TPE, který byl ozářen elektronovým beta zářením dávkami 0, 66, 99, 132, 165 kGy. U TPE byly porovnávány mechanické vlastnosti, které byly modifikovány aplikací jednotlivých dávek ozáření.

Po zpracování naměřených hodnot byly výsledky zpracovány v grafech. Pro snadnější orientaci byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření neozářeného TPE k dosažené hodnotě v průběhu příslušného měření u ozářeného TPE.

6.1 Vyhodnocení pevnosti v tahu a tažnosti

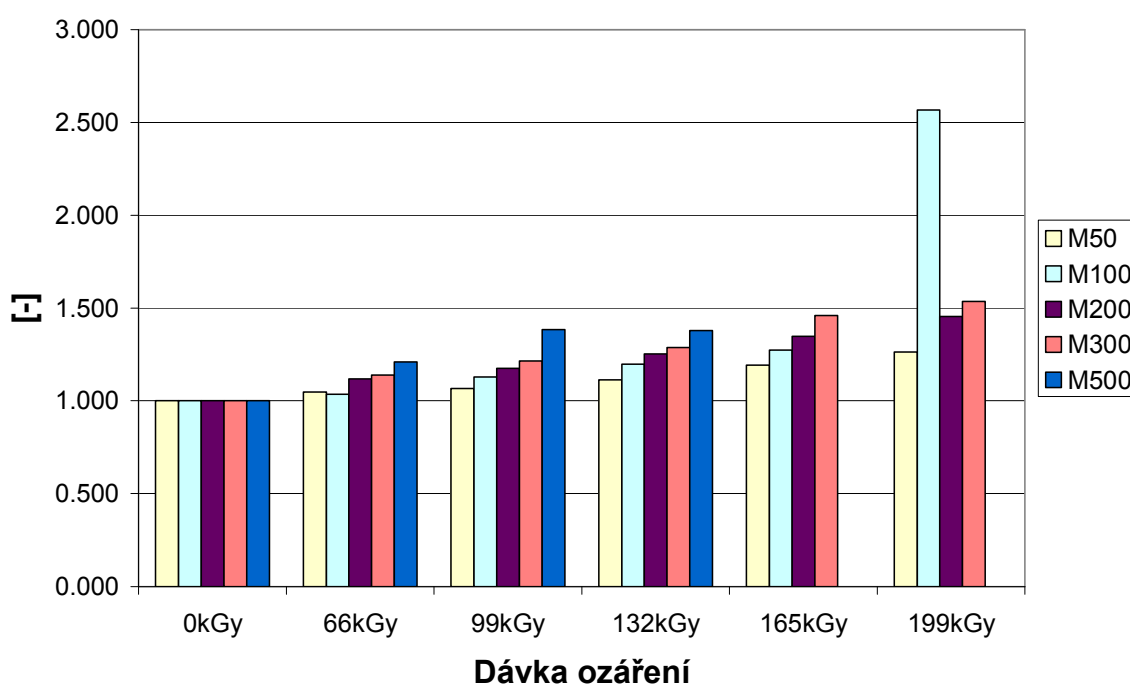


Obr. 20 Porovnání pevnosti v tahu a tažnosti

Při porovnání pevnosti v tahu s tažností u neozářeného TPE a ozářeným vyšlo najevo, že nejvyšší hodnoty tažnosti byly zjištěny u neozářeného TPE. To svědčí o pružnosti základního radiačně neozářeného TPE s menší síťovou hustotou. Při pohledu na nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu je patrné, že její nejvyšší hodnota byla naměřena u dávky ozáření 66 kGy. Zajímavé je, že tato dávka rovněž vykazovala druhou největší hodnotu tažnosti. Nejmenší

hodnoty pevnosti v tahu byly naměřeny u dávky ozáření 132 kGy, kde byla rovněž naměřena jedna z nejmenších hodnot pevnosti v tahu (Obr. 20). Díky ozáření se zlepšily hodnoty pevnosti v tahu v porovnání s neozářeným TPE o 40% u dávky ozáření 66kGy. Pouze u hodnoty ozáření 132 kGy dochází k poklesu hodnot pevnosti v tahu asi o 2%. U tažnosti je tomu naopak a ozáření vyvolalo pokles tažnosti. To bylo zřejmě způsobeno ztužením vyvolaným dodatečným zesíťováním.

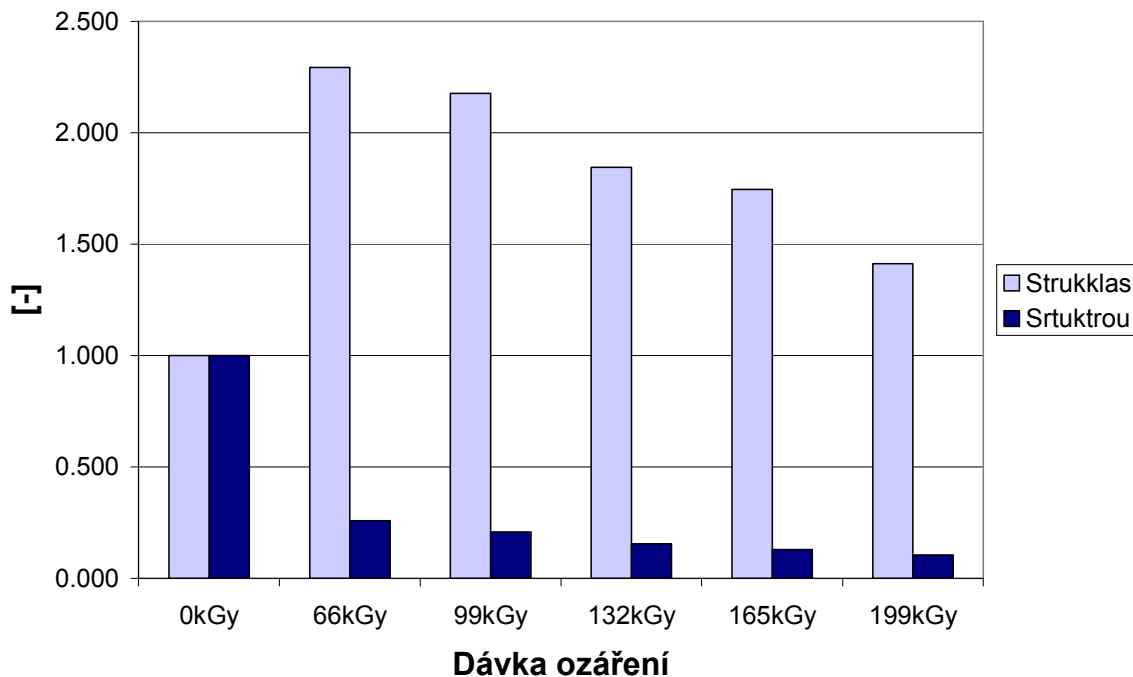
6.2 Vyhodnocení modulu 50, 100, 200, 300, 500



Obr. 21 Porovnání M 50, 100, 200, 300, 500

Při porovnání M 50, 100, 200, 300, 500 u neozářeného TPE a ozářeného je patrné, že se vzrůstajícím stupněm zesíťování se zvyšují hodnoty modulů při jednotlivých procentech protažení. Pokud byly zkušební tělesa ozářena, vzrůstají hodnoty modulů u všech hodnot protažení v porovnání s neozářeným TPE, jak je patrné z obrázku 21. Nejvyšší nárůst hodnot byl zaznamenán u modulů 300 a 500. Hodnoty se zde zvýšily o 30% až 50% v porovnání s neozářeným TPE. Modulu 100 došlo dokonce k nárůstu o 250% při dávce ozáření 199kGy.

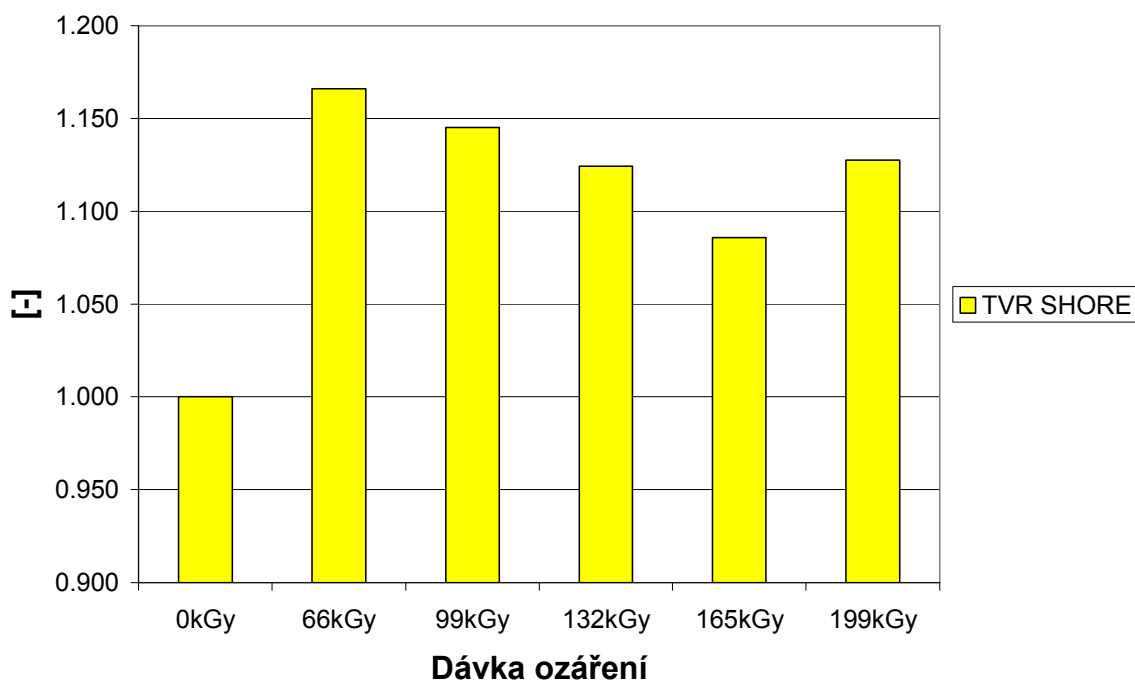
6.3 Vyhodnocení strukturních pevností



Obr. 22 Porovnání strukturních pevností

Z obrázku 22 je patrné, že nejvyšší hodnoty strukturní pevnosti klasické byly naměřeny při dávce ozáření 66 kGy. U strukturní pevnosti kalhotového typu je tomu naopak a dávky ozáření její hodnoty výrazně snižují v porovnání s neozářeným TPE. Jejich pokles je velmi výrazný a pohybuje se okolo 70%. U klasické strukturní pevnosti dochází naopak k zvýšení jejich hodnot, kdy dosahují téměř 200% nárůstu v porovnání s neozářeným TPE.

6.4 Vyhodnocení tvrdosti Shore



Obr. 23 Tvrđost Shore

Při hodnocení tvrdosti je nutné poznamenat nárůst jejich hodnot v porovnání s neozářeným TPE. Nejvyšší zvýšení hodnot tvrdosti Shore je patrné u dávky ozáření 66 kGy. Rostoucí hodnoty tvrdosti jsou zde v porovnání s neozářeným základním materiálem o 150% vyšší.

ZÁVĚR

Bakalářská práce řeší problém porovnání mechanických vlastností u ozářeného a neozářeného TPE. Pro praktickou část byl vybrán termoplastický elastomer TPE, který byl ozářen elektronovým beta zářením dávkami (0, 66, 99, 132, 165) kGy. U TPE byly porovnávány mechanické vlastnosti, které byly modifikovány aplikací jednotlivých dávek ozáření.

Po zpracování naměřených hodnot byly výsledky zpracovány v grafech. Pro snadnější orientaci byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření neozářeného TPE k dosažené hodnotě v průběhu příslušného měření u ozářeného TPE.

Z výsledků měření vyšlo najevo, že ozáření TPE má výrazný vliv na modifikaci mechanických vlastností. Ozářením se zvýšily hodnoty všech měřených modů (M50, M100, M200, M300 a M500) o 30% až 50%. Zároveň došlo k nárůstu hodnot tvrdosti, pevnosti v tahu a strukturální pevnosti klasické v průměru o téměř 100%. Nutné je však poznamenat pokles tažnosti a strukturální pevnosti kalhotového typu výrazným způsobem u všech dávek ozáření.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SOVA, M. – KREBS, J. a kolektiv: Termoplasty v praxi: aktuální stav červenec 2003, Verlag Dashöfer, 2003
- [2] Maláč J., Rektoříková L., Šemberová J.: Plasty, 1989
- [3] Luboš Běhálek : Přehled základních termoplastů, reaktoplastů a termoplastických elastomerů, Liberec 2006
- [4] Ducháček V.: Termoplastické elastomery – moderní polymerní materiály, 1996
- [5] Stehlíček I.: Plasty, 1988
- [6] Ducháček V.: Gumárenské suroviny a jejich zpracování, VŠCHT, Praha 1990
- [7] VESELÝ, K: Plasty a kaučuk, Praha: SNTL, 1981
- [8] MAYER-KUCKUK, T.: Fyzika atomového jádra, Praha: STNL, 1979
- [9] HORÁK, Z. – KRUPKA, F.: Fyzika svazek 2, Praha: STNL, 1976
- [10] CHAPIRO, A.: Radiation chemistry of polymeric systems, New York: Interscience Publisher, 1962
- [11] <<http://www.bgs.de>>
- [12] RYBNÍKÁŘ, F.: Makromolekulární chemie I, Brno: VUT, 1988, skripta
- [13] DROBNÝ, J. G.: Radiation Technology for Polymers, Boca Raton: CRC Press, 2003
- [14] MELBERG, R. S.: Radiation processing, SRI, 1978
- [15] DOLE, M.: The radiation chemistry of macromolecules, New York and London: Academic Press, 1972
- [16] RAAB, M.: Plasty a kaučuk, Praha: SNTL, 1986
- [17] SCHÄTZ, M. – Vondráček, P.: Zkoušení polymerů, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1979, skripta
- [18] NEZBEDOVÁ, E, - KUČERA, J.: Plasty a kaučuk, Praha: STNL. 1998
- [19] KOLEKTIV AUTORŮ: Základy fyziky polymerů, Praha: Macro, 1998
- [20] VANÍČEK, J.: Metody termické analýzy: TF, TU Liberec, 1995

[21] BAREŠ, R. A.: Kompozitní materiály, Praha: STNL, 1988, 1 .vydání

[22] AGARWAL, B.D. – BROUTMAN, L. J.: Vláknové kompozity, Praha: STNL 1987

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SMCH	[-]	Směrodatná odchylka
M50	[MPa]	Modul 50
M100	[MPa]	Modul 100
M200	[MPa]	Modul 200
M300	[MPa]	Modul 300
M500	[MPa]	Modul 500
Tr		Strukturní pevnost trouser
Kl		Strukturní pevnost klasická
Gy	Gy	dávka
Gy/s		Dávková intenzita
Bq		Becquerel - aktivita

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Schema pronikání elektronového beta záření a elektromagnetického gama záření</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 2. Schopnost pronikání gama a elektronového záření</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 3 Schéma betatronu.</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 4 Schéma elektronového katodového lineárního urychlovače.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 5 Gama zařízení</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 6 Charakteristika vlastností termoplastů v závislosti na dávce ozáření</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 7 Struktura neozářeného materiálu, struktura ozářeného materiálu</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 8 Vstříkovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 9 Zkušební tělesa.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 10 Porovnání pevnosti v tahu</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 11 Porovnání tažnosti</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 12 Porovnání M50</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 13 Porovnání M100</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 14 Porovnání M200</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 15 Porovnání M300</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 16 Porovnání M500</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 17 Porovnání strukturální pevnosti KI</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 18 Porovnání strukturální pevnosti TR.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 19 Porovnání tvrdosti Shore A</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 20 Porovnání pevnosti v tahu a tažnosti.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 21 Porovnání M 50, 100, 200, 300, 500</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 22 Porovnání strukturálních pevností.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 23 Tvrdost Shore.....</i>	<i>56</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Frekvence a vlnová délka různých typů elektromagnetického záření</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 2 Srovnání charakteristik elektronových urychlovačů a gama záření</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 3 Rychlost a hmotnost elektronu v závislosti na napětí</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 4 Označení směsí.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 5 Tahové zkoušky</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 6 Modul 50, Modul 100.....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 7 Modul 200, Modul 300.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 8 Modul 500</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 9 Strukturální pevnost</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 10 Tvrdost Shore</i>	<i>52</i>