

Vlastnosti radiálně síťovatelných materiálů v aplikacích pro světlomety

Bc. Jana Achillesová

Diplomová práce
2012/2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Jana Achillesová

Osobní číslo: T11186

Studijní program: N3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Řízení jakosti

Forma studia: prezenční

Téma práce: Vlastnosti radiačně síťovatelných materiálů v aplikacích pro světlomety

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Holík

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

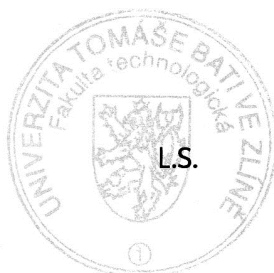
8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: ACHILLESOVA' JANA

Obor: RJ

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 6.5.2018

Jana Achilová

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 nevdělečně 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 vzdělávacího 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 přihlídá k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá studiem vlivu různých dávek ionizujícího beta záření na vlastnosti polymerních materiálů v aplikacích pro světlomety. Cílem práce je porovnat vlastnosti stávajících materiálů použitých ve světlometech s materiály modifikovanými radiačním síťováním, vyhodnotit získaná data a stanovit finanční analýzu.

Klíčová slova: světlomety, ionizační záření, radiační síťování

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is to study the influence of different doses of ionizing beta radiation on properties of polymeric materials in applications for headlights. The objective of the thesis is to compare the properties of current materials of headlights with the materials modified by radiation cross-linking, evaluate obtained data and determine the financial analysis.

Keywords: headlights, ionizing radiation, radiation cross-linking

Na tomto místě bych chtěla co nejsrdečněji poděkovat Ing. Zdeňku Holíkovi, vedoucímu mé diplomové práce za trpělivost, cenné rady a pomoc při zpracování této diplomové práce, Ing. Michalu Daňkovi za cenné rady a pomoc při realizaci radiačního síťování, dále Ing. Vladimíru Šumberovi za pomoc při výrobě zkušebních těles a Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za technickou asistenci při provádění experimentu.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat firmě HELLA AUTOTECHNIK, s.r.o. v Mohelnici, za umožněné konzultace a měření, konkrétně panu Ing. Miroslavu Konečnému za jeho čas, ochotu a rady týkajících se vyhodnocení výsledků.

Také mé poděkování patří všem, kteří mi při práci pomáhali a podporovali mě.

Motto

„Pokud najdeš v životě cestu bez překážek, určitě nikam nevede.“

Arthur Charles Clarke (*1917 – †2008)

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

OBSAH

ÚVOD	12
I TEORETICKÁ ČÁST	13
1 SVĚTLOMETY	14
1.1 HISTORIE SVĚTLOMETŮ	14
1.2 DRUHY SVĚTLOMETŮ	14
1.2.1 Parabolový reflektor s optikou na skle.....	15
1.2.2 Projektorový reflektor s eliptickou odrazovou plochou.....	15
1.2.3 Free-form reflektor s vícenásobnou parabolickou odrazovou plochou.....	16
1.3 ZÁKLADNÍ POJMY	16
1.4 KONSTRUKCE SVĚTLOMETU	18
1.5 TRENDY V OBLASTI SVĚTLOMETŮ	19
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY	20
2.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	20
2.1.1 Rozdělení podle tvaru molekul	21
2.1.2 Rozdělení podle stupně uspořádanosti	22
2.1.3 Rozdělení podle teplotního chování.....	23
2.1.4 Rozdělení podle aplikace	24
3 POLYMERNÍ MATERIÁLY V APLIKACÍCH PRO SVĚTLOMETY	25
3.1 POLYETERIMIDY	25
3.1.1 Vlastnosti PEI.....	25
3.1.2 Zpracování PEI.....	25
3.1.3 Příklady aplikace PEI.....	25
3.2 POLYETERSULFONY.....	26
3.2.1 Vlastnosti PES.....	26
3.2.2 Zpracování PES.....	26
3.2.3 Příklady aplikace PES	26
3.3 POLYAMIDY	26
3.3.1 Vlastnosti polyamidů	26
3.3.2 Zpracování polyamidů	27
3.3.3 Příklady aplikace polyamidů.....	27
3.3.4 Polyamid 6	28
3.3.5 Polyamid 9T DURAMID	28
3.4 POLYBUTYLENTEREFTALÁT	29
3.4.1 Vlastnosti PBT	29
3.4.2 Zpracování PBT	29
3.4.3 Příklady aplikace PBT.....	29
4 TRENDY V OBLASTI POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	30
5 IONIZAČNÍ ZÁŘENÍ	31
5.1 ZÁKLADNÍ DRUHY ZÁŘENÍ.....	31
5.1.1 Záření alfa α	31
5.1.2 Záření beta β	31
5.1.3 Záření gama γ	31

5.2	URYCHLOVAČE ELEKTRONŮ.....	32
5.2.1	Lineární urychlovače.....	32
5.2.2	Kruhové urychlovače	32
5.2.3	Elektronový urychlovač	32
5.3	JEDNOTKY POUŽÍVANÉ U IONIZAČNÍHO ZÁŘENÍ.....	33
6	MODIFIKACE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	35
6.1	FYZIKÁLNÍ MODIFIKACE.....	35
6.2	CHEMICKÁ MODIFIKACE.....	35
6.3	ZPŮSOBY VÝSTAVBY SÍTÍ	35
6.4	SÍŤOVACÍ ADITIVA.....	36
7	RADIAČNÍ SÍŤOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ.....	37
7.1	PRINCIP RADIAČNÍHO SÍŤOVÁNÍ.....	37
7.1.1	Síťování polymerních materiálů beta zářením	38
7.2	VLIV RADIAČNÍHO SÍŤOVÁNÍ NA VLASTNOSTI POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	38
7.2.1	Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě.....	39
7.2.2	Mechanické vlastnosti při zvýšené teplotě.....	39
7.2.3	Barevné změny	39
7.2.4	Chemické změny	39
7.3	PŘÍNOSY RADIAČNÍHO SÍŤOVÁNÍ	40
7.3.1	Lepší výsledné vlastnosti výrobků	40
7.3.2	Úspora nákladů - finanční analýza	40
7.3.3	Ostatní přínosy	41
7.4	NEVÝHODY RADIAČNÍHO SÍŤOVÁNÍ.....	41
8	MATERIÁLOVÉ ZKOUŠKY	42
8.1	MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	42
8.2	DRUHY ZKOUŠEK MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ	42
8.2.1	Statické zkoušky.....	42
8.2.2	Dynamické zkoušky rázové	42
8.3	TAHOVÁ ZKOUŠKA	42
8.3.1	Princip tahové zkoušky	42
8.3.2	Materiály pro tahovou zkoušku.....	43
8.3.3	Zkušební tělesa pro tahovou zkoušku	43
8.4	RÁZOVÁ ZKOUŠKA	44
8.4.1	Princip rázové zkoušky	44
8.4.2	Materiály pro rázovou zkoušku.....	45
8.4.3	Zkušební tělesa pro rázovou zkoušku	45
8.5	TERMOMECHANICKÁ ANALÝZA.....	46
8.5.1	Princip termomechanické analýzy	46
8.6	TERMOGRAVIMETRICKÁ ANALÝZA.....	47
8.6.1	Princip termogravimetrické analýzy	47
8.7	STANOVENÍ TEPLoty MĚKNUTÍ PODLE VICATA.....	48
8.7.1	Princip stanovení teploty měknutí podle Vicata	48
9	ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....	49
II	PRAKTICKÁ ČÁST	50

10	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	51
11	POUŽITÉ STROJE A ZAŘÍZENÍ.....	52
11.1	SUŠÍCÍ ZAŘÍZENÍ ARBURG THERMOLIFT 100-2	52
11.2	VSTŘIKOVACÍ STROJ ARBURG ALLROUDEN 470C.....	53
11.3	VRUBOVACÍ STROJ CEAST NOTCHVIS	55
11.4	RÁZOVÉ KLADIVO RESIL IMPACTOR JUNIOR ZWICK 5113	55
11.5	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ ZWICK ROELL 1456	56
11.6	DIGITÁLNÍ MIKROSKOP VHX – S90BE KEYENCE REMAX IV	57
11.7	NAPAŘOVACÍ ZAŘÍZENÍ META 2052	58
11.8	TEMPERAČNÍ SUŠÁRNA BINDER FED 53.....	59
11.9	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ HDT3 VICAT	60
11.10	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ DMA 7E PERKIN ELMER	61
11.11	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ TGA Q500.....	62
12	ZKOUŠENÉ MATERIÁLY	63
12.1	POLYAMID 9T - PA 9T	63
12.2	POLYAMID 6 - PA 6	63
12.3	POLYBUTYLENTEREFTALÁT - PBT	64
12.4	POLYETERIMID – PEI	64
12.5	POLYETERSULFON – PES	65
13	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	66
13.1	SÍŤOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES	68
13.1.1	Stanovení obsahu gelu.....	70
13.2	POKOVENÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES	71
14	NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY	72
14.1	VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	72
14.2	VÝSLEDKY TAHOVÉ ZKOUŠKY	72
14.2.1	Zkouška tahem pro PA 6.....	73
14.2.2	Zkouška tahem pro PBT.....	75
14.2.3	Zkouška tahem pro PEI a PES	77
14.2.4	Porovnání výsledků tahové zkoušky	78
14.3	VÝSLEDKY ZKOUŠKY VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	79
14.3.1	Zkouška vrubové houževnatosti pro PA 6	79
14.3.2	Zkouška vrubové houževnatosti pro PBT	81
14.3.3	Zkouška vrubové houževnatosti pro PEI a PES.....	82
14.3.4	Porovnání výsledků zkoušky vrubové houževnatosti	83
14.4	ZKOUŠKA TEPLOTNÍ ODOLNOSTI	84
14.4.1	Příklad hodnocení výsledků zkoušky teplotní odolnosti.....	84
14.4.2	Porovnání výsledků zkoušky teplotní odolnosti	86
14.5	VÝSLEDKY STANOVENÍ TEPLoty MĚKNUTÍ PODLE VICATA.....	87
14.5.1	Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PA 6.....	88
14.5.2	Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PBT.....	89
14.5.3	Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PEI a PES	89
14.5.4	Porovnání výsledků stanovení teploty měknutí podle Vicata	90

14.6	VÝSLEDKY MĚŘENÍ TMA.....	90
14.6.1	Měření termomechanické analýzy pro PA 6.....	91
14.6.2	Měření termomechanické analýzy pro PBT.....	91
14.6.3	Porovnání výsledků termomechanické analýzy	92
14.7	VÝSLEDKY MĚŘENÍ TGA	92
14.7.1	Měření termogravimetrické analýzy pro PES	93
14.7.2	Měření termogravimetrické analýzy pro PEI.....	93
14.7.3	Měření termogravimetrické analýzy pro PBT.....	94
14.7.4	Měření termogravimetrické analýzy pro PA 6.....	95
	DISKUZE NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ.....	97
	ZÁVĚR PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	99
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	100
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	108
	SEZNAM OBRÁZKŮ	110
	SEZNAM TABULEK.....	113
	SEZNAM PŘÍLOH.....	115

ÚVOD

Polymerní materiály představují v dnešní době nejvýznamnější segment výroby a spotřeby podle objemu mezi všemi technickými materiály. V konkurenci s materiály jako jsou především kovy, se polymery vyznačují snadnou zpracovatelností, nízkou hustotou a výhodným poměrem mezi užitnými vlastnostmi a cenou. Další vývoj polymerních materiálů stále pokračuje. Objevují se další možnosti modifikace polymerních materiálů a jejich nečekané aplikace. Dnes bychom jen těžko hledali odvětví, kde se polymerní materiály nevyskytují. Nalezneme je v gumárenském a plastikářském průmyslu, při výrobě fólií a obalů, výrobě kompozitních materiálů, výrobě nátěrových hmot, pryskyřic a lepidel, výrobě syntetických vláken, v elektrotechnice, strojírenství, stavebnictví, zemědělství nebo ve zdravotnictví a v mnoho dalších oblastí. Rozvoj syntetických polymerů v moderním smyslu nastal až ve dvacátém století, ale některé polymerní materiály byly známy a využívány už mnohem dříve. [50]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SVĚTLOMETY

Světlomety jsou osvětlovací tělesa, složené obvykle ze zdroje světla, optické soustavy a krytu, sloužící k osvětlování okolí pro zlepšení viditelnosti. Optický systém je tvořen odrazovou plochou obecného tvaru - zrcadlo, clonami, čočkami a vhodně tvarovaného krycího skla, kterým světlo vystupuje. Konstrukčně musí být světlomety vodotěsné a prachotěsné a jako montážní celek musí být spolehlivě upevněny tak, aby jejich poloha byla na vozidle seřiditelná a za provozu neproměnná vlivem dynamických účinků. [41]

1.1 Historie světlometů

V roce 1896 byly vyrobeny první automobily vybavené acetylenovými nebo olejovými hlavními světlomety, acetylenové lampy byly populárnější, protože jejich plamen lépe odolával dešti a větru. Roku 1898 představila Columbia Automobile Company první elektrický světlomet pro automobily, v té době však byly acetylenové a olejové lampy považovány za lepší. 1913 firma BOSCH uvádí na trh první úspěšný elektrický světlomet. 1924 objeven Bilux, Bilux byla první žárovka umožňující klopené a dálkové světlo. Roku 1962 evropští výrobci světlometů představují halogenovou žárovku pro osobní automobily. 1991 automobilka BMW představuje první xenonové světlomety, zatím pouze s jednoduchou výbojkou. 1999 bi-xenonové světlomety, tedy klopená i dálková světla obstarává xenonová výbojka. 2007 představen hlavní světlomet kompletně tvořený LED diodami. [51]



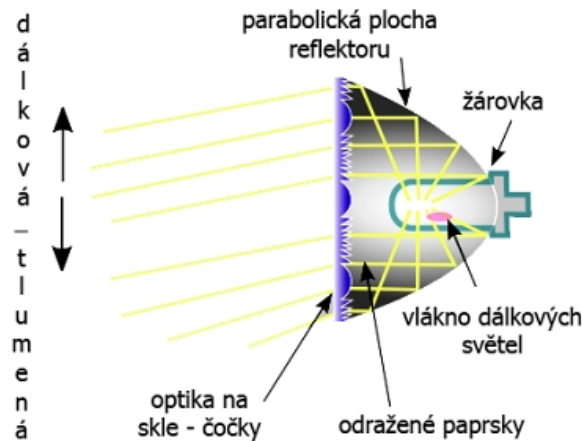
Obr. 1. Acetylenový světlomet. [36]

1.2 Druhy světlometů

U soudobých vozidel se používají tyto druhy světlometů: parabolické světlomety, elipsoidní světlomety, světlomety s volnou plochou, kombinace elipsoidního světlometu a světlometu s volnou plochou. [41]

1.2.1 Parabolový reflektor s optikou na skle

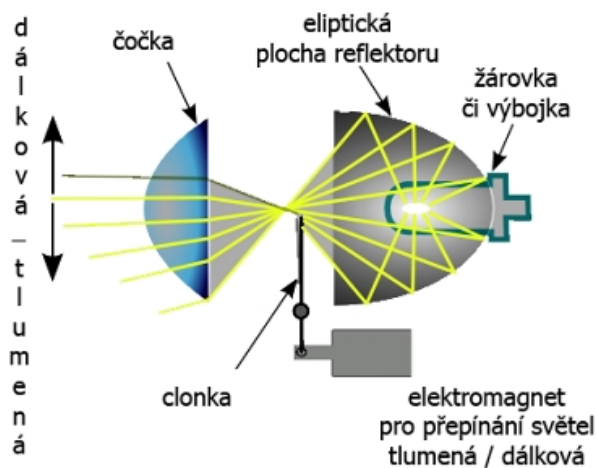
Parabolový světlomet má pravidelnou paraboloidní odrazovou plochu. Světelným zdrojem bývá nejčastěji halogenová žárovka, umístěná v okolí ohniska paraboloidu. Odražené paprsky vycházející z takového reflektoru jsou paralelní - rovnoběžné. [51]



Obr. 2. Schéma parabolového reflektoru s optikou na skle. [51]

1.2.2 Projektorový reflektor s eliptickou odrazovou plochou

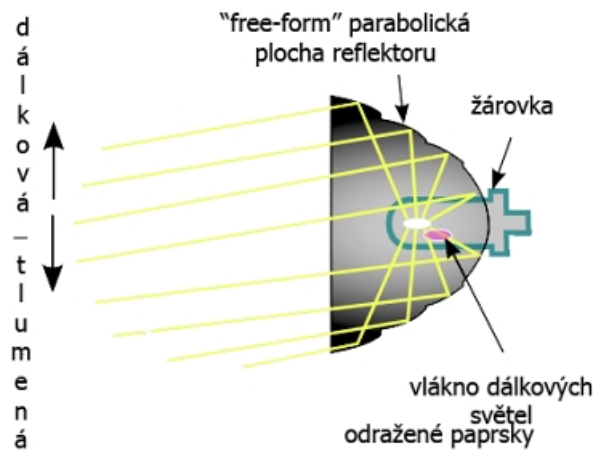
U projektorového reflektoru se emitované světlo odráží a prochází skrz ohnisko čočky. Mezi odrazovou plochou reflektoru a čočkou je clonka, jejíž obrys je projektován na silnici. Následuje čiré krycí sklo světlometu. O přepínání mezi dálkovými a tlumenými světly se stará clonka ovládaná elektromagnetem. [51]



Obr. 3. Schéma projektorového reflektoru. [51]

1.2.3 Free-form reflektor s vícenásobnou parabolickou odrazovou plochou

Tento světlomet má vícenásobnou odrazovou plochu. Odrazová plocha světlometu je rozdělena na jednotlivé dílčí optické segmenty – tzv. fazety. Každá z těchto částí svítí na určitou oblast vozovky, celkový světelný svazek je tvořen kombinací těchto dílčích svazků. Čelní sklo světlometu je čiré, bez optiky. [51]



Obr. 4. Schéma parabolového free-forms reflektoru. [51]

1.3 Základní pojmy

Světlomet (reflektor) - je zařízení, konstruované k osvětlení vozovky.



Obr. 5. Světlomet. [27]

Tlumené světlo - znamená světlo, užívané k osvětlení vozovky před vozidlem, aniž by nepatřičně oslňoval nebo obtěžoval řidiče, příjíždějící z opačného směru nebo jiné uživatele vozovky. [64]

Dálkové světlo - je světlo, užívané k osvětlování vozovky na velkou vzdálenost před vozidlem.



Obr. 6. Dálkový světlomet přídavný. [28]

Světlomet do mlhy – je světlo zlepšující osvětlení vozovky za mlhy, sněžení, bouřky nebo v mračnech prachu.



Obr. 7. Mlhový světlomet čirý. [38]

Svítilna - je zařízení k vysílání světleného signálu ostatním uživatelům silnice.

Směrová svítilna - znamená svítilnu, sloužící k informaci pro ostatní uživatele silnice, že řidič chce měnit směr vpravo nebo vlevo.



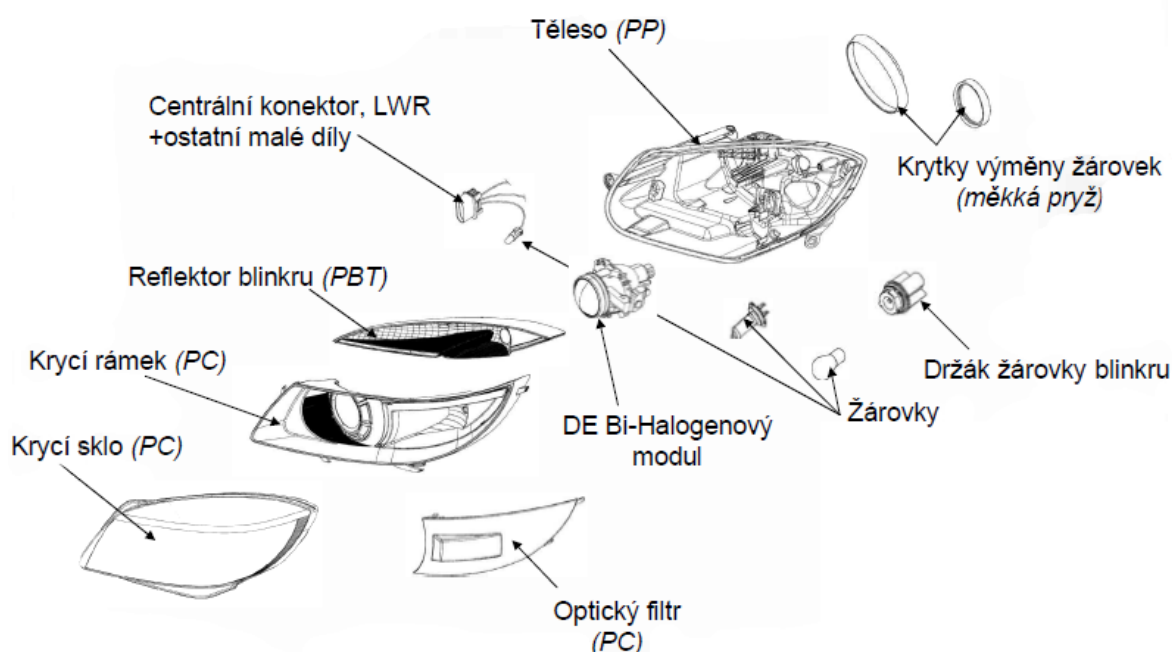
Obr. 8. Směrová svítilna. [55]

Denní svítilna - je svítilna, která směřuje dopředu a která činí vozidlo snadněji viditelné za jízdy ve dne.

Přední obrysová svítilna - znamená svítilnu, užívanou k označení přítomnosti vozidla a jeho šířky při pohledu zepředu. [64]

1.4 Konstrukce světlometu

Hlavní světlomet je složen z krycího skla, světelného zdroje, tělesa a odrazové plochy (reflektoru), do kterého je zezadu zastrčená jedna nebo dvě objímky se žárovkou. Těleso nese objímku, ve které je uchycen světelný zdroj a odrazová plocha. Před světelným zdrojem může být umístěna clona. S odrazovou plochou je spojeno krycí sklo. Ve světlometu může být také umístěno obrysové světlo. [8]



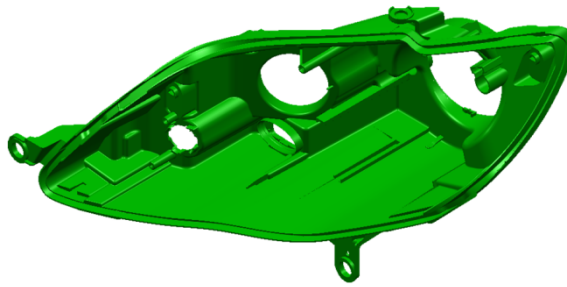
Obr. 9. Konstrukce světlometu. [64]

Optický systém – je tvořen odražejí plochou a průsvitným krytem, přičemž část, ze které vystupuje světlo, může být složena z optických útvarů upravujících prostorové rozložení vystupujícího světla.

Světelný zdroj – žárovka, výbojka, LED dioda.

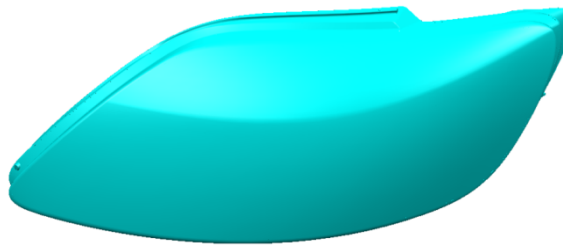
Odrazová plocha - má zásadní vliv na vytvoření požadovaného tvaru světelného toku a světelnou účinnost. Světelná účinnost závisí nejen na tvaru plochy, ale také na jejím povrchu, který musí být hladký s malou pohltivostí a musí dobře odrážet světelné paprsky. Odrazové plochy jsou vyráběny z plastu s hliníkovou vrstvou napařenou ve vakuu, na které je nanášena ochranná vrstva. [8]

Těleso světlometu - slouží jako nosná část celého světlometu. Pomocí objímky je světlomet upevněn na vozidle. Upevnění musí být spolehlivé a trvalé, konstrukce musí umožňovat v určité míře nastavení zamontovaného světlometu do předepsané polohy. [8]



Obr. 10. Těleso světlometu.

Krycí sklo - U odrazových ploch nelze dosáhnout vhodného rozložení světla jen úpravou tvaru odrazové plochy, proto se v těchto případech používá tvarované krycí sklo, které světelné paprsky vhodně láme a usměrňuje. Nejčastěji se používají krycí skla vyrobená z mechanicky a tepelně vysoce odolných plastů s požadovanými optickými vlastnostmi. Krycí sklo má za úkol úpravu světelného toku a chránit vnitřek světlometu před nečistotami a mechanickým poškozením. [8]



Obr. 11. Krycí sklo světlometu.

1.5 Trendy v oblasti světlometů

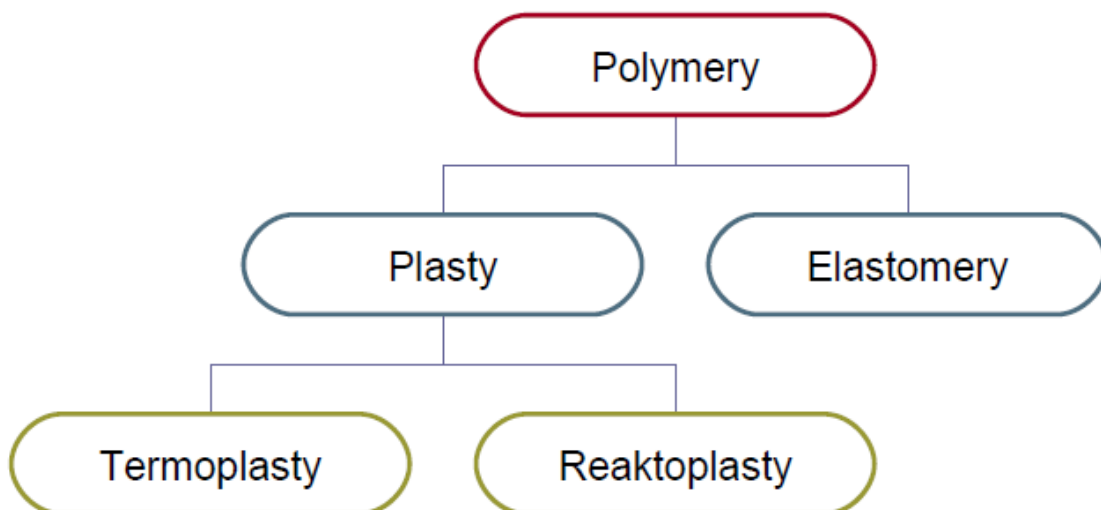
Vysoce rozvinuté osvětlovací systémy vyžadují materiály s vlastnostmi, které mohou uspokojit jak moderní požadavky na design, tak požadavky na odolnost. Volba materiálu závisí na požadavcích, které se neustále zvyšují. Použité materiály musí splňovat přísné výrobní tolerance, tepelnou odolnost, mechanickou pevnost, rozměrovou stabilitu, snadnou pokovitelnost a zejména jakost povrchu dílů, jež jsou hlavními požadavky. [49]

Pokud je to možné, původní kovové nebo skleněné materiály, bývají nahrazovány termoplasty, které jsou jednodušší na zpracování. Nabízí kratší cyklus zpracování, vynikající kvalitu povrchu, větší svobodu designu nebo výrazné úspory hmotnosti až o 50% a recyklaci. Volba materiálů pro jednotlivé prvky světlometů bývá volena na základě funkčních požadavků. [49]

2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou látky složené z molekul jednoho nebo více druhů atomů nebo skupin spojených navzájem v tak velkém počtu, že řada fyzikálních a chemických vlastností této látky se nezmění přidáním nebo odebráním jedné nebo několika konstitučních jednotek. Polymery vznikají polymerací nebo polykondenzací.

Makromolekuly se skládají z velkého počtu atomů vázaných chemickými vazbami do dlouhých řetězců. Tyto řetězce tvoří pravidelně se opakující části, které nazýváme stavební nebo monomerní jednotky - mery. Počet merů udává polymerační stupeň. Sloučeniny, které mají nízký polymerační stupeň, nazýváme oligomery, sloučeniny s vyšším polymeračním stupněm nazýváme polymery a ty se dále dělí na elastomery a plasty. [4]



Obr. 12. Rozdělení polymerů.[53]

2.1 Rozdělení polymerů

Základní rozdělení polymerů je na přírodní a syntetické.

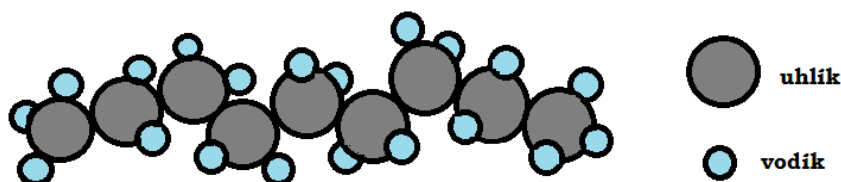
Přírodní polymery - biopolymery – se od syntetických polymerů liší především stavbou polymerního řetězce a složitější strukturou molekul. Mezi takové polymery patří např. polysacharidy, bílkoviny či nukleové kyseliny.

Syntetické polymery – rozdělujeme podle typu chemické reakce, kterou vznikají na polymery připravené:

- a) polymerací,
- b) polykondenzací,
- c) polyadící. [52]

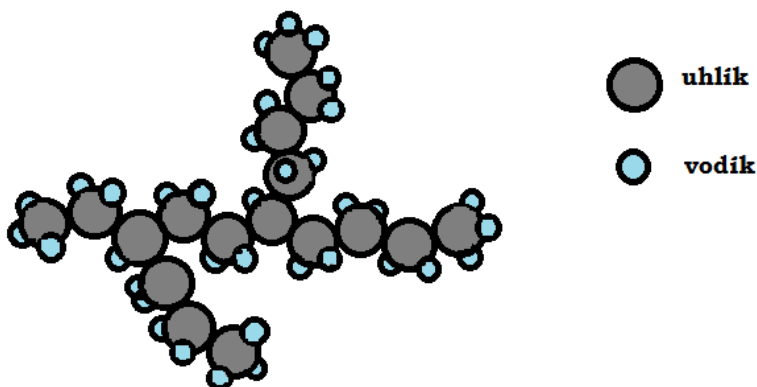
2.1.1 Rozdělení podle tvaru molekul

Lineární - vznikají tak, že se monomerní molekuly řadí jedna vedle druhé. Makromolekuly se pak mohou z prostorových důvodů více přiblížit k sobě a vyplnit tak kompaktnější prostor. Polymery potom mají vyšší hustotu. Plasty s lineárními makromolekulami jsou obvykle dobře rozpustné a tavitelné, v tuhém stavu se vyznačují houževnatostí a ve formě tavenin dobrou zpracovatelností. [35]



Obr. 13. Lineární makromolekuly.

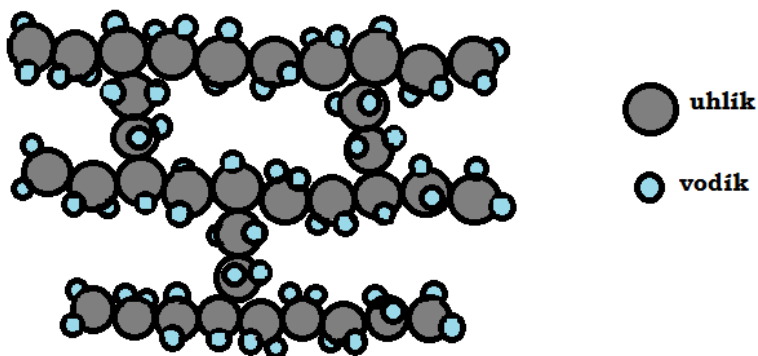
Rozvětvené - se vyznačují tím, že mají na základním řetězci boční větve. Rozvětvené makromolekuly se díky nim nemohou k sobě dostatečně přiblížit. Proto se vyznačují nižší hodnotou hustoty. Boční řetězce způsobují oddálení sousedních makromolekul a mají tak za následek pokles mezimolekulárních sil a tím zhoršení většiny mechanických vlastností. [35]



Obr. 14. Rozvětvené makromolekuly.

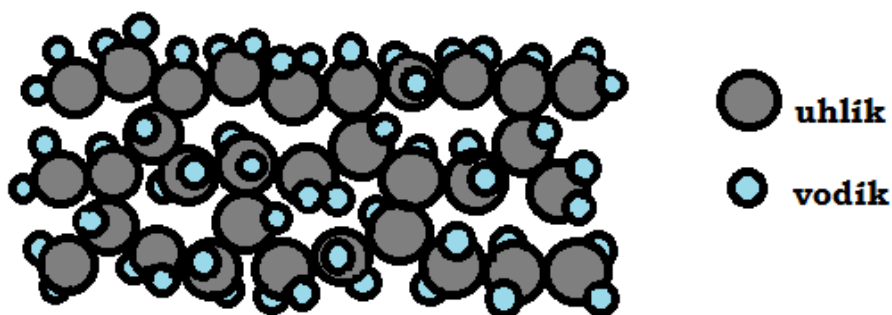
Zesíťované - mají několik přímých nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců, které jsou mezi sebou propojeny vazbami, takže vytvářejí téměř nekonečnou makromolekulu - prostorovou síť. Vzniklá síť zabraňuje tavitelnosti a rozpustnosti polymeru. Polymery vykazují vysokou tvrdost, tuhost a odolnost proti zvýšené teplotě. Sítě mohou být řídké nebo husté. [35]

Řídké sítě – jsou charakteristické pro elastomery.



Obr. 15. Řídce zesíťované molekuly.

Husté sítě – charakterizují reaktoplasty. [35]



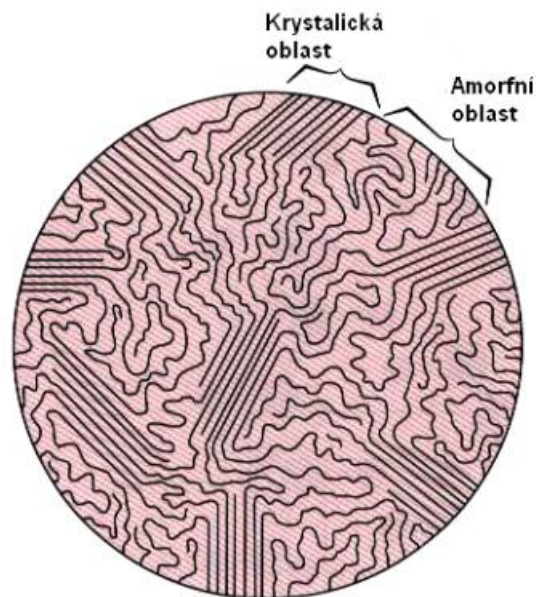
Obr. 16. Hustě zesíťované makromolekuly.

2.1.2 Rozdělení podle stupně uspořádanosti

Amorfní polymery - makromolekuly zde zaujímají zcela nahodilou pozici. Řadíme sem např. polystyren (PS), polymethylmetakrylát (PMMA), polykarbonáty (PC), apod. Jsou charakteristické svou tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a vzhledem k nízkému indexu lomu jsou průhledné - dle propustnosti světla čiré. [35]

Krystalické (semikrystalické) polymery - vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity a pohybuje se od 40 do 90 %. Tím vyjadřuje relativní

podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi oblastmi amorfními. Nikdy nelze dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Patří sem např. polyetylen (PE), polypropylen (PP), polyamid (PA), atd. Tyto polymery jsou mléčně zakalené a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu. Pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání T_m . [35]



Obr. 17. Semikrystalický polymer.[39]

2.1.3 Rozdělení podle teplotního chování

Termoplasty – jsou to takové polymery, které lze opakovaně ohřevem převést do stavu taveniny, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m pro semikrystalické polymery, resp. teplotu viskózního toku T_f pro amorfni polymery. Při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, proto lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat. Jedná se pouze o fyzikální proces. K termoplastům patří např. polyetylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA) a další. Termoplastické polymery se dělí na amorfni a semikrystalické. [12], [35]

Reaktoplasty – procházejí při zpracovatelském procesu chemickou reakcí a vlivem tepla nebo síťovacích činidel vytvářejí husté, prostorově zesíťované struktury. Reaktoplast je ve vytvrzeném stavu netavitelný a nerozpustný. Dalším zahříváním reaktoplastu dochází

k degradaci. Do reaktoplastů řadíme fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, apod. [53], [35]

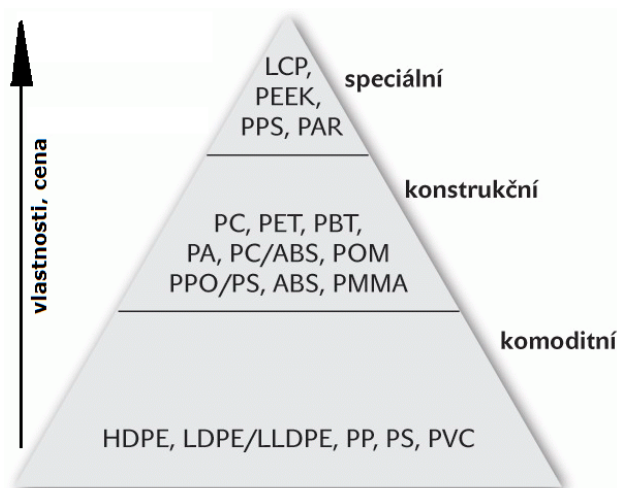
Elastomery – pryže – jsou látky, které vznikají přidáním přísad do kaučuků a následnou vulkanizací. Vulkanizace kaučukové směsi je fyzikálně-chemický proces, při kterém za působení teploty a tlaku po určitou dobu vznikne ze směsi vulkanizát. Elastomery jsou výjimečné svou velkou pružnou deformací. Vlastnosti elastomerů lze modifikovat vznikem primárních vazeb mezi makromolekulami, které vznikají při vulkanizaci. [24]

2.1.4 Rozdělení podle aplikace

Komoditní polymery – vyrábí se v největším množství a patří mezi nejlevnější polymery pro běžné použití. Řadíme sem např. polyolefiny (PP, PE), polystyrenové hmoty (PS), polyvinylchlorid (PVC), atd. [35]

Konstrukční polymery – jsou výrazně dražší, ale mají vyšší užitné vlastnosti a vyšší tepelnou odolnost. Zde můžeme zařadit polykarbonáty (PC), polyamidy (PA), polymethylmetakrylát (PMMA), polyuretan (PU), atd. [35]

Speciální polymery – jsou velmi drahé, ale zato nabízejí vysoké užitné vlastnosti. Jsou většinou vyráběny pro aplikace vyžadující vysokou tepelnou odolnost. Patří sem např. polyfenylensulfid (PPS), polytetrafluoretylen (PTFE), polyimidy (PI) a další. [35]



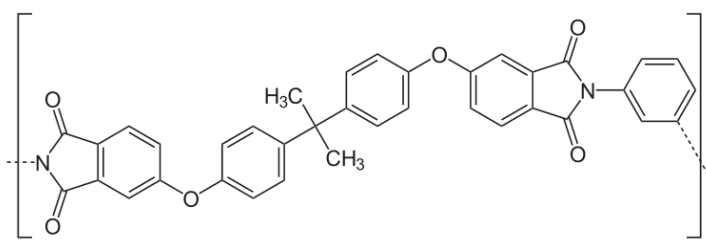
Obr. 18. Dělení polymerů podle aplikace. [33]

3 POLYMERNÍ MATERIÁLY V APLIKACÍCH PRO SVĚTLOMETY

V následující kapitole diplomové práce budou popsány materiály, které jsou aktuálně využívány v aplikacích pro světlomety a materiály, kterými bychom chtěli stávající z technického a ekonomického hlediska nahradit.

3.1 Polyeterimidy

Polyeterimidy PEI jsou amorfnní termoplastické polymery používané v oblasti inženýrských plastů. [42]



Obr. 19. Polyeterimid PEI. [42]

3.1.1 Vlastnosti PEI

Polyeterimidy mají vysokou pevnost. Odolávají tečení a to i při vysokých teplotách. Díky nízkému koeficientu tepelné roztažnosti mají velmi dobrou rozměrovou stabilitu. Odolávají mnoha chemikáliím, kyselinám nebo olejům a dále jsou odolné vůči teple a ohni. [42]

3.1.2 Zpracování PEI

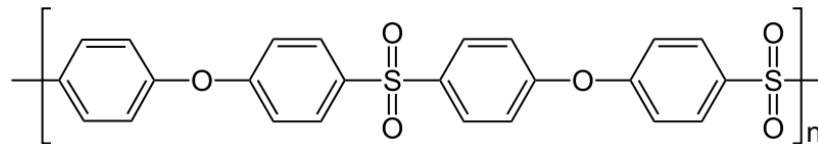
Polyeterimidy se nejčastěji zpracovávají vstřikováním a vytlačováním. [11]

3.1.3 Příklady aplikace PEI

Díky svým dobrým mechanickým vlastnostem jsou polyeterimidy využívány v automobilovém průmyslu. PEI lze nalézt jak v automobilovém interiéru, tak i v elektrických komponentech. Typickými příklady využití jsou ventilátory, komponenty palivového systému, přepínače, motorové komponenty, kliky, konektory nebo součásti systému zapalování. [42]

3.2 Polyetersulfony

Polyetersulfony řadíme do konstrukčních materiálů a jsou charakteristické etherovou vazbou v molekule, která snižuje jejich bod tání. [11]



Obr. 20. Polyetersulfon PES. [47]

3.2.1 Vlastnosti PES

Polyetersulfony mají mimořádně dobrou oxidační stabilitu a odolnost proti radiačnímu záření. Jsou méně odolné proti UV záření a povětrnosti. Mají dobré mechanické a elektroizolační vlastnosti. Odolávají vodným roztokům kyselin a to i za vyšších teplot. Dále jsou odolné rozpouštědlům, benzínu a oleji. [11]

3.2.2 Zpracování PES

Polyetersulfony se často zpracovávají vstřikováním. Některé druhy polyetersulfonů vzhledem k vysoké tavné viskozitě ale vyžadují speciální vstřikovací stroje. Dále se polyetersulfony používají i jako lepidlové fólie pro lisování nebo pro pokovování. [11]

3.2.3 Příklady aplikace PES

Polyetersulfony jsou vhodné pro výrobu konstrukčních a elektrotechnických součástí, které se uplatňují při stavbě strojů a přístrojů, v medicíně, leteckém průmyslu nebo elektrotechnice. [11]

3.3 Polyamidy

Polyamidy jsou lineární polymery, které jsou charakterizované hlavním polymerním řetězcem, v němž se pravidelně opakuje amidová skupina $-CO-NH-$ a větší počet methylenových skupin $-CH_2-$. [4]

3.3.1 Vlastnosti polyamidů

Polyamidy jsou většinou krystalické polymery. Obsah krystalické fáze může dosahovat až 60% a významně ovlivňuje chemickou odolnost, mechanické, optické, elektrické nebo

fyzikálně chemické vlastnosti. Polyamidy jsou materiály neprůhledné, mírně zakalené, nažloutlé barvy. Odolávají alkoholům, éterům, aldehydům, ketonům nebo aromatickým uhlovodíkům. Rozpouští se však v koncentrovaných kyselinách a silných zásadách. [16]

3.3.2 Zpracování polyamidů

Polyamidy se nejčastěji zpracovávají na vlákna. K výrobě vláken se používají hlavně PA 6 a PA 66. Dalším nejčastějším zpracováním polyamidů je vstřikování nebo vytlačování, kdy je polymer v podobě taveniny. Před tímto zpracováním je potřeba polyamidy dostatečně vysušit, čímž zamezíme vzniku bublin v tavenině. Dále můžeme polyamidy zpracovávat litím nebo vyfukováním. Některé polyamidy lze také lepit, svařovat, potiskovat nebo pokovovat. [16]

3.3.3 Příklady aplikace polyamidů

Široká oblast použití polyamidů, jak ve formě granulí, tak i vláken, je díky tomu, že mají výjimečné vlastnosti, jako jsou vysoká houževnatost, tepelná odolnost, pevnost, pružnost nebo odolnost proti otěru. Dále je použití vhodné pro snadnou barvitelnost polyamidů nebo jejich elektroizolační vlastnosti. [60]

Průmyslová vlákna - Polyamidy jsou využívány v řadě průmyslových aplikací, jako např. pro výrobu airbagů, lan a provazů, nití, sítí, rybářských vlasců apod. [60]



Obr. 21. Průmyslová vlákna – použití PA. [60]

Textilní vlákna - Polyamidová vlákna jsou využívána pro výrobu pohodlných potahových látek pro nábytkářský a automobilový průmysl, nášlapné vrstvy kobereců, textilií nebo sportovního oblečení. Dále pro výrobu extrémně odolných ochranných oděvů, kombinéz pro piloty tryskových letadel nebo průmyslové elektro-izolace. [60]

Konstrukční plasty - V automobilovém průmyslu nahrazují polyamidy ocelové a hliníkové části vozů, protože jsou lehké, nekorozyvní a především samomazné. Uplatňují se i jako ozubená kola, ložiska a jiné součásti motorů. Dále mohou být z polyamidů vyrobeny i přední světlíky. [60]

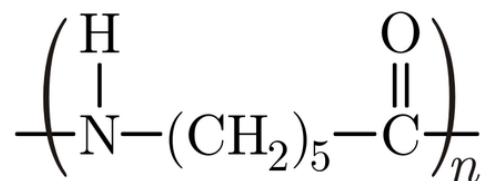


Obr. 22. Konstrukční plasty – použití PA. [34]

3.3.4 Polyamid 6

Polyamid 6 je tuhý plast snášející vysokou zátěž a je velmi dobře obrobitelný. Má dobré kluzné vlastnosti, vysokou odolnost proti otěru a dobrou chemickou stálost proti mnoha typům olejů, tuků, benzínů, atd. Odolává zásadám, solím všech druhů, rozpouštědlům, ropným produktům, sirovodíku, olejům, vodě a to i za zvýšených teplot. Rozpouští se v kyselinách, fenolech nebo oxidu siřičitém.

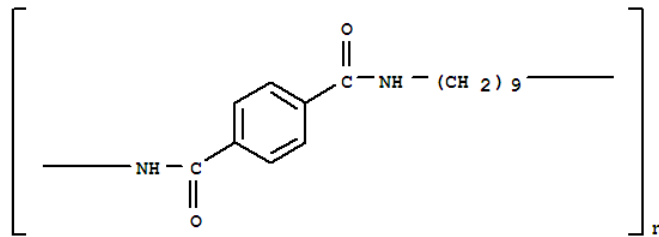
Výrobky lze krátkodobě vystavovat teplotám od -30 °C do 110 °C. [45]



Obr. 23. Polyamid 6. [46]

3.3.5 Polyamid 9T DURAMID

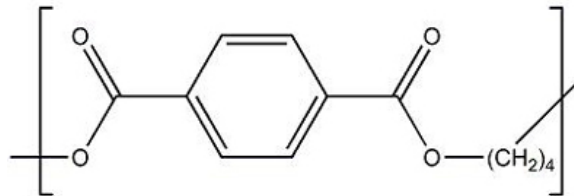
Polyamid 9T je semikrystalický polymer, který se vyznačuje nízkou nasákavostí, vysokou chemickou i tepelnou odolností, vynikající rozměrovou stabilitou a odolností proti otěru. Využití Polyamidu 9T je hlavně v elektrotechnice a automobilovém průmyslu. [25]



Obr. 24. Polyamid 9T DURAMID. [19]

3.4 Polybutyltereftalát

Polybutyltereftalát PBT je semikrystalický polymerní materiál, který je řazen mezi inženýrské plasty pro náročné operace. [57]



Obr. 25. Polybutyltereftalát PBT. [58]

3.4.1 Vlastnosti PBT

Polybutyltereftalát má dobré užitné vlastnosti. V porovnání s ostatními semikrystalickými polymery má vysokou teplotu tání. Dále má vysokou mechanickou pevnost a tuhost, výborné elektroizolační vlastnosti, chemickou odolnost a vysoký lesk povrchu výrobků. Mechanické vlastnosti závisí na polymeračním stupni. [57]

3.4.2 Zpracování PBT

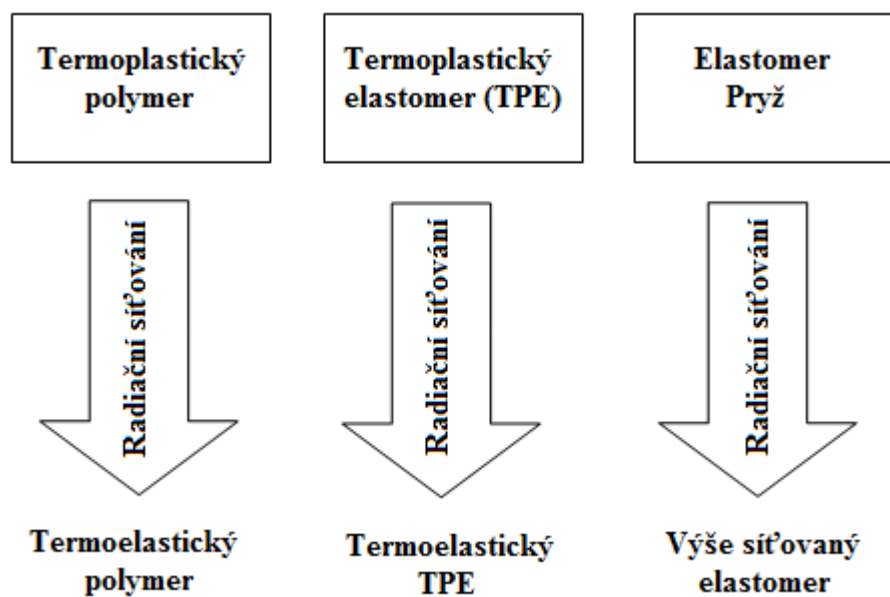
Polybutyltereftalát je nejčastěji využíván pro zpracování technologiemi vstřikováním a vytlačováním. [11]

3.4.3 Příklady aplikace PBT

Široká oblast použití polybutyltereftalátu je pro mechanicky i elektricky namáhané díly přístrojů, elektrických strojů pro domácnost a elektrické vybavy automobilů. Díky dobré chemické odolnosti se v automobilovém průmyslu využívá také na dílce palivového systému automobilů. [57]

4 TRENDY V OBLASTI POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Požadavky na polymerní materiály stále stoupají. Jedním z největších požadavků je maximální přípustná provozní teplota, dále pevnosti v tlaku, teploty použití nebo tvarové stálosti atd. Proto výrobci často volí „High performance“ polymery jako například polyetheretherketon (PEEK), polyfenylsulfid (PPS) nebo vhodné reaktoplasty. Tyto materiály jsou ovšem mnohem dražší než běžné technické termoplasty. K získání vysoce jakostních (High performance) polymerů existuje mimo jiné ekonomicky zajímavá alternativa – radiační síťování. Touto metodou jsou modifikovány běžné technické termoplasty, jimž lze dát vlastnosti, které mají jen „High performance“ polymery. Radiační zesíťování umožňuje dosáhnout vyšších provozních teplot, nižšího creepu, zvýšení tvarové stálosti za tepla, lepší tvarové paměti nebo vyšší odolnosti proti trhlinám způsobených pnutí. Dále se ozářením snižuje i koeficient tepelné roztažnosti. [21]



Obr. 26. Změny polymerů po radiačním síťování. [32]

5 IONIZAČNÍ ZÁŘENÍ

Ionizační záření je tok hmotných částic nebo fotonů elektromagnetického záření, které mají schopnost ionizovat atomy prostředí nebo excitovat jejich jádra. Vzniká jako průvodní jev jaderných procesů. Při těchto procesech se dostává jádro nebo obal atomu do excitovaného stavu a stává se tak energeticky nestabilní. Do stabilního stavu se dostane právě vyzářením energie ve formě částic nebo fotonů elektromagnetického záření. [65]

Záření je šíření energie prostorem ve formě korpuskulárního a elektromagnetického záření. Korpuskulární záření je záření proudu částic s nenulovou klidovou hmotností. Jedná se o záření 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. [9]

5.1 Základní druhy záření

5.1.1 Záření alfa α

Záření alfa nebo také částice alfa jsou jádra helia s kladným nábojem, mají dva protony a dva neutrony. Označuje se symbolem α nebo He^{2+} . Částice alfa jsou vyzářovány některými radioaktivními jádry atomů, tzv. alfa-zářiči. Pohybují se pomalu a mají malou pronikavost. Pohlcuje je už obyčejný papír nebo pokožka ruky. [23]

5.1.2 Záření beta β

Záření beta jsou částice, které jsou vysílány radioaktivními jádry prvků při beta-rozpadu. Pohybují se velmi rychle. Mají kladný elektrický náboj – pozitrony, nebo náboj záporný – elektrony. Jejich pohyb může být tedy ovlivňován elektrickým polem. Pronikavost beta záření je větší než u záření alfa. Často se k odstínění používá tenká hliníková fólie. [23]

5.1.3 Záření gama γ

Záření gama je záření často vyzářované radionuklidy spolu se zářením beta. Proud gama částic má charakter vlnění s podobnými vlastnostmi jako světlo nebo rentgenové záření. Částice gama se pohybují rychlostí světla, nemají žádný elektrický náboj, a proto mají velmi vysokou pronikavost - jsou nejnebezpečnější. Gama záření způsobuje podobná poškození jako záření rentgenové - popáleniny, rakovinu a genové mutace. Proto je nutno se před jeho účinky chránit. [23]

5.2 Urychlovače elektronů

Urychlovače elektronů jsou zařízení, která slouží k udělení energie částicím nesoucí elektrický náboj. Mezi takové částice patří např. protony, heliony nebo elektrony. K urychlení dojde průchodem nabitě částice elektrickým polem, v němž je silovým působením elektrického pole částice urychlena. [15]

Podle tvaru trajektorie urychlovaných částic dělíme urychlovače na lineární, kde jsou částice urychlovány pohybem po přímkové dráze a kruhové, kde kruhové dráhy dosáhneme silným příčným magnetickým polem. [7]

5.2.1 Lineární urychlovače

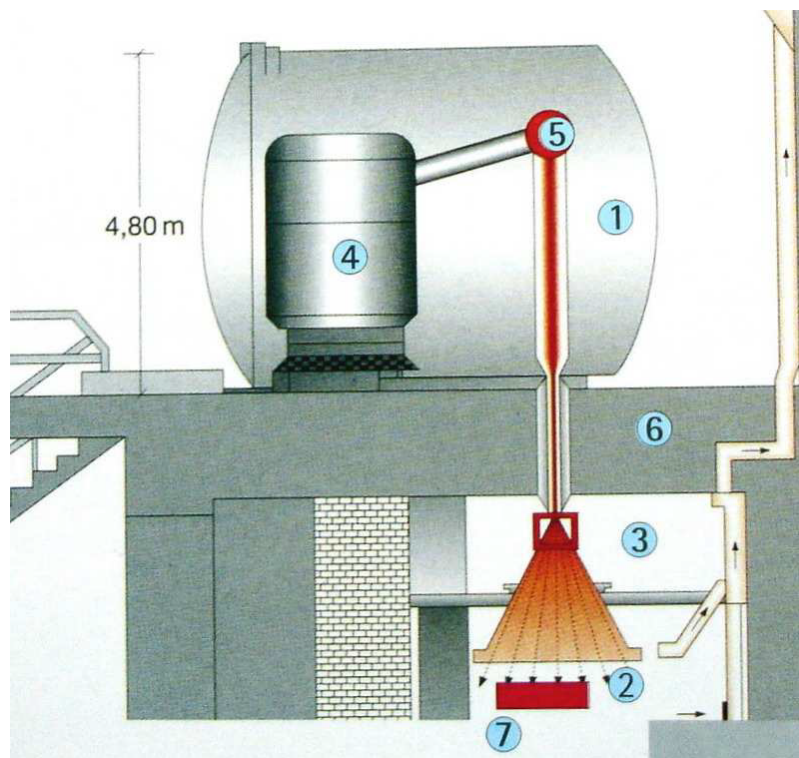
Lineární urychlovače urychlují nabitě částice působením elektrického pole během jejich pohybu po lineární dráze. Dělíme je na elektrostatické a vysokofrekvenční. U elektrostatických urychlovačů jsou částice urychlovány na energii danou součtem napětí z jednotlivých válcových elektrod. U vysokofrekvenčních urychlovačů vstupují částice z iontového zdroje do systému válcových elektrod, které jsou připojeny na střídavé elektrické napětí a urychlují částice. [7]

5.2.2 Kruhové urychlovače

V kruhovém urychlovači dochází k zakřivení dráhy urychlovaných částic silným příčným magnetickým polem. Částice jsou urychlovány elektrickým polem stejně jako u urychlovačů lineárních. Příkladem tohoto typu zařízení je zařízení typu cyklon, betatron nebo synchrotron. [7]

5.2.3 Elektronový urychlovač

V elektronovém urychlovači se ohřívá žhavicí katoda, která vysílá elektrony a ty jsou urychlovány v elektromagnetickém poli. Rychlost neboli energie elektronu, je závislá na střídavém napětí mezi žhavicí katodou a anodou. Vysoké napětí, kolem 104 V, je uloženo pod vysokým vakuem, ve svislé trubici. Z katody vycházejí elektrony, které jsou zachytávány elektromagnetickým polem do svazku a urychlovány. [29]



Obr. 27. Elektronový katodový urychlovač.

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

[29]

5.3 Jednotky používané u ionizačního záření

Energie

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

eV (elektronvolt) $1\text{eV} = 1,602\ 177 \cdot 10^{-19}\ \text{J}$

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) $1\text{Gy/s} = 1\ \text{Watt/kg}$

6 MODIFIKACE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Modifikace polymerů představuje širokou škálu způsobů fyzikálních a chemických přeměn polymerů. Jde o záměrnou přeměnu polymerů, která vede k získání nového polymerního materiálu s odlišnými vlastnostmi. [4]

6.1 Fyzikální modifikace

Fyzikální modifikací se modifikující látky do polymerních řetězců nevážou, ale zůstávají dispergovány ve hmotě polymerů. Mezi fyzikální modifikace polymerů patří:

Míšení dvou a více polymerů – je velmi jednoduchá metoda, která většinou vede k vynikajícím mechanickým vlastnostem vzniklé směsi.

Použití přísad – ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti polymeru. Makromolekulární látka plní funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti hmoty. Přísady mohou být organické nebo anorganické. Mezi takovéto přísady řadíme plniva, stabilizátory, maziva, barviva, změkčovadla, iniciátory, nadouvadla, retardéry hoření, apod. [4]

6.2 Chemická modifikace

Chemickou modifikací polymerů nazýváme úmyslnou přeměnu chemické struktury působením chemických látek. Podle délky makromolekulárních řetězců lze chemické reakce polymerů rozdělit na reakce, při kterých polymerační stupeň zůstává zachován, kam patří reakce jako např. halogenace, esterifikace nebo hydrolýza a na reakce, kdy se polymerační stupeň mění zvětšováním velikosti makromolekul – např. roubováním nebo síťováním, nebo snižováním velikosti makromolekul – degradací nebo depolymerací. [37]

6.3 Způsoby výstavby sítí

Chemickým spojováním dvou-funkčních jednotek vznikají lineární polymery. Pokud je nějaká ze složek více-funkční, dochází při reakci k větvení a později i ke vzniku nekonečné trojrozměrné struktury - prostorové sítě. Zesíťované polymery mohou vznikat těmito způsoby:

- Postupnými reakcemi nízkomolekulárních látek. Polyadící či polykondenzací vznikají např. epoxydové a fenolové pryskyřice. Síť takto vzniklých látek se dokončuje ve vytvrzovacím kroku.
- Polymerační řetězovou reakcí, síťovací polymerací.

- Spojováním reaktivních konců nízkomolekulárních polymerů. Vznik sítě je podobný jako v případě síťování postupnými reakcemi nízkomolekulárních látek.
- Zavedením příčných vazeb do vysokomolekulárních polymerů.

Při výstavbě sítí probíhají tyto děje:

- Vzrůstají rozměry molekul i polydisperzita systému.
- Při určitém stupni reakce se systém dostane do bodu gelace, ve kterém vzroste molekulární hmotnost nad všechny meze a v systému se objeví nekonečné struktury.
- Po překročení bodu gelace se systém skládá z nekonečné struktury – gelu a molekul konečné velikosti – solu, který můžeme od gelu oddělit extrakcí, protože gel je nerozpustný a v rozpouštědlech pouze botná.
- V dalším průběhu reakce obsah solu klesá a molekulární hmotnost i polydisperzita se zmenšují.
- V gelu vznikají elasticky aktivní řetězce sítě, které určují velikost modulu pružnosti gelu a jeho stupeň nabotnění. [10]

6.4 Síťovací aditiva

Jsou to látky, které se síťovacích reakcí neúčastní přímo. Síťovacími prostředky nazýváme:

Síťovací činidla – které jsou nejdůležitější ze síťovacích prostředků, protože bez nich by nemohlo dojít k zesílení polymeru. K vulkanizaci - síťování elastomerů se využívá jako vulkanizační – síťovací činidlo nejčastěji elementární síra nebo organické peroxidy. Reaktoplasty se vytvrzují např. kyselinami. U termoplastů používáme jako síťovací činidla organické peroxidy a záření o vysoké energii, zejména ionizující záření, svazky urychlených elektronů – plazma nebo UV záření. [4]

Aktivátory síťování – pomáhají snížit aktivační energii síťovacích reakcí. Zvyšují účinek síťování a snižují závislost rychlosti síťování na teplotě. Podle síťovacích činidel volíme nejvhodnější aktivátory. Aktivátory radiačního síťování se označují jako senzibilizátory. [4]

Urychlovače síťování – se používají, pokud je proces síťování časově náročný - neekonomický. [4]

7 RADIAČNÍ SÍŤOVÁNÍ POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Síťování polymerů je proces, při kterém dochází ve struktuře polymeru k propojování makromolekulárních řetězců a vzniku sítě. Vznikem sítě materiál dostává zcela nové vlastnosti. Proces síťování může být proveden několika způsoby, velmi progresivní metodou je radiační síťování.

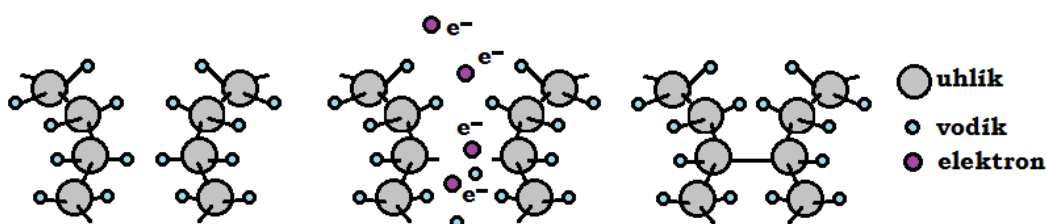
Hlavní přednosti této metody jsou:

- Ionizační záření zušlechťuje standardní nebo konstrukční plasty a zlepšuje tak jejich mechanické, tepelné a chemické vlastnosti, které se dostávají až na úroveň velmi drahých High-tech polymerů.
- K síťování dochází až po zpracování materiálu na hotových výrobcích.
- Síťování probíhá za normální teploty a tlaku bez dalšího zbytečného namáhání materiálu.
- Ozařovacími parametry můžeme měnit stupeň síťování a dále tak ovlivňovat vlastnosti materiálu podle požadovaných nároků. [13]

Radiační síťování se využívá především pro izolace kabelů, trubkové profily a hadice, tvarované a vstřikované díly, kompozity a také polymerní granuláty, kde se záměrně mění jejich reologické vlastnosti. [29]

7.1 Princip radiačního síťování

Radiační síťování pracuje na principu, při kterém jsou molekuly materiálu vystaveny proudu vysoce-energetických elektronů - záření beta, nebo paprskům fotonů - záření gama. Interakcí záření s molekulami polymeru vznikají volné radikály rozpadem vazeb C-H, které pomocí rekombinace v řetězci vytvoří síť spojením dvou volných radikálů mezi řetězci za vzniku vazby C-C. [13]



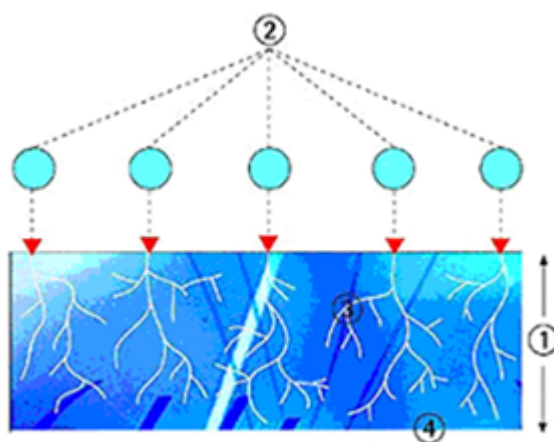
Obr. 28. Princip radiačního síťování.

Při interakci záření s molekulami materiálu dochází i ke štěpení makromolekul, čímž se snižuje molekulová hmotnost. Dochází tedy k degradaci materiálu. U radiačního síťování je předpokladem, že materiál při působení ionizačního záření převážně síťuje. Záměrné degradace se využívá pouze ojediněle. [29]

7.1.1 Síťování polymerních materiálů beta zářením

Záření beta vzniká v zařízeních - urychlovačích elektronů. V těchto urychlovačích je žhavicí katoda, jež je naplněna vysokým vakuem, emitující elektrony a ty jsou urychlovány v elektromagnetickém poli. Rychlost neboli energie elektronů, je závislá na střídavém napětí mezi žhavicí katodou a anodou. Části urychlovače elektronů jsou uloženy v tlakové nádobě, která je naplněna izolujícím plynem. [13]

V zařízeních s urychlovači elektronů se pracuje s vysokými intenzitami dávek záření, ale s omezenou hloubkou pronikání závislou na energii. Pro síťování polymerních materiálů jsou potřebné relativně vysoké dávky záření. Proto se pro většinu plastových dílů používá elektronové beta záření. [13]



Obr. 29. Elektronové beta záření.

1 – hloubka proniknutí elektronů, 2 - primární elektrony, 3 - sekundární elektrony, 4 - ozářovaný materiál. [29]

7.2 Vliv radiačního síťování na vlastnosti polymerních materiálů

Vliv radiačního záření na mechanické vlastnosti polymerů se významně liší v závislosti na síťování nebo degradaci polymeru. Radiační záření způsobující degradaci má vliv na trvalý pokles většiny významných vlastností polymerů. Naopak kontrolované síťování může vést

v některých případech k výhodným změnám vlastností. Ve vysokém stupni zesítnění se mnoho polymerů stává velmi tvrdými a křehkými. [30]

7.2.1 Mechanické vlastnosti při pokojové teplotě

V případě polymerů, které degradují jako např. polymethylmetakrylát, dochází k poklesu vrubové houževnatosti a pevnosti v tahu. V případě polymerů, které síťují, jako je např. polyetylen, nylon a polyestery, se modul pružnosti zvyšuje s rostoucí dávkou záření. Při ozařování polymerů dochází k uvolňování plynů. Pokud dojde k ozáření objemných kusů polymeru, uvolněné plyny zůstávají uvnitř polymeru a vytváří tak vnitřní tlak, který vede k napětí, a proto může významně přispět ke ztrátě rázové pevnosti. [30]

7.2.2 Mechanické vlastnosti při zvýšené teplotě

Vlastnosti zesíťovaných lineárních polymerů se nad teplotou tání mění z termoplastických na termoelastické. Polymer, tak již není více tavitelný a uzavírá se tak možnost jeho opětovného zpracování replastikací. [30]

7.2.3 Barevné změny

Barevné změny ozářených polymerů jsou velmi silně závislé na teplotě, při které se provádí ozařování a na druhu použitého záření. Zabarvení polymerů mohou způsobovat i přísady jako jsou změkčovadla, stabilizátory atd. [30]

7.2.4 Chemické změny

Polymery vlivem radiačního záření síťují nebo degradují.

Síťování - U polymerů, které síťují, dochází ke zvyšování molekulové hmotnosti, která roste s dávkou záření, což vede k rozvětvení řetězců a tvorbě sítě. Výsledná struktura polymerů zvyšuje teplotu tání daného polymeru nad jeho běžnou teplotu tání. Proces je přirovnatelný k vulkanizaci pryže.

Degradace – U polymerů, které vlivem radiačního záření degradují, dochází k náhodnému rozpadu řetězců a snižování molekulové hmotnosti, která postupně klesá s dávkou záření. [30]

7.3 Přínosy radiačního síťování

7.3.1 Lepší výsledné vlastnosti výrobků

V kombinaci s technologií radiačního síťování a standardními, technickými, síťovatelnými polymery lze u konečných výrobků zlepšit termické, mechanické, creepové, chemické vlastnosti → nové aplikace výrobků. [21], [29]

Tab. 1. Tabulka příkladu porovnání vlastností síťovaných materiálů. [21], [29]

Vlastnosti síťovaných materiálů	
Výhody	Nevýhody
Větší tvrdost Vyšší pevnost Vyšší provozní teploty Nižší creepové chování Zlepšení trvalé deformace Větší odolnost proti stárnutí Lepší tribologické vlastnosti Vyšší tvarová stálost za tepla Větší odolnost proti opotřebení Vyšší odolnost proti chemikáliím	Křehkost Nižší ohebnost

7.3.2 Úspora nákladů - finanční analýza

Materiálová úspora – v kombinaci s technologií radiačního síťování a standardními, technickými, síťovatelnými polymery je možná náhrada drahých, vysoce odolných, technických termoplastů. [21], [29]

Tab. 2. Tabulka příkladu materiálových úspor nákladů.

Úspora nákladů	
Materiál, náklady	Cena
Síť. PA 6	4,60 €/kg (při odběru 1 tuny)
Síť. PBT	5,00 €/kg (při odběru 1 tuny)
PEI	8,60 €/kg (při odběru 1 tuny)
PES	9,90 €/kg (při odběru 1 tuny)
Náklady na síťování	1 – 2 €/kg (dle rozměru výrobku)
Náklady na dopravu	Cca 1 €/kg
Celková úspora nákladů	
PA 6 s náklady na ozáření a dopravu	6,50 €/kg
PBT s náklady na ozáření a dopravu	6,80 €/kg

PEI	8,60 €/kg
PES	9,90 €/kg
Úspora při použití síť. PA 6 oproti PEI 2,10 €/kg, oproti PES 3,40 €/kg.	
Úspora při použití síť. PBT oproti PEI 1,80 €/kg, oproti PES 3,10 €/kg.	

Výrobní úspory – v kombinaci s technologií radiačního síťování a standardními, technickými, síťovatelnými polymery jsou možné nižší výrobní náklady z důvodu aplikace technických termoplastů. [21], [29]

Tab. 3. Tabulka příkladu výrobních úspor. [21], [29]

Výrobní úspory	
Výhody	Nevýhody
Pro materiály síť. PA 6, síť. PBT	Pro materiály PEI, PES
Nižší výrobní náklady	Vyšší výrobní náklady
Standardní vstřikovací stroj	„Odolnější“ vstřikovací stroj
Standardní vstřikovací nástroje	„Odolnější“ vstřikovací nástroje
Nižší spotřeba elektrického proudu	Vyšší spotřeba elektrického proudu
Nižší zpracovatelské teploty	Vyšší zpracovatelské teploty

Kvalita – radiačně zesíťované výrobky mohou snížit potenciální náklady na reklamace („z pole“) z důvodu vyšší životnosti výrobků. [21], [29]

7.3.3 Ostatní přínosy

- Vyšší životnost výrobků - Vyšší konkurenceschopnost - Know – how [21], [29]

7.4 Nevýhody radiačního síťování

- Vyšší náklady na logistiku
- Ztížená recyklovatelnost výrobků
- Nemožnost síťovat všechny polymery
- Pro některé polymery (PA 6, PBT, PP) nutnost přítomnosti síťovacího činidla [21], [29]

8 MATERIÁLOVÉ ZKOUŠKY

8.1 Mechanické vlastnosti

Při zpracování a při použití jsou materiály vystaveny různému namáhání, jako je tah, tlak, krut, stříh a ohyb. Tato namáhání působí většinou současně jako kombinace dvou i více namáhání prostých. Např. namáhání tahem a ohybem nebo tahem, ohybem a krutem. Aby jim materiál mohl odolávat, musí mít určité vlastnosti, jako jsou pevnost, tvrdost, pružnost, tvárnost aj. [6]

8.2 Druhy zkoušek mechanických vlastností

8.2.1 Statické zkoušky

Statické krátkodobé zkoušky patří do skupiny k nejrozšířenějším způsobům mechanických zkoušek materiálů. Principem je krátkodobé - v minutách - namáhání zkušební tělesa definovaným zatížením, například v tahu, tlaku, smyku, ohybu, krutu nebo malými rychlostmi deformace, až do doby dokud nedojde k jejich porušení anebo předepsané deformaci za normovaných podmínek měření. [66]

8.2.2 Dynamické zkoušky rázové

V praxi jsou materiály namáhány zatížením, jehož velikost a smysl se prudce nebo opakovaně mění. Při tomto namáhání často dochází k náhlému porušení součásti, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu. Princip dynamických zkoušek spočívá ve velkém nárůstu působící síly za malý časový okamžik - zlomek sekundy - na materiál. Zkoušky bývají provedeny rychle. [6]

8.3 Tahová zkouška

Tahová zkouška patří mezi nejdůležitější a nejfrekventovanější statické zkoušky v technické praxi. Při zkoušce je zkušební tyč zatěžována statickým jednoosým tahem. Zkouška obvykle končí porušením zkušební tyče. Zkušební tělesa se zatěžují pomalu rostoucí silou ve zkušebním stroji až do přetržení. [66]

8.3.1 Princip tahové zkoušky

Zkušební těleso je protahováno ve směru své hlavní podélné osy konstantní rychlostí zkoušení do jeho porušení nebo do okamžiku, kdy napětí v tahu nebo protažení dosáhnou pře-

dem zvolené hodnoty. Během zkoušky se měří zatížení působící na zkušební těleso a prodloužení. [3]

8.3.2 Materiály pro tahovou zkoušku

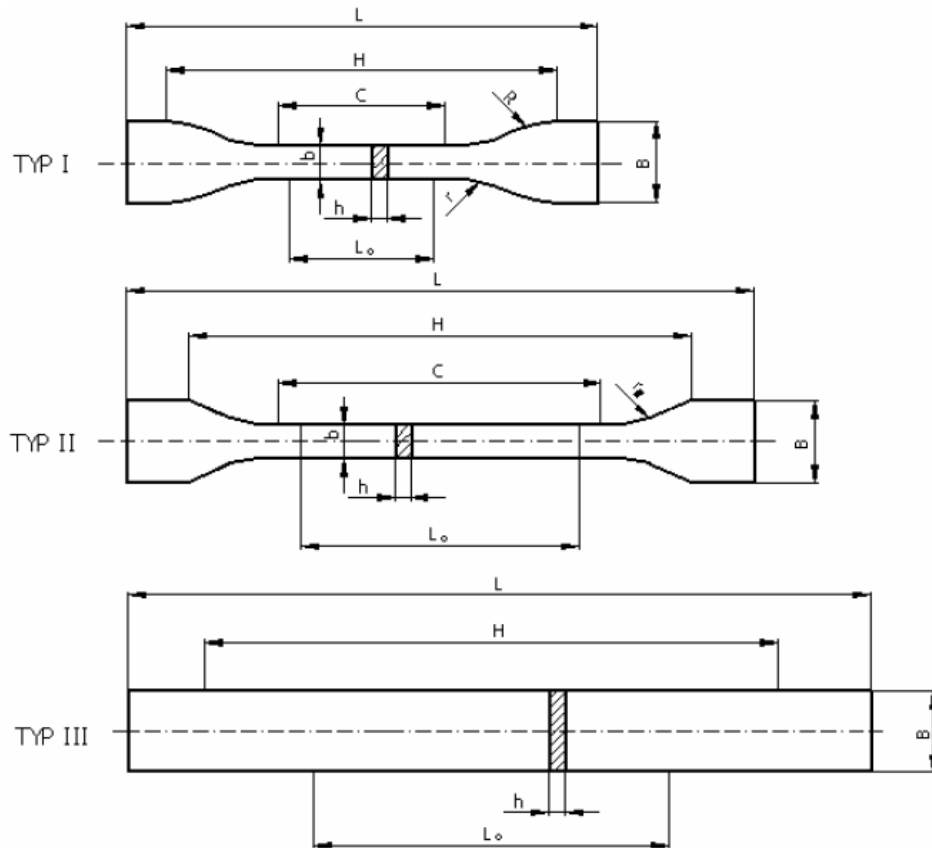
Tahové zkoušky jsou vhodné pro následující materiály: tuhé a polotuhé termoplasty včetně plněných a vyztužených směsí, tuhé a polotuhé reaktoplasty, kompozity plněné vlákny na bázi reaktoplastů a termoplastů vyztužené v jednom nebo ve více směrech vyztužemi nebo termotropní polymery na bázi tekutých krystalů. [3]

8.3.3 Zkušební tělesa pro tahovou zkoušku

Pro metody tahové zkoušky se používají zkušební tělesa, která mohou být buď tvářena na zvolený rozměr, nebo zhotovena mechanickým obráběním, řezáním nebo vysekáváním z hotových výrobků nebo polotovarů, jako výlisky nebo lamináty. Pro tyto zkoušky se používají zkušební tělesa ve tvaru oboustranné lopatky tzv. osmičky. Metody uvádějí doporučené rozměry zkušebních těles dle normy ČSN EN ISO 527. [3]

Tab. 4. Rozměry zkušebních těles pro tahové zkoušky polymerů. [3]

Rozměry [mm]	Typ zkušebního tělesa		
	Typ I	Typ II	Typ III
Celková délka L	75	150	250
Šířka upínací hlavy B	12,5±1,0	20,0±0,5	25,0±0,5
Délka pracovní části C	25±1	80,0±0,5	-
Šířka pracovní části b	4±1	10,0±0,5	-
Malý poloměr zakřivení r	8,0±0,5	-	-
Velký poloměr zakřivení R	12,5±1,0	-	-
Počáteční měřená délka L₀	20,0±0,5	50,0±0,5	50±1
Vzdálenost mezi značkami H	50±2	110±5	170±5
Poloměr zakřivení r₁	-	20-25	-
Tloušťka h	4,0±0,2	4,0±0,2	4,0±0,2



Obr. 30. Zkušební tělesa pro tahovou zkoušku. [3]

8.4 Rázová zkouška

Slouží k zjištění, kolik práce nebo energie se spotřebuje na porušení zkušební tyče. Nejčastěji se zkouší jedním rázem, kdy se na porušení zkušební tyče použije dostatečného množství energie. Méně často zkoušíme několika rázy, kdy se energie po sobě jdoucích rázů sčítá. Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu nebo krutu. Vrubovou houževnatost zjišťujeme zvláště u tepelně zpracovaných ocelí, u svarů a u plastů určených k lisování, méně často u neželezných kovů. [31]

8.4.1 Princip rázové zkoušky

Pro provedení zkoušky vrubové houževnatosti se používá Charpyho kyvadlové kladivo. Kladivo, otočné kolem osy, se upevní v počáteční poloze. V nejnižší poloze kladiva se umístí do stojanu zkušební tyč zkoušeného materiálu. Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje po kruhové dráze, narazí na zkušební tyč a přerazí ji, dostane se do konečné polohy. Tato poloha je nižší než poloha počáteční, protože na přeražení zkušební tyče se spotřebovala určitá práce. [31]

8.4.2 Materiály pro rázovou zkoušku

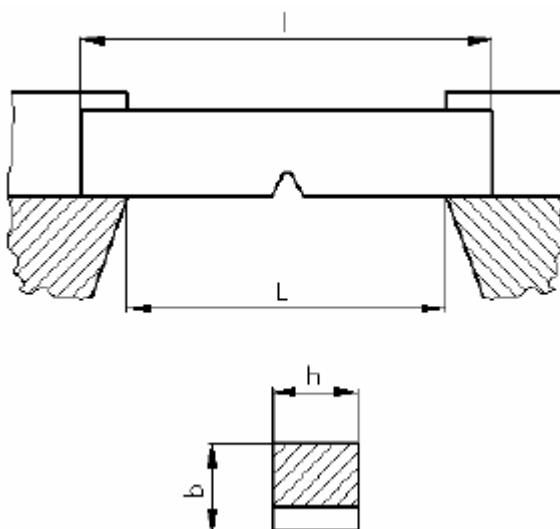
Rázové zkoušky jsou vhodné pro následující materiály: tuhé a polotuhé termoplasty včetně plněných a vyztužených směsí, tuhé a polotuhé reaktoplasty včetně plněných a vyztužených směsí, kompozity plněné vlákny na bázi reaktoplastů a termoplastů vyztužené v jednom nebo ve více směrech výztužemi nebo termotropní polymery na bázi tekutých krystalů. [2]

8.4.3 Zkušební tělesa pro rázovou zkoušku

Metody rázových zkoušek lze použít pro zkušební tělesa, která mohou být na zvolené rozměry tvářena, nebo zhotovena mechanickým obráběním ze střední části standardního víceúčelového zkušebního tělesa dle normy ISO 3167, nebo z výrobků či polotovarů. Metoda předepisuje rozměry zkušebních těles. Zkušební tělesa pro rázovou zkoušku prováděnou metodou Charpy musí být připravena v souladu s příslušnými materiálovými specifikacemi dle příslušných norem. [2]

Tab. 5. Rozměry zkušebních těles pro zkoušky vrubové houževnatosti polymerů. [2]

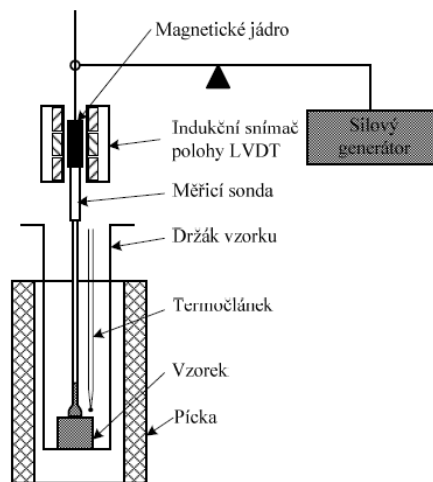
Zkušební těleso	Délka l [mm]	Šířka b [mm]	Tloušťka h [mm]	Vzdálenost podpěr (rozpětí) L [mm]
Velké	80 ± 2	$10,0 \pm 0,2$	$4,0 \pm 0,2$	$62^{+0,5}_0$
Střední	$25h$	10 nebo 15	3	$20h$
Malé	$(11 \text{ nebo } 13)h$	10 nebo 15	3	$(6 \text{ nebo } 8)h$



Obr. 31. Zkušební těleso pro rázovou zkoušku. [2]

8.5 Termomechanická analýza

Termomechanická analýza (TMA) je založena na měření deformace zkušební vzorku při zatížení v závislosti na teplotě nebo čase. TMA slouží ke sledování roztažnosti zkušební vzorku v závislosti na teplotě – dilatometrie nebo ke sledování penetrace jehly do kompaktního vzorku, která umožní stanovit teplotu měknutí vzorku. U filmů a vláken je možné sledovat napěťové změny při konstantní délce - relaxace. TMA umožňují sledovat také procesy krystalizace i stanovení krystalického podílu, teplotu tání, objemovou i lineární roztažnost. Podle použité metody měření lze také stanovit průběh koeficientu tepelné roztažnosti v závislosti na teplotě, bod měknutí a tání materiálu, teplotu skelného přechodu, viskozitu tuhých látek, moduly pružnosti, změna viskoelastických vlastností látek a další. [67]



Obr. 32. Schéma přístroje TMA. [14]

8.5.1 Princip termomechanické analýzy

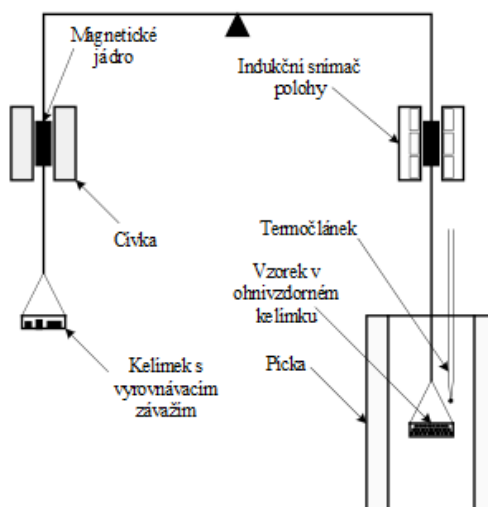
Při vlastním sledování je zkoušený vzorek umístěn v ochranném obalu - křemenná destička nebo mistička, který zajišťuje ochranu proti slepení vzorku a je umístěn v temperační komoře, ve které je udržován předdefinovaný teplotní program pomocí čidla a termočláneku umístěného v bezprostřední blízkosti vzorku. K měření se používají válcové nebo čtverhranné zkušební vzorečky s planoparalelním měřicím povrchem. Malé zkušební zatížení od 0,1 g do 5 g, která působí na zkoušený vzorek, se může měnit podle zvoleného režimu působení, a to na statické nebo dynamické. U statického podnětu se jeho velikost v čase nemění, u dynamického se velikost mění to buď periodicky, nebo neperiodicky. Měření se provádí nízkou rychlostí ohřevu. [67]

8.6 Termogravimetrická analýza

Termogravimetrická analýza (TGA) je termodynamickou metodu, jejímž základním principem je měření změn hmotnosti analyzovaného vzorku při jeho plynulém zahřívání nebo ochlazování. Změny hmotnosti jsou výsledkem odpařování, rozkladného procesu, nebo chemické reakce. Ke změně hmotnosti vzorku může dojít také v důsledku absorpce plynů, jako je např. kyslík, vlhkost, a další. Ve spojení s infračervenou nebo hmotovou spektroskopii nabízí TGA možnost přesné identifikace neznámého materiálu. TGA se využívá například ke stanovení oxidační stability, účinnosti přísad nebo obsahu plniva. [67]

8.6.1 Princip termogravimetrické analýzy

Nejdůležitější součástí zařízení pro TGA měření jsou analytické váhy, schopné přesně měřit v širokém rozsahu teplot. Na vahách jsou umístěny nosiče vzorků, což jsou kovové misky nebo kelímky obvykle z korundu, platiny, stříbra nebo zlata, které zasahují do temperované komory a zajišťují dobrý tepelný kontakt mezi zkušebním vzorkem a jeho držákem. Tyto kovové misky mají různé velikosti v závislosti na hmotnosti vzorku. [67]



Obr. 33. Schéma přístroje TGA. [17]

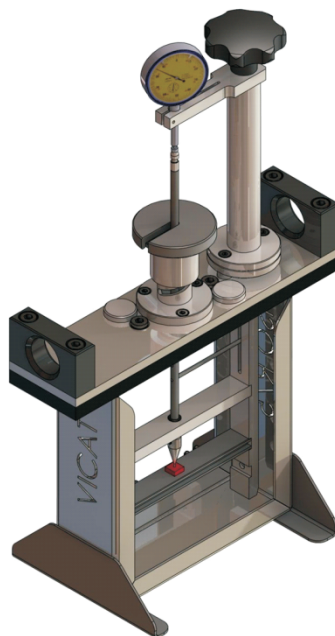
Změna hmotnosti zkoušených vzorků se zaznamenává výchylkovou metodou, kdy se sleduje a zaznamenává každá výchylka vah z rovnováhy a metodou kompenzační, kdy se kompenzuje výchylka vahadla tak, aby vahadlo zůstalo v rovnovážné poloze. Naměřená změna hmotnosti se vyjadřuje v závislosti na teplotě nebo čase TGA křivkami. Tyto křivky pak podávají informace o složení zkoumaného vzorku, jeho tepelné stálosti, teplotním rozkladu a také o produktech vznikajících při rozkladu. [67]

8.7 Stanovení teploty měknutí podle Vicata

Tato metoda poskytuje spolehlivé výsledky pro amorfní termoplasty. Termomechanická křivka je tvořena přibližně dvěma lineárními větvemi. Teplota, která je příslušející jejich průsečíku odpovídá teplotě skelného přechodu. [18]

8.7.1 Princip stanovení teploty měknutí podle Vicata

Stanovuje se teplota, při které se standardní jehla s plochým hrotem o kruhovém průřezu a ploše 1 mm^2 vtlačí do povrchu zkušební tělesa z polymeru o rozměrech $10 \times 10 \times 3$ až $6,5$ mm nebo průměru 10 mm, do hloubky 1 mm. Jehla působí definovaným zatížením kolmo na zkušební těleso umístěné v temperační lázni, které je současně zahříváno konstantní rychlostí. [18]



Obr. 34. Schéma přístroje metody Vicat. [18]

9 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části byla popsána problematika světlometů a rozdělení polymerních materiálů, které se v aplikacích pro světlomety využívají. Dále byla přiblížena problematika ionizačního záření, radiačního síťování a jeho vliv na polymerní materiály.

Samostatná kapitola byla pak věnována materiálovým zkouškám, kde jsou popsány principy jednotlivých zkoušek použitých pro experimenty v praktické části.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

10 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je porovnat mechanické vlastnosti vybraných polymerních materiálů v aplikacích ve světlotech s vlastnostmi radiačně zesíťovaných materiálů, zjistit vliv radiačního síťování na teplotní odolnost a provést finanční analýzu.

Jako zkušební materiál budou použity polyamidy PA6, PA 9T se síťovacím činidlem i bez něj, PBT (polybutylentereftalát), PEI (polyeterimid) a PES (polyetersulfon).

Materiály budou zpracovány na vstřikovacím stroji za účelem přichystání zkušebních těles pro mechanické zkoušky. Zároveň budou pomocí vstřikování připraveny konkrétní části světlotetů (vzorků). Část zkušebních těles a vzorků bude vystavena radiačnímu záření o různých dávkách a následně na ozářených i neozářených tělesech budou provedeny zkoušky teplotní odolnosti, zkoušky tahové a zkoušky vrubové houževnatosti.

Naměřená data budou vyhodnocena za účelem porovnání vlastností stávajících materiálů použitých ve světlotech s materiály modifikovanými radiačním síťováním.

11 POUŽITÉ STROJE A ZAŘÍZENÍ

Pro vypracování diplomové práce bylo využito několik strojů a zařízení. Mezi prvními využitými stroji bylo sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2 a vstřikovací stroj firmy ARBURG typu ALLROUNDER 470C (GOLDEN EDITION). Dále vrubovací stroj CEAST NOTCHVIS, rázové kladivo RESIL IMPACTOR JUNIOR ZWICK 5113 a měřicí zařízení ZWICK ROELL 1456, které bylo využito pro tahovou zkoušku. Jako další bylo využito napařovací zařízení META 2052, mikroskop VHX-S90BE (KEYENCE DIGITAL MICROSCOPE SYSTEM), temperační sušárna BINDER FED 53, zkušební zařízení HDT3 Vicat, zkušební zařízení DMA 7e PERKIN ELMER a zkušební zařízení TGA Q500.

11.1 Sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2

Toto zařízení je určeno k přípravě materiálů před vstřikováním. Slouží hlavně k odstranění vlhkosti a dopravě materiálu do plastikační jednotky vstřikovacího stroje. Sušící stroj je ovládán pomocí ovládacího panelu, umístěném na boku stroje. [48]



Obr. 35. Sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2. [48]

Tab. 6. Technické parametry sušícího zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2. [48]

Sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Objem zařízení	100	l
Objem zařízení s připojeným kontejnerem	200	l
Provozní napětí	220/400	V
Topný element	4,5	kW
Ventilátor	0,95	kW
Dopravní výška	3	m
Dopravní tlak	0,05	bar
Zdroj sušícího vzduchu	0,74	kW
Celková spotřeba energie	5,5	kW
Celková spotřeba energie zahrnující zdroj sušícího vzduchu	6,2	kW
Množství sušícího vzduchu	90	m ³ .h ⁻¹
Množství obnoveného sušícího vzduchu	20	m ³ .h ⁻¹
Přípojka stlačeného vzduchu pro vakuové dopravní zařízení	4-6	bar
Vzduchový filtr/ jmenovitý maximální průtok	180	m ³ .h ⁻¹

11.2 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 470C

Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 470C (GOLDEN EDITION) bývá využíván pro běžné vstřikování, ale i pro jiné speciální druhy zpracování. Činnost stroje je řízena pomocí panelu na výklopném terminálu. Na tomto panelu mohou být zobrazeny například cykly stroje. Vyobrazená data slouží k obsluze a ke kontrole nastavení stroje. [44]



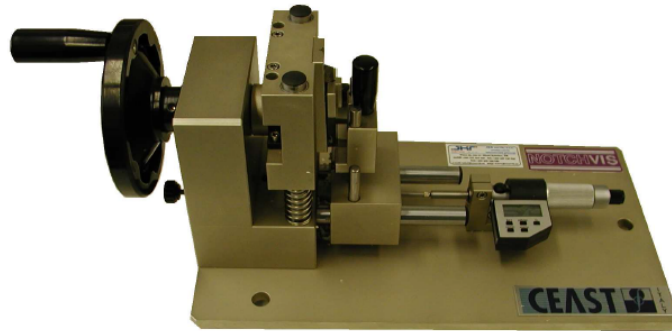
Obr. 36. Vstřikovací stroj ARBUR ALLROUNDER 470C. [44]

Tab. 7. Parametry vstřikovacího stroje ARBURG ALLROUNDER 470C. [44]

Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 470C		
Uzavírací jednotka		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Uzavírací síla	1300	max kN
Otevírací síla / zvýšená otevírací síla	50/520	max kN
Otevření	650	max mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	470x470	mm
Velikost upínací desky	728x728	mm
Vyhazovací síla	66	max kN
Zdvih vyhazovače	225	max mm
Hydraulika, pohon		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Výkon čerpadla	22	kW
Celkový příkon stroje	33,9	kW
Vstřikovací jednotka		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Průměr šneku	40	mm
Poměr šneku	20	L / D
Zdvih šneku	145	max mm
Objem dávky	182	max cm ³
Vstřikovací tlak	2120	max bar
Vstřikovací (objemová) rychlost	210	max cm ³ .s ⁻¹
Zpětný tlak pozitivní/negativní	350/160	max bar
Krouticí moment šneku	550	max Nm
Přítlačná síla trysky	60	max kN
Objem násypky	50	l
Olejová náplň, hmotnost		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Množství oleje	290	l
Hmotnost stroje bez oleje	6510	kg

11.3 Vrubovací stroj CEAST NOTCHVIS

Vrubovací stroj CEAST NOTCHVIS se používá pro tvorbu vrubu uprostřed zkušebních tělísek pro zkoušku vrubové houževnatosti. Pomocí přídatného digitálního mikrometru lze vyrobit vrub s přesností $\pm 0,001$ mm. [40]



Obr. 37. Vrubovací stroj CEAST NOTCHVIS. [40]

11.4 Rázové kladivo RESIL IMPACTOR JUNIOR ZWICK 5113

Přístroj umožňuje stanovení rázové zkoušky, Charpy nebo Izod. Kyvadlo přístroje je určeno speciálně pro testy v rozmezí 1 - 25 Joule. Výhodou stroje je provádění zkoušek v souladu s velkým množstvím mezinárodních standardů včetně ČSN, EN a ISO. Další výhodou zařízení je možnost připojení k počítači. [20]



Obr. 38. Rázové kladivo RESIL IMPACTOR JUNIOR. [20]

Tab. 8. Parametry rázového kladiva RESIL IMPACTOR JUNIOR. [20]

Rázové kladivo RESIL IMPACTOR JUNIOR ZWICK 5113		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Rozměry	900x500x800	mm
Hmotnost	180	kg
Rozsah energie	1-25	J
Výkon	50	W

11.5 Měřicí zařízení ZWICK ROELL 1456

Přístroj je využíván k měření tahových a tlakových sil. Na stroji lze provádět zkoušky tahem, tlakem a ohybem. K manipulaci se strojem, sběru a vyhodnocení dat slouží připojený počítač. Pro provedení zkoušek za zvýšených nebo snížených teplot je možné využít temperační komoru umístěnou na zařízení. Měřicí stroj obsahuje i extenzometr, s jehož pomocí lze přesněji určit některá měřená data. [26]



Obr. 39. Měřicí zařízení ZWICK ROELL 1456. [26]

Tab. 9. Parametry měřicího zařízení ZWICK ROELL 1456. [26]

Měřicí zařízení ZWICK ROELL 1456		
Rozměry a hmotnost stroje		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Strojová výška	1284	mm
Celková výška	2012	mm
Celková šířka	630	mm
Šířka pracovního prostoru	420	mm
Hmotnost	150	kg
Dynamika stroje		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Maximální zkušební síla	20	kN
Maximální rychlost posuvu příčnicku	750	mm.min ⁻¹

11.6 Digitální mikroskop VHX – S90BE KEYENCE REMAX IV

Přístroj slouží ke sledování povrchu materiálu nebo mikroskopických částí. K přístroji je připojen počítač, do kterého se ukládají nafocené snímky, které mohou být dále editovány. Další výhodou je, že lze mikroskop ovládat pomocí dálkového ovladače nebo zobrazit 3D obraz. [61]



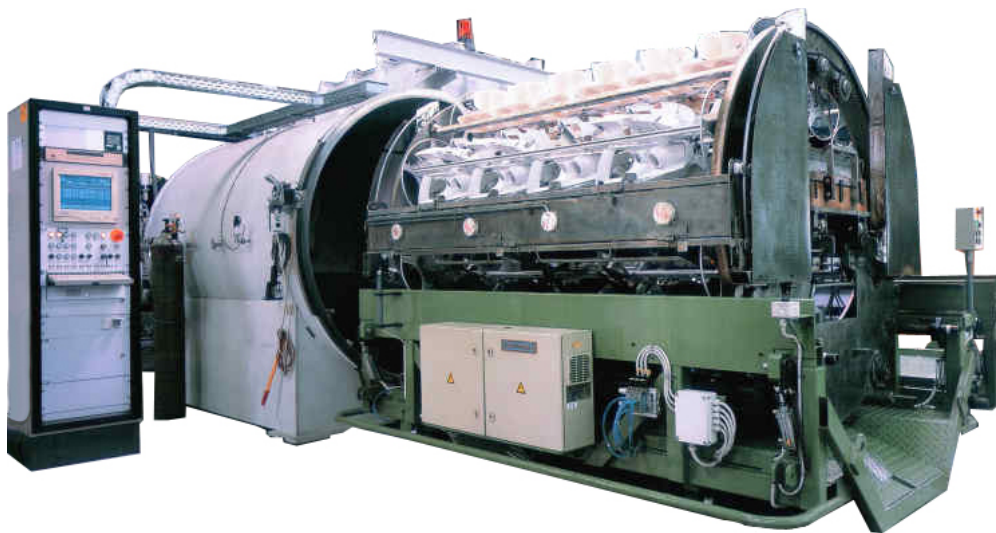
Obr. 40. Digitální mikroskop VHX – S90BE KEYENCE REMAX IV. [61]

Tab. 10. Parametry měřicího zařízení VHX-S90BE KEYENCE REMAX IV. [61]

Digitální mikroskop VHX – S90BE KEYENCE REMAX IV		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Úhel natočení	±90	°
Hmotnost	14	kg
Nosnost	1	kg

11.7 Napařovací zařízení META 2052

Přístroj slouží k pokovování dílů z plastů, kovů, keramiky nebo skla, napařováním materiálu jako je např. hliník, měď, zlato, stříbro nebo nerezová ocel. Cyklus pokovení součástí se pohybuje od 10 do 40 minut. [63]



Obr. 41. Napařovací zařízení META 2052. [63]

Tab. 11. Parametry napařovacího zařízení META 2052. [63]

Napařovací zařízení META 2052		
Vakuová komora		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Vnitřní průměr	2050	mm
Délka komory	2915	mm
Upínací planety		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Počet upínacích planet	8	ks
Délky planety	2040	mm

11.8 Temperační sušárna BINDER FED 53

Přístroj je využíván k sušení materiálů nebo pro zkoušky tepelné odolnosti materiálů. Mikroprocesorový multifunkční regulátor umožňuje teplotu od $+5^{\circ}\text{C}$ nad teplotou okolí do $+300^{\circ}\text{C}$ s definovanou rychlostí náběhu. Lze využít čtyř časových funkcí – trvalé vyhřívání, vyhřívání zvolenou dobu, vyhřívání s prodlevou, vyhřívání zvolenou dobu od dosažení žádané teploty. Výkon topných těles lze volit v rozsahu od 0 do 100 % a tak ovlivňovat rychlost náběhu teploty. Přístroj má zabudovaný ventilátor (regulace 0 - 100%) k intenzivnímu oběhu vzduchu v komoře, čímž se výrazně zkracuje doba náběhu na požadovanou teplotu. [54]



Obr. 42. Temperační sušárna BINDER FED 53. [54]

Tab. 12. Parametry temperační sušárny BINDER FED 53. [54]

Temperační sušárna BINDER FED 53		
Rozměry stroje		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Vnější šířka	634	mm
Vnější výška	617	mm
Vnější hloubka	575	mm
Vnitřní šířka	400	mm
Vnitřní výška	400	mm
Vnitřní hloubka	330	mm
Objem	53	l
Maximální teplota	300	°C
Doba vyhřátí		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Vyhřátí na 70 °C	6	min
Vyhřátí na 150 °C	24	min
Vyhřátí na 300 °C	45	min
Další vlastnosti		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Napájení	230	V
Příkon	1200	W

11.9 Zkušební zařízení HDT3 Vicat

Zkušební zařízení je využíváno ke stanovení teplotní odolnosti polymerních materiálů. [59]



Obr. 43. Zkušební zařízení HDT3 Vicat. [59]

Tab. 13. Parametry zkušebního zařízení HDT3 Vicat. [59]

Zkušební zařízení HDT3 Vicat		
Technická data		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Počet měřicích stanic	3	ks
Teplotní rozsah	20 - 300	°C
Přesnost teplotního nastavení	± 0,2	°C
Celková kapacita lázní	18	l
Rozměry zařízení	1100 x 510 x 600	mm
Hmotnost	110	kg
Výkon	3000	W
Napájení	230	V

11.10 Zkušební zařízení DMA 7e PERKIN ELMER

Zkušební zařízení bývá využíváno k dynamické mechanické analýze polymerních materiálů. [43]



Obr. 44. Zkušební zařízení DMA 7e PERKIN ELMER. [43]

Tab. 14. Parametry zkušebního zařízení DMA 7e PERKIN ELMER. [43]

Zkušební zařízení DMA 7e PERKIN ELMER		
Technická data		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Rozměry zařízení	67 x 25 x 60	mm
Napájení	100	V

11.11 Zkušební zařízení TGA Q500

Přístroj je využíván ke stanovení úbytku hmotnosti při zvýšené teplotě. [56]



Obr. 45. Zkušební zařízení TGA Q500. [56]

Tab. 15. Parametry zkušebního zařízení TGA Q 500. [56]

Zkušební zařízení TGA Q500		
Technická data		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Teplotní rozsah	1000	°C
Izotermická přesnost teploty	0,1	°C
Citlivost	0,1	µg
Přesnost vážení	0,1	µg
Rychlost vyhřívání	0,1 - 100	°C/min

12 ZKOUŠENÉ MATERIÁLY

V této kapitole jsou popsány základní vlastnosti použitých materiálů.

12.1 Polyamid 9T - PA 9T

Tab. 16. Vybrané vlastnosti PA 9T.

Vybrané vlastnosti PA 9T			
Parametry	Podmínky	Hodnoty	Jednotky
Fyzikální			
Hustota	23 °C	1,14	g/cm ³
Absorpce vlhkosti	23 °C	2,3	%
Mechanické			
Modul pružnosti v tahu (E)	1 mm/min	2900	MPa
Pevnost v tahu	50 mm/min	80	MPa
Vrubová houževnatost	23 °C	5	kJ/m ²

12.2 Polyamid 6 - PA 6

Tab. 17. Vybrané vlastnosti PA 6.

Vybrané vlastnosti PA6			
Parametry	Podmínky	Hodnoty	Jednotky
Fyzikální			
Hustota	23 °C	1,13	g/cm ³
Absorpce vlhkosti	23 °C	3	%
Mechanické			
Modul pružnosti v tahu (E)	1 mm/min	2900	MPa
Pevnost v tahu	5 mm/min	55	MPa
Prodloužení	5 mm/min	15	%
Vrubová houževnatost	23 °C	≥3,5	kJ/m ²

12.3 Polybutylentereftalát - PBT

Tab. 18. Vybrané vlastnosti PBT.

Vybrané vlastnosti PBT			
Parametry	Podmínky	Hodnoty	Jednotky
Fyzikální			
Hustota	23 °C	1,30	g/cm ³
Mechanické			
Modul pružnosti v tahu (E)	1 mm/min	2600	MPa
Pevnost v tahu	50 mm/min	60	MPa
Prodloužení	50 mm/min	> 10	%

12.4 Polyeterimid – PEI

Materiál je využíván v automobilovém průmyslu v aplikacích ve světlometech, kde je potřebné dosáhnout reflexních ploch.

Tab. 19. Vybrané vlastnosti PEI.

Vybrané vlastnosti PEI			
Parametry	Podmínky	Hodnoty	Jednotky
Fyzikální			
Hustota	23 °C	1,27	g/cm ³
Absorpce vlhkosti	23 °C	1,25	%
Teplotní odolnost Vicat	-	≥197	°C
Mechanické			
Modul pružnosti v tahu (E)	1 mm/min	3200	MPa
Pevnost v tahu	5 mm/min	105	MPa
Vrubová houževnatost	23 °C	3	kJ/m ²

12.5 Polyetersulfon – PES

Materiál je často využíván v automobilovém průmyslu, na pojistky, zapouzdření, konektory nebo součásti světlometů.

Tab. 20. Vybrané vlastnosti PES.

Vybrané vlastnosti PES			
Parametry	Podmínky	Hodnoty	Jednotky
Fyzikální			
Hustota	23 °C	1,37	g/cm ³
Mechanické			
Modul pružnosti v tahu (E)	23 °C	2700	MPa
Pevnost v tahu	23 °C	90	MPa
Vrubová houževnatost	23 °C	6,5	kJ/m ²

13 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Zkušební tělesa byla vyrobena na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 470C. Vstřikovací parametry byly nastaveny dle doporučení výrobce. Na stroj byla připevněna vstřikovací forma, která byla navržena tak, aby při jednom cyklu vyrobila dvě různá zkušební tělesa. Jeden kus zkušebního tělesa určeného pro zkoušku rázové houževnatosti dle normy ČSN EN ISO 179 a jeden kus zkušebního tělesa určeného pro zkoušku tahem dle normy ČSN EN ISO 527-1. Zkušební tělesa pro zkoušku rázové houževnatosti byla opatřena vrubem, který byl zhotoven mechanickým obráběním.



Obr. 46. Zkušební tělesa.

Materiál v podobě granulí byl vysušen pomocí zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2. Ke zkoušení bylo určeno celkem šest druhů materiálů: polyamid 6, polyamid 9T DURAMID síťovatelný a nesíťovatelný, polybutylentereftalát, polyeterimid a polyetersulfon.

Tab. 21. Parametry vstřikování jednotlivých materiálů.

Parametry vstřikování							
Parametry	Hodnoty						Jednotky
Materiál	PA 9T nesít'.	PA 9T sít'.	PA 6	PBT	PEI	PES	
Doba sušení materiálů	4	4	4	4	4	4	h
Teplota sušení	80	80	80	120	150	150	°C
Teplota formy	140	140	90	90	120	115	°C
Dotlak	100	100	60	60	80	80	MPa
Vstřikovací tlak	200	200	80	80	150	150	MPa
Vstřikovací rychlost	80	80	80	80	50	40	cm ³ /s
Doba chlazení	20	20	20	20	40	40	s
Objem při přepnutí	17,5	17,5	17,5	17,5	24	24	cm ³
Objem dávky	35	35	35	35	48	48	cm ³
Teplota trysky	320	320	290	260	360	360	°C
Teplotní pásmo I	345	345	285	255	350	350	°C
Teplotní pásmo II	340	340	280	250	330	330	°C
Teplotní pásmo III	330	330	275	245	320	320	°C
Teplotní pásmo IV	325	325	270	240	310	310	°C

13.1 Sít'ování zkušebních těles

Zkušební tělesa a vzorky reflektorů z PA 6, PA 9T a PBT byla ozářena elektronovým zářením beta o energii 10 MeV v Německu. Zkušební tělesa byla rozmístěna na kovové palety, aby mohlo dojít k rovnoměrnému ozáření.















Obr. 47. Paleta se zkušebními tělesy a vzorky.

Před každým ozářením byl umístěn k tělesům indikátor, který po ozáření zčervenal. Signalizoval tak, že tělesa byla ozářena. Dávky záření těles byly 66, 99, 132, 165, 198 a 231 kGy. Pro dosažení potřebné dávky byla tělesa vystavena záření tolikrát, než bylo dosaženo požadované hodnoty. Každým průjezdem pod elektronovým urychlovačem, dostala zkušební tělesa a vzorky světlometů dávku záření 33 kGy.

U některých zkušebních těles a vzorků reflektorů došlo po ozáření k barevným změnám. Barva zkušebních těles a vzorků se měnila v závislosti na dávce ozáření.

Tab. 22. Porovnání barevných změn ozářených zkušebních těles a vzorků reflektorů.

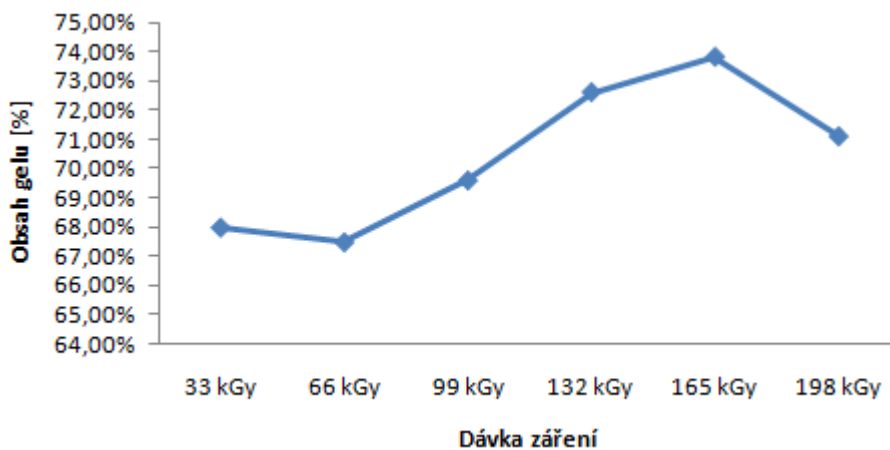
Porovnání zkušebních těles a vzorků reflektorů		
Materiál	Před ozářením	Po ozáření
PA 6		
PBT		
PA 9T	 	 198 kGy  165 kGy  132 kGy  99 kGy  66 kGy 

13.1.1 Stanovení obsahu gelu

Pomocí této zkoušky se stanovuje, do jaké míry materiál zesílí/oval. Zkouška se provádí dle normy ČSN EN ISO 579. Podstatou zkoušky je, že se zkušební těleso ve tvaru hobliny tloušťky $0,2 \pm 0,02$ mm ponoří do daného vroucího rozpouštědla (kyselina mravenčí pro PA 6) po dobu přibližně 7 hodin, poté se 5 hodin suší a nakonec se změří hmotnost nerozpustného podílu s přesností na 1 mg. Stupeň obsahu gelu se vyjádří jako procento nerozpustného materiálu. [1]

Tab. 23. Stanovení obsahu gelu pro PA 6.

Stanovení obsahu gelu	
Dávka záření [kGy]	Obsah gelu [%]
33	68,00
66	67,50
99	69,60
132	72,60
165	73,80
198	71,10



Obr. 48. Stanovení obsahu gelu pro PA 6.

Spojnice mezi naměřenými hodnotami nevyjadřují lineární chování, ale zvýrazňují pouze trend.

13.2 Pokovení zkušebních těles

Zkušební tělesa i zkušební vzorky reflektorů byly pokoveny v napařovacím zařízení, kde vykonávají po dobu celého procesu planetový pohyb ve vakuu. V prvním kroku dochází k přívodu dusíku mezi elektrody do elektrického pole, čímž dojde k ionizaci dusíku. Díly jsou ostřelovány elektrony a kationty dusíku, pomocí čehož se vyčistí povrch vzorků od nečistot a zlepší se tak přilnavost hliníku na povrchu. Čištění pomocí dusíku probíhá $2 \pm 0,5$ min. Ve druhé fázi procesu dochází k odpařování hliníku, který je zavěšen na rozžhavených wolframových spirálách. Páry hliníku se šíří prostorem recipientu a kondenzují na povrchu pokovovaných dílů. Dochází tak k vytvoření tenké vrstvy na tělesech. Tento proces probíhá při tlaku 10^{-2} Pa po dobu přibližně 1 minuty. Vrstva naneseného hliníku by se měla pohybovat od 30 nm do 300 nm. Pokud by vrstva byla menší než 30 nm, mohlo by docházet k špatné reflexi. A pokud by nanesená vrstva byla větší než 300 nm, hliník by na povrchu začal krystalizovat a vzorky by tak dostaly nažloutlý nádech. Po pokovení následuje vytvoření ochranné vrstvy. Na vysokonapěťové elektrody se přivede napětí a do recipientu se začne současně připouštět hexametyldisiloxan. Dochází tak k ionizaci a tvorbě vrstvy silikonu na pokovených tělesech, čímž se zabrání oxidaci povrchu. Proces probíhá 6 ± 2 min.

Tab. 24. Příklady pokovených zkušebních těles a vzorků reflektorů.

Pokovená zkušební tělesa a vzorky reflektorů		
Materiál	Před pokovením	Po pokovení
PA 6		
PA 9T		

14 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

14.1 Vyhodnocování výsledků

Zpracování výsledků měření bylo provedeno pomocí vzorců pro statistické vyhodnocování.

Aritmetický průměr \bar{x} - je definován jako součet všech naměřených údajů vydělený jejich počtem. [5]

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

Rozptyl s^2 - je definován jako průměrná kvadratická odchylka měření od aritmetického průměru, přičemž při průměrování této odchylky dělíme číslem (n-1). [5]

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

Směrodatná odchylka s - je mocnina z rozptylu a vrací míru rozptýlenosti do měřítka původních dat. [5]

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

14.2 Výsledky tahové zkoušky

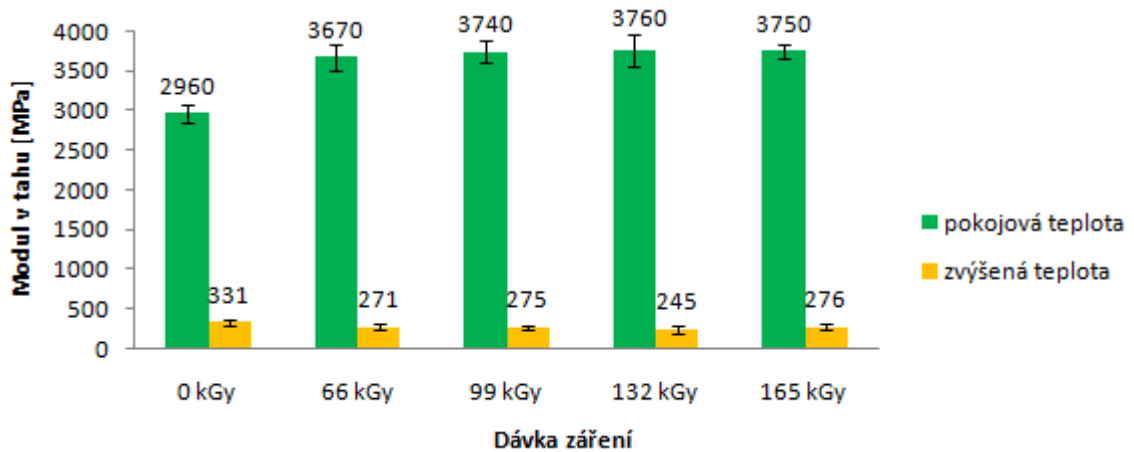
Zkouška tahem byla provedena na zařízení ZWICK ROELL 1456 dle normy ČSN EN ISO 527-1. Pro měření bylo použito celkem šest materiálů (PA 6, PA 9T síťovatelný a nesíťovatelný, PBT, PEI a PES), ozářených dávkami radiačního záření (0 kGy, 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy, 199 kGy a 231 kGy), při dvou různých teplotách (pokojová +23 °C a zvýšená +200°C). Pro každý materiál, každou dávku a obě teploty byla provedena série patnácti měření. Pro stanovení modulu pružnosti v tahu byl použit extenzometr a rychlost měření 1 mm/min. Po změření modulu pružnosti byla rychlost navýšena.

14.2.1 Zkouška tahem pro PA 6

Tab. 25. Zkouška tahem pro PA 6 za pokojové a zvýšené teploty.

PA 6					
Rychlost měření	50 mm/min			150 mm/min	
Počet měření v 1 dávce	15 ks			15 ks	
Zkušební teplota	23 °C			200 °C	
Dávka záření	0 kGy			0 kGy	
Hodnoty	E [MPa]	σ_M [MPa]	ε [%]	E [MPa]	σ_M [MPa]
Aritmetický průměr	2960	66,9	4,9	331	15,5
Směrodatná odchylka	112	4,54	0,4	37,5	2,94
Dávka záření	66 kGy			66 kGy	
Aritmetický průměr	3670	86,4	5,7	271	11,3
Směrodatná odchylka	158	4,56	0,4	32,3	1,34
Dávka záření	99 kGy			99 kGy	
Aritmetický průměr	3740	83,7	5,6	275	11,3
Směrodatná odchylka	133	8,01	0,9	25,2	0,77
Dávka záření	132 kGy			132 kGy	
Aritmetický průměr	3760	84,5	5,6	245	10,2
Směrodatná odchylka	194	6,96	0,7	48,8	2,01
Dávka záření	165 kGy			165 kGy	
Aritmetický průměr	3750	84,1	5,6	276	11,3
Směrodatná odchylka	91,8	7,22	0,7	29,1	1,22

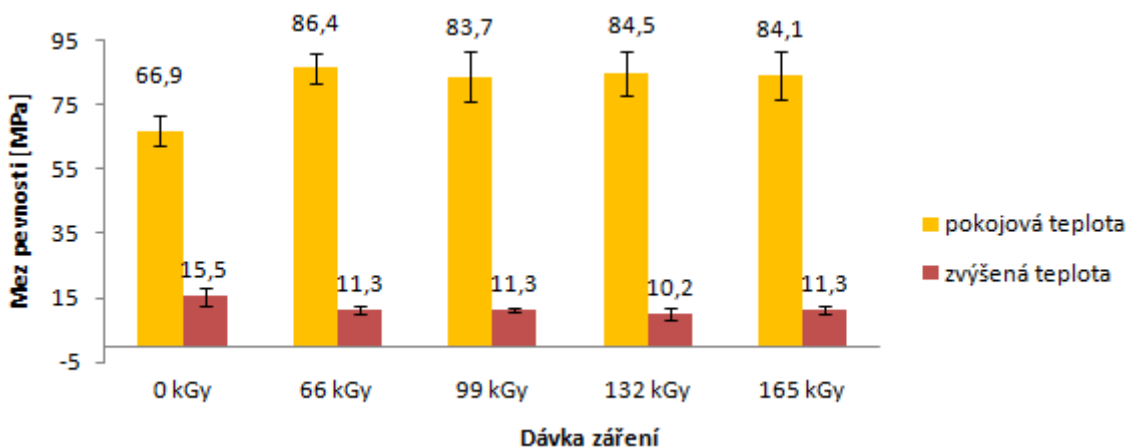
Poměrné prodloužení při zvýšené teplotě není uvedeno z důvodu nepřetržení některých zkušebních těles. K přetržení nemohlo dojít z důvodu rozsahu zkušebního zařízení.



Obr. 49. Modul v tahu pro PA 6 při pokojové a zvýšené teplotě.

Z grafu je patrné, že modul v tahu se při pokojové teplotě u PA 6 od materiálu neozářeného liší o 27 % a poté již se výrazně nemění.

Při porovnání modulu v tahu ozářeného PA 6 s neozářeným při zvýšené teplotě je patrné, že modul vůči neozářenému PA 6 klesl o 35 %. Nejnižšího modulu v tahu dosáhl PA 6 ozářený dávkou 132 kGy, naopak nejvyššího modulu dosahoval PA 6 neozářený.



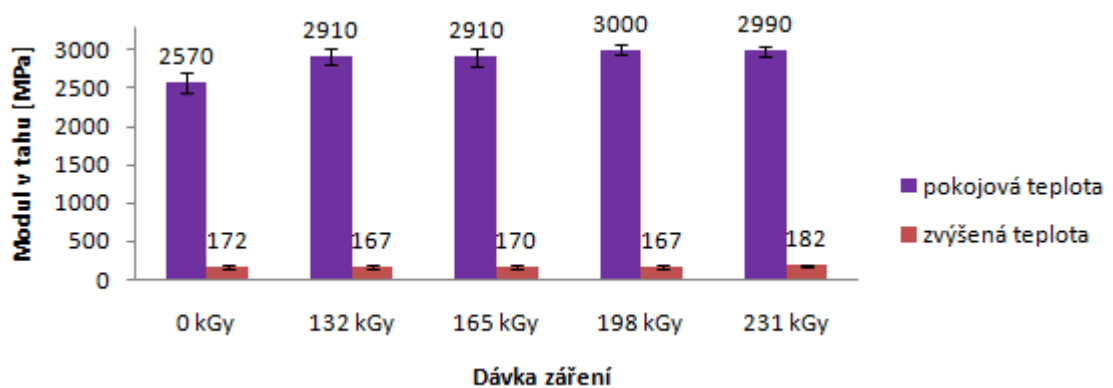
Obr. 50. Mez pevnosti pro PA 6 při pokojové a zvýšené teplotě.

Při porovnání meze pevnosti při pokojové teplotě u PA 6 ozářeného 66 kGy, dochází k nárůstu vůči neozářenému materiálu o 29 %. Mez pevnosti se u ozářených PA 6 významně neliší. Z grafu meze pevnosti pro PA 6 za zvýšené teploty je patrné, že mez pevnosti s rostoucí dávkou klesala. Nejvyšší hodnoty meze pevnosti dosáhl PA 6 neozářený, nejnižší meze pevnosti dosáhl PA 6 ozářený dávkou 132 kGy. Pokles meze pevnosti mezi těmito dávkami je o 34 %.

14.2.2 Zkouška tahem pro PBT

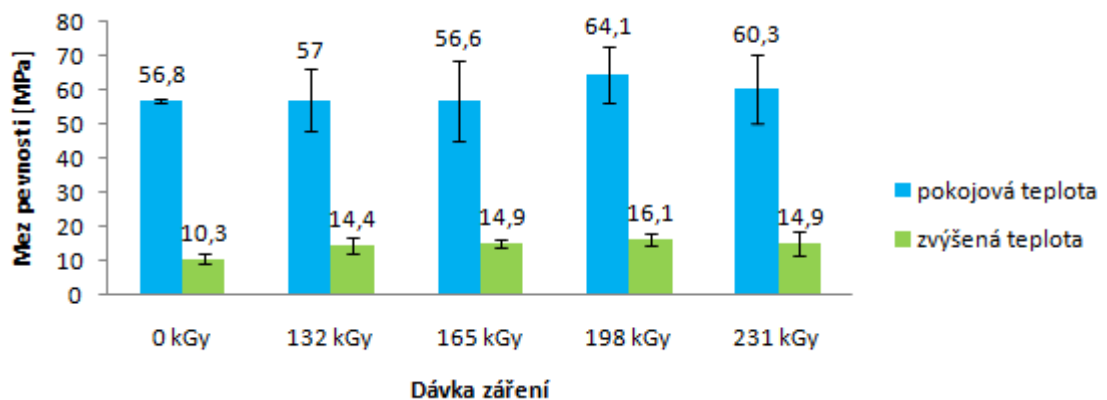
Tab. 26. Zkouška tahem pro PBT za pokojové a zvýšené teploty.

PBT					
Rychlost měření	50 mm/min			150 mm/min	
Počet měření v 1 dávce	15 ks			15 ks	
Zkušební teplota	23 °C			200 °C	
Dávka záření	0 kGy			0 kGy	
Hodnoty	E [MPa]	σ_{250} [MPa]	ϵ [%]	E [MPa]	σ_{250} [MPa]
Aritmetický průměr	2570	56,8	16,8	172	10,3
Směrodatná odchylka	131	0,54	2	26,8	1,49
Dávka záření	132 kGy			132 kGy	
Aritmetický průměr	2910	57	6,7	167	14,4
Směrodatná odchylka	105	9,17	2,8	17,8	2,17
Dávka záření	165 kGy			165 kGy	
Aritmetický průměr	2910	56,6	6,9	170	14,9
Směrodatná odchylka	116	11,8	2,9	21	1,19
Dávka záření	198 kGy			198 kGy	
Aritmetický průměr	3000	64,1	7,5	167	16,1
Směrodatná odchylka	62,2	8,24	1,7	19,8	1,56
Dávka záření	231 kGy			231 kGy	
Aritmetický průměr	2990	60,3	6,6	182	14,9
Směrodatná odchylka	67,3	10	2	15	3,77



Obr. 51. Modul v tahu pro PBT při pokojové a zvýšené teplotě.

Z grafu modulu v tahu pro PBT při pokojové teplotě je patrné, že došlo k nárůstu modulu ozářeného vzhledem k neozářenému. Nárůst modulu byl nejvyšší u dávky ozáření 198 kGy, kde byl o 16 % vyšší, vzhledem k neozářenému. Mezi ozářenými dávkami se modul v tahu významně nelišil. Při porovnání modulu v tahu pro PBT při zvýšené teplotě je patrné, že se modul v tahu ozářeného a neozářeného PBT nijak nelišil.



Obr. 52. Mez pevnosti pro PBT při pokojové a zvýšené teplotě.

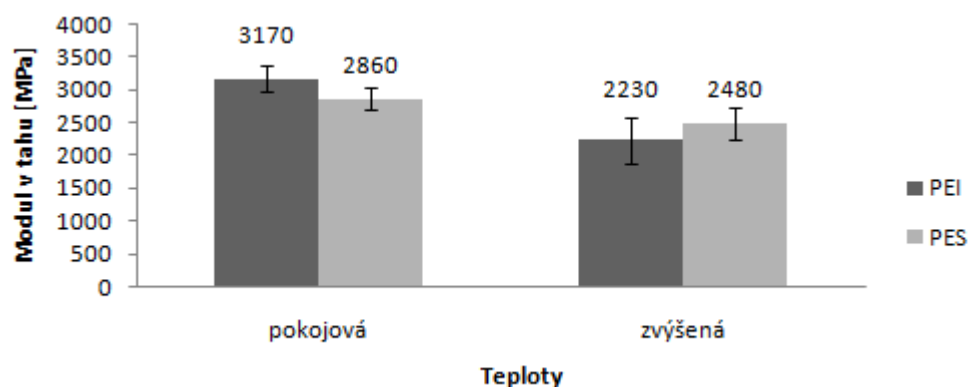
Při srovnání meze pevnosti pro PBT při pokojové teplotě, je zřejmé, že se mez pevnosti nijak významně nelišila. Z grafu meze pevnosti pro PBT za zvýšené teploty je patrné, že došlo k nárůstu meze pevnosti u ozářených zkušebních těles při protažení 250 %. Nejvyššího nárůstu došlo u dávky ozáření 198 kGy. Nárůst u této dávky činil 56 % vzhledem k neozářenému.

14.2.3 Zkouška tahem pro PEI a PES

Za účelem porovnání vybraných materiálů byly změřeny moduly v tahu a meze pevnosti u PEI a PES. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce a grafech.

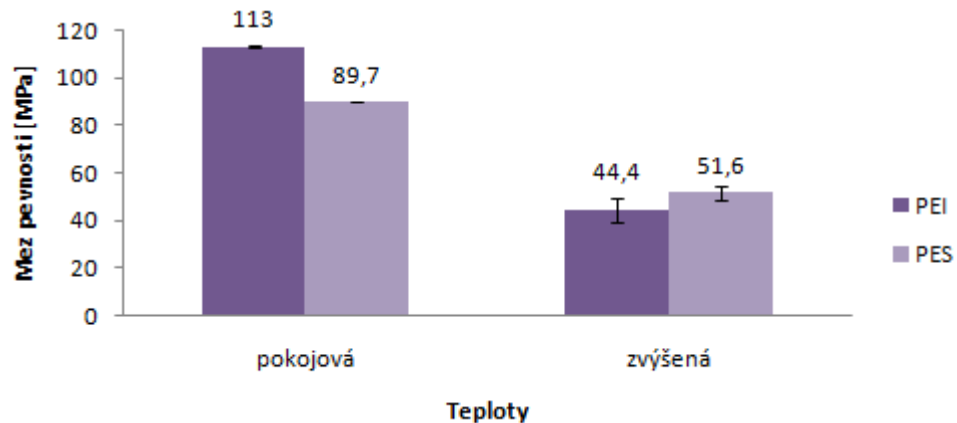
Tab. 27. Zkouška tahem pro PEI a PES za pokojové a zvýšené teploty.

PEI					
Rychlost měření	50 mm/min			50 mm/min	
Počet měření v 1 dávce	15 ks			15 ks	
Zkušební teplota	23 °C			200 °C	
Hodnoty	E [MPa]	σ_M [MPa]	ϵ [%]	E [MPa]	σ_M [MPa]
Aritmetický průměr	3170	113	30	2230	44,4
Směrodatná odchylka	207	0,18	11,4	350	5,31
PES					
Rychlost měření	50 mm/min			50 mm/min	
Počet měření v 1 dávce	15 ks			15 ks	
Zkušební teplota	23 °C			200 °C	
Hodnoty	E [MPa]	σ_M [MPa]	ϵ [%]	E [MPa]	σ_M [MPa]
Aritmetický průměr	2860	89,7	22,1	2480	51,6
Směrodatná odchylka	162	0,09	9,9	243	3,04



Obr. 53. Modul v tahu pro PEI a PES při pokojové a zvýšené teplotě.

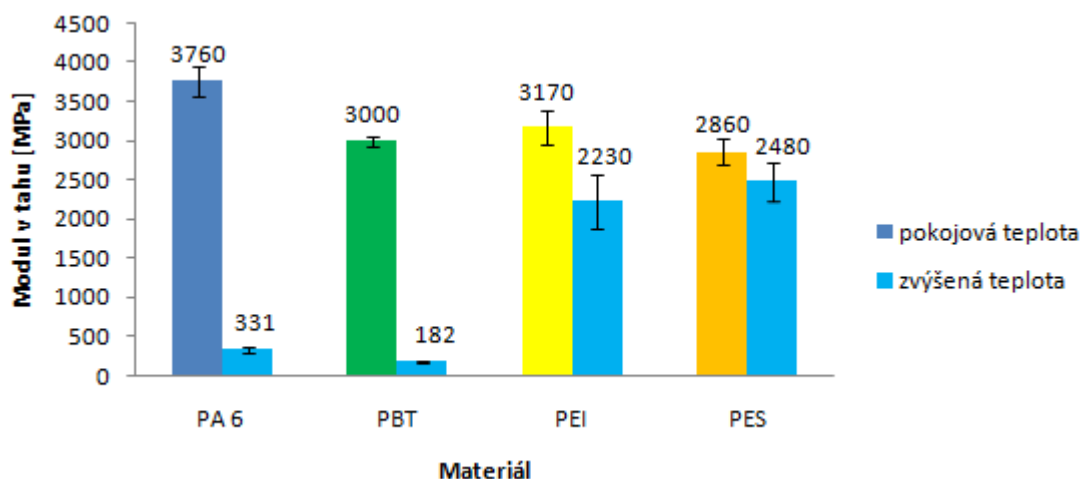
Modul v tahu u PEI se při zvýšené teplotě snížil o 29 % a u PES o 13 %.



Obr. 54. Mez pevnosti pro PEI a PES při pokojové a zvýšené teplotě.

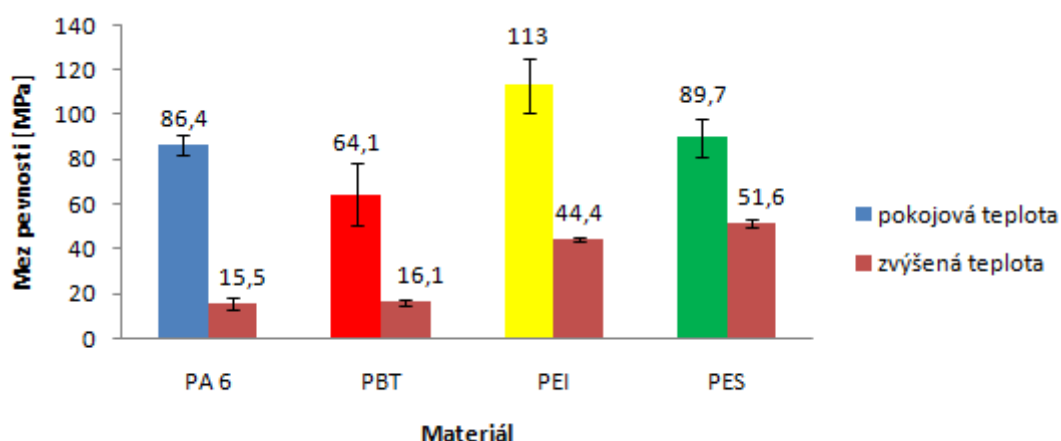
Při srovnání meze pevnosti při pokojové a zvýšené teplotě u PEI, došlo ke snížení meze pevnosti při zvýšené teplotě o 60 % od pokojové. U PES došlo k poklesu meze pevnosti při zvýšené teplotě o 42 %.

14.2.4 Porovnání výsledků tahové zkoušky



Obr. 55. Porovnání modulů v tahu při pokojové a zvýšené teplotě.

Při srovnání nejvyšších dosažených modulů v tahu při pokojové teplotě je zřejmé, že nejvyšší modul v tahu dosahoval PA 6, ozářený dávkou 132 kGy. I druhý testovaný materiál – PBT, ozářený 198 kGy je porovnatelný s původními materiály PEI a PES. Jiná situace ovšem nastává pro měření modulu pružnosti v tahu při zvýšené teplotě. Navržené materiály PA 6 a PBT ani z daleka nedosahují naměřených hodnot modulů v tahu PEI a PES.



Obr. 56. Porovnání meze pevnosti při pokojové a zvýšené teplotě.

Při porovnání nejvyšších dosažených mezí pevnosti zkoumaných materiálů – PA 6, ozářený dávkou 66 kGy a PBT, ozářený 198 kGy s materiály původními – PEI a PES, při pokojové i zvýšené teplotě je patrné, že zkoumané materiály dosahují nižších hodnot než materiály PEI a PES.

14.3 Výsledky zkoušky vrubové houževnatosti

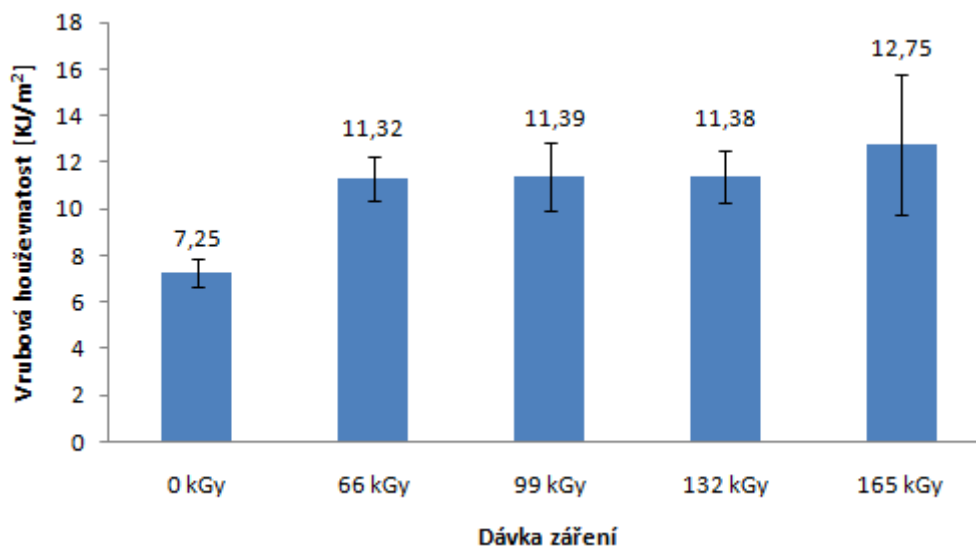
Zkouška vrubové houževnatosti Charpy byla provedena na zařízení RESIL IMPACTOR JUNIOR ZWICK 5113 dle normy ČSN EN ISO 179. Pro měření bylo použito celkem šest materiálů (PA 6, PA 9T síťovatelný a nesíťovatelný, PBT, PEI a PES), ozářených dávkami radiačního záření (0 kGy, 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy, 199 kGy a 231 kGy). Měření probíhalo při pokojové teplotě. Pro každý materiál a každou dávku byla provedena série patnácti měření.

14.3.1 Zkouška vrubové houževnatosti pro PA 6

Tab. 28. Zkouška vrubové houževnatosti pro PA 6.

PA 6				
Zkušební teplota		23 °C		
Dávka záření		0 kGy		
Hodnoty	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Ab [KJ/m ²]
Ar. průměr	514,99	0,83	0,98	7,25
Směr. odchylka	30,61	0,07	0,04	0,58

Dávka záření		66 kGy		
Ar. průměr	647,42	1,11	1,22	11,32
Směr. odchylka	20,89	0,08	0,11	0,96
Dávka záření		99 kGy		
Ar. průměr	659,10	1,12	1,22	11,39
Směr. odchylka	30,39	0,10	0,11	1,47
Dávka záření		132 kGy		
Ar. průměr	656,07	1,22	1,33	11,38
Směr. odchylka	49,75	0,15	0,14	1,11
Dávka záření		165 kGy		
Ar. průměr	681,03	1,28	1,34	12,75
Směr. odchylka	56,57	0,22	0,21	2,99



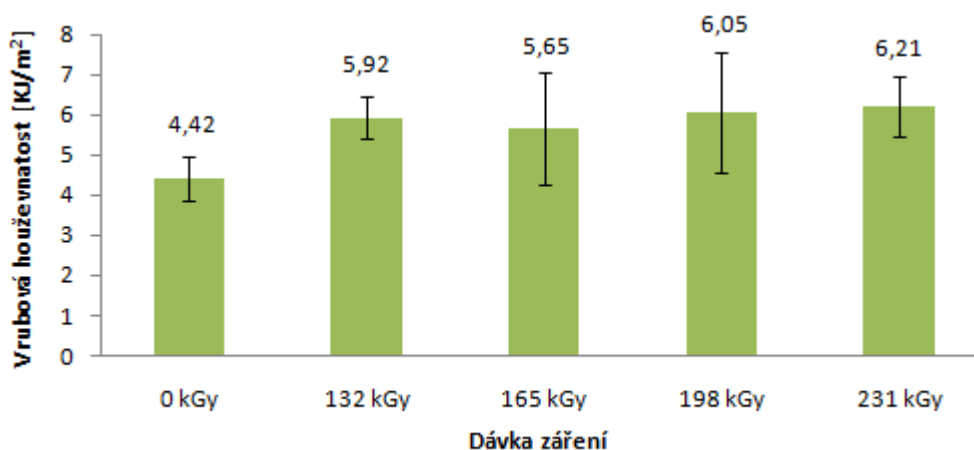
Obr. 57. Zkouška vrubové houževnatosti pro PA6.

Při porovnání vrubové houževnatosti ozářeného polyamidu s neozářeným je patrné, že dochází k nárůstu vrubové houževnatosti po ozáření. Největšího nárůstu bylo dosaženo při dávce 165 kGy. Nárůst je o 75 % oproti neozářenému.

14.3.2 Zkouška vrubové houževnatosti pro PBT

Tab. 29. Zkouška vrubové houževnatosti pro PBT.

PBT				
Zkušební teplota		23 °C		
Dávka záření		0 kGy		
Hodnoty	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Ab [KJ/m ²]
Ar. průměr	484,24	0,65	0,76	4,42
Směr. odchylka	105,12	0,11	0,07	0,55
Dávka záření		132 kGy		
Ar. průměr	440,88	0,76	0,93	5,92
Směr. odchylka	35,51	0,09	0,05	0,53
Dávka záření		165 kGy		
Ar. průměr	463,57	0,74	0,87	5,65
Směr. odchylka	59,12	0,22	0,20	1,39
Dávka záření		198 kGy		
Ar. průměr	491,88	0,81	0,94	6,05
Směr. odchylka	71,24	0,20	0,18	1,51
Dávka záření		231 kGy		
Ar. průměr	457,52	0,84	0,96	6,21
Směr. odchylka	50,81	0,13	0,08	0,76



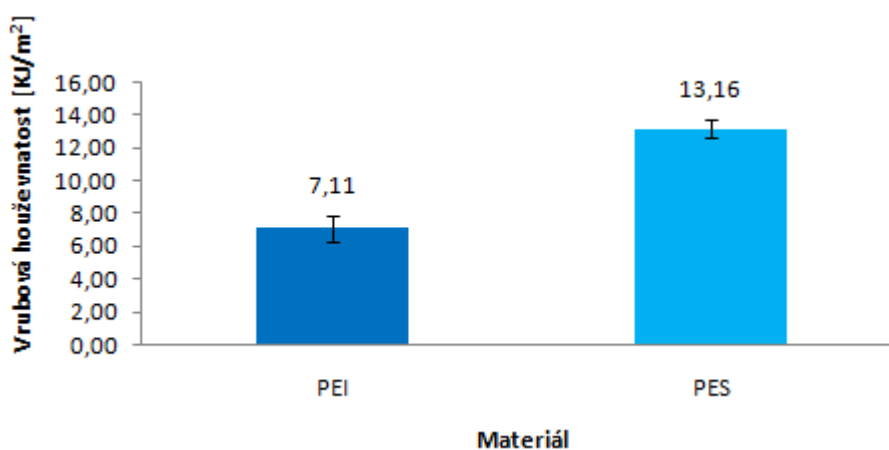
Obr. 58. Zkouška vrubové houževnatosti pro PBT.

Z grafu vrubové houževnatosti ozářeného PBT s neozářeným je patrné, že dochází k nárůstu vrubové houževnatosti po ozáření, ale nedochází k takovému nárůstu vrubové houževnatosti jako u PA 6. Největšího nárůstu bylo dosaženo při dávce 231 kGy. Nárůst je o 40 % oproti neozářenému.

14.3.3 Zkouška vrubové houževnatosti pro PEI a PES

Tab. 30. Zkouška vrubové houževnatosti pro PEI a PES.

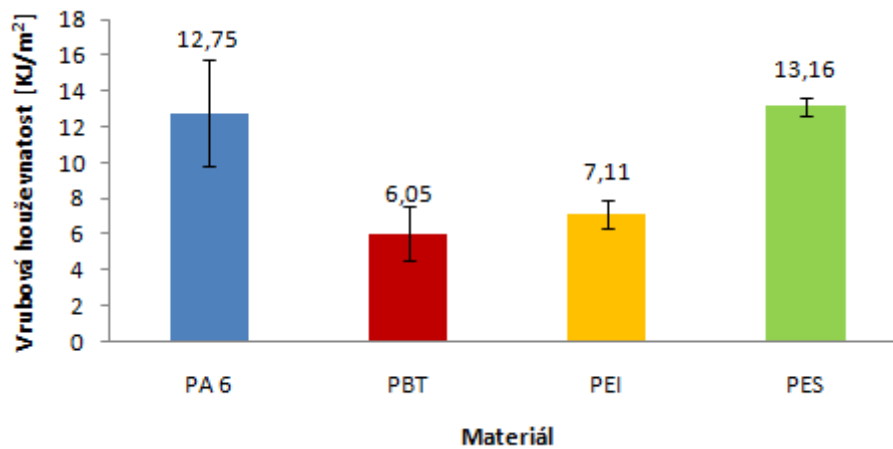
PEI				
Zkušební teplota		23 °C		
Hodnoty	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Ab [KJ/m ²]
Ar. průměr	661,62	0,87	1,06	7,11
Směr. odchylka	101,27	0,24	0,18	0,81
PES				
Zkušební teplota		23 °C		
Hodnoty	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Ab [KJ/m ²]
Ar. průměr	623,55	1,35	1,46	13,16
Směr. odchylka	41,27	0,07	0,08	0,53



Obr. 59. Zkouška vrubové houževnatosti pro PEI a PES.

Při porovnání vrubové houževnatosti PEI a PES je patrné, že vyšší vrubové houževnatosti dosáhl PES. Rozdíl vrubové houževnatosti mezi těmito materiály je 85 %.

14.3.4 Porovnání výsledků zkoušky vrubové houževnatosti

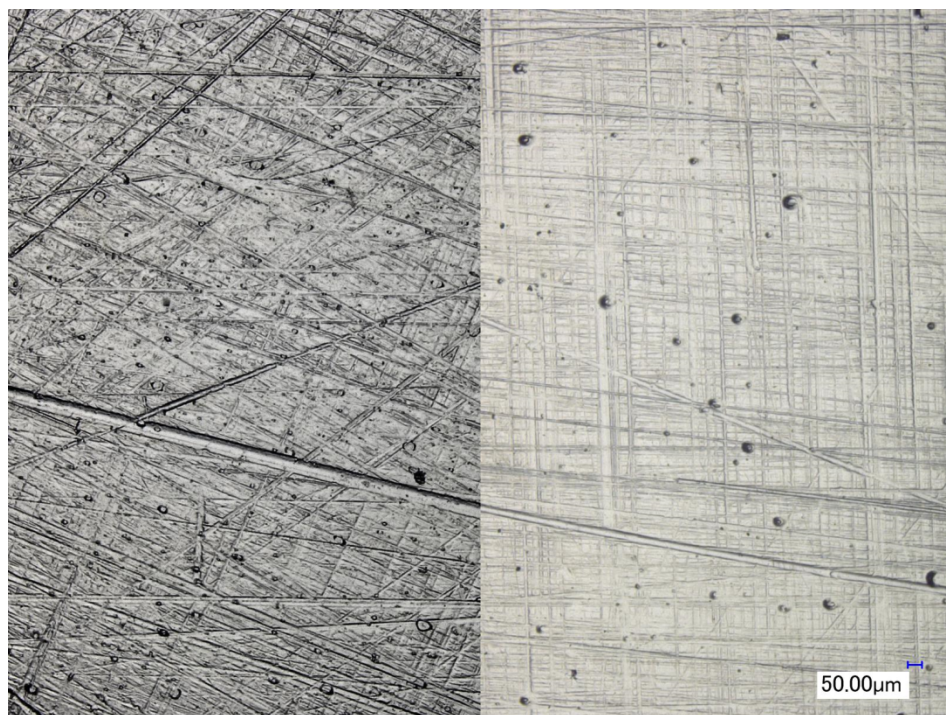


Obr. 60. Porovnání vrubové houževnatosti použitých materiálů.

Při porovnání vrubové houževnatosti všech použitých materiálů je patrné, že nejvyšších hodnot dosáhl PES, s nímž je z hlediska vrubové houževnatosti srovnatelný PA 6, ozářený dávkou 165 kGy. Z grafu je dále zřejmé, že PEI je z hlediska vrubové houževnatosti porovnatelný s PBT, který je ozářen dávkou 198 kGy.

14.4 Zkouška teplotní odolnosti

U pokovených těles i vzorků reflektorů byl vizuálně i mikroskopem zkontrolován povrch a byly pořízeny jeho snímky. Poté byla tělesa vložena do nevyhřáté temperační sušárny, u které je rychlost temperace 5 °C/ min. Po vytemperování na 200 °C, byla tělesa v sušárně ponechána při této teplotě 1,5 hodiny. Po uplynulé době byla vyjmuta. Jakmile tělesa dosáhla ochlazení na pokojovou teplotu, byla opět zkontrolována jak vizuálně, tak pod mikroskopem. Některá zkušební tělesa a vzorky byla vystavena několikahodinové temperaci již před pokovením a po teplotním zatížení byl opět zkontrolován povrch.



Obr. 61. Mikroskopická kontrola povrchu tělíska PBT ozářeného 198 kGy.

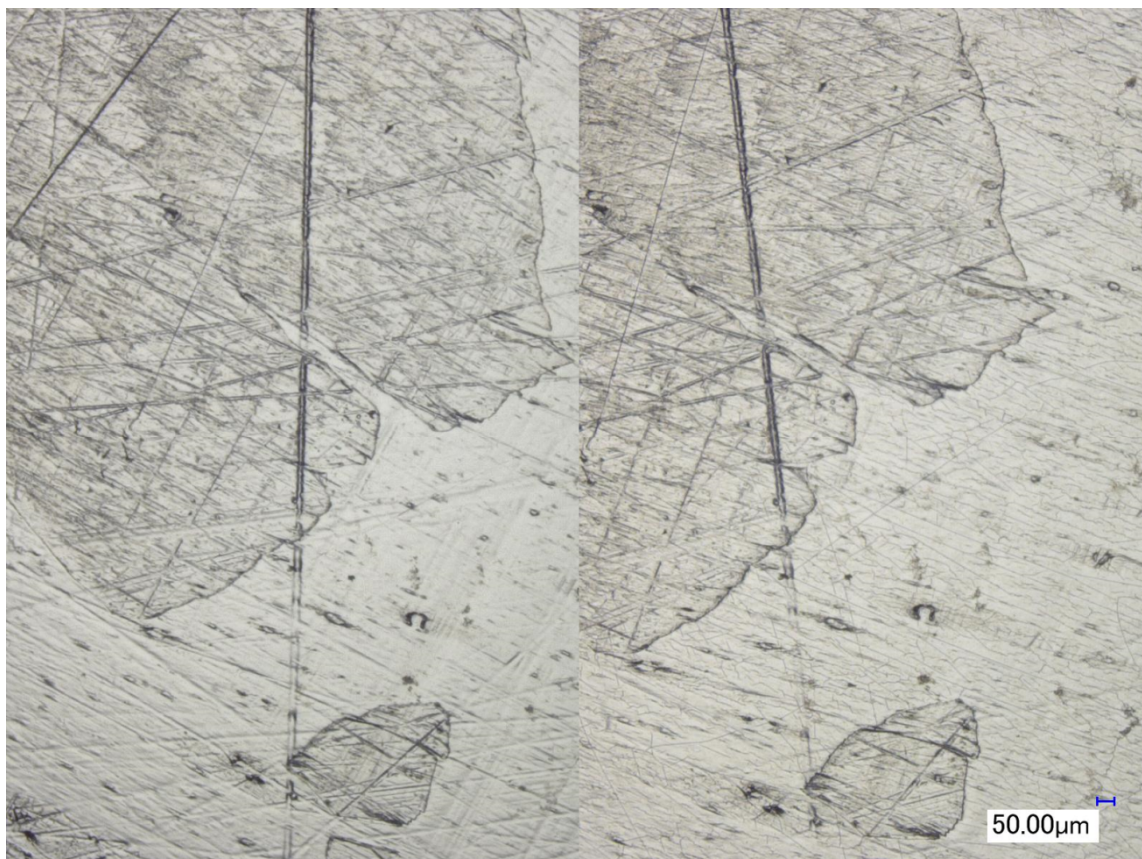
14.4.1 Příklad hodnocení výsledků zkoušky teplotní odolnosti

U zkušebních těles i vzorků reflektorů byl hodnocen povrch po teplotním zatížení nad 200 °C za účelem kontroly, zda nedochází ke vzniku trhlin, duhového zabarvení nebo zvlnění, kde tyto vady na povrchu způsobují nesprávné odražení světla v reflektoru. Povrch zkušebních těles a vzorků reflektorů byl hodnocen jak vizuálně, tak pod mikroskopem.

U zkušebních těles a vzorků reflektorů byl sledován povrch po teplotním zatížení okolo 200 °C z důvodu možné náhrady stávajících materiálů.

Tab. 31. Příklad hodnocení povrchu zkušebních těles a vzorků reflektorů.

PA 6					
S teplotou na 70 °C po dobu 16 h před pokovením					
Teplota [°C]	Dávka [kGy]	Pozorování	Široká část zk. tělesa	Úzká část zk. tělesa	
200	0	Mikroskop	Jemná síť trhlin	Jemná síť trhlin	
		Vizuálně	Duha	Duha	
	66	Mikroskop	Jemná síť trhlin	Jemná síť trhlin	
		Vizuálně	Duha	Duha	
	99	Mikroskop	Jemná síť trhlin	Jemná síť trhlin	
		Vizuálně	Duha	Duha	
	132	Mikroskop	Jemná síť trhlin	Jemná síť trhlin	
		Vizuálně	Duha	Duha	
	165	Mikroskop	Jemná síť trhlin	Jemná síť trhlin	
		Vizuálně	Duha	Duha	
	Teplota [°C]	Dávka [kGy]	Pozorování	Boční stěna reflektoru	Reflexní plocha
	160	99	Mikroskop	Začínající síť trhlin	Začínající trhliny
Vizuálně			OK	Duha	
132		Mikroskop	Bez trhlin	Jemná síť trhlin	
		Vizuálně	OK	Duha	
165		Mikroskop	Začínající trhliny	Začínající síť trhlin	
		Vizuálně	OK	Duha	



Obr. 62. Úzká část zkušebního tělesa PA 6 ozářeného 132 kGy před a po zatížení 200 °C.

Při vizuálním hodnocení bylo na povrchu zkušebního tělesa duhové zabarvení. Mikroskopická kontrola PA 6 ozářeného dávkou 132 kGy, vystaveného teplotě 200 °C, ukázala jemnou síť trhlin – na obrázku vpravo.

14.4.2 Porovnání výsledků zkoušky teplotní odolnosti

Tab. 32. Porovnání výsledků teplotní odolnosti použitých materiálů po zatížení 200 °C.

Materiál	Teplota [°C]	Dávka [kGy]	Pozorování vizuálně	Pozorování mikroskopem
PA 6	200	0, 66, 99, 132, 165	Duhové zabarvení	Jemná síť trhlin
PBT	200	0, 132, 165, 198, 231	Duhové zabarvení	Jemná síť trhlin
PEI	200	-	OK	Bez trhlin
PES	200	-	OK	Bez trhlin

U vybraných materiálů použitých na zkoušku teplotní odolnosti bylo důležité, aby vydržely teplotní zátěž nad 200 °C. Z výsledků je zřejmé, že teplotní zátěž vydržely pouze stávající materiály – PEI a PES. U PA 6 i PBT docházelo po teplotním zatížení k duhovému zabarvení na povrchu a tvorbě jemných trhlin, které způsobují nesprávné odrazení světla ve světlometu. Proto náhrada stávajících materiálů materiály novými v této aplikaci není možná.

14.5 Výsledky stanovení teploty měknutí podle Vicata

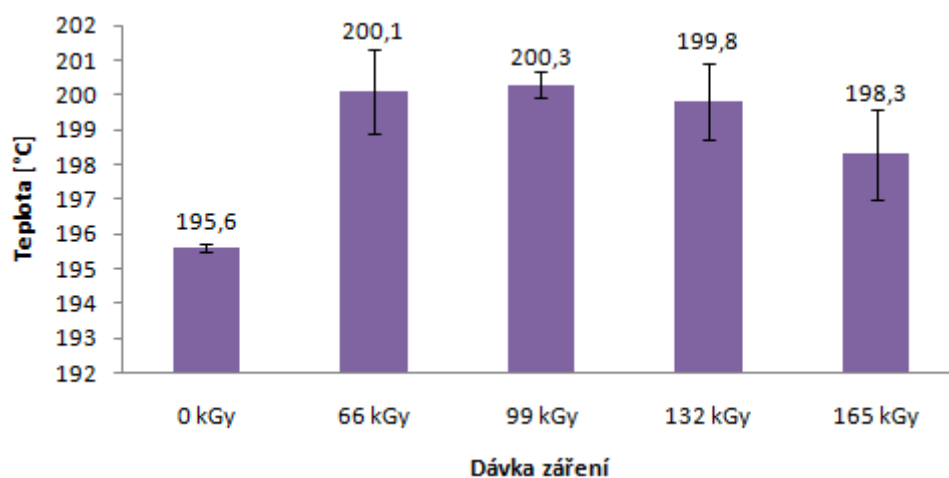
Zkouška stanovení teploty měknutí dle Vicata byla provedena na zkušebním zařízení HDT3 Vicat dle normy ČSN EN ISO 306. Pro měření bylo použito 3 ks zkušebních těles o rozměrech 10 x 10 x 4 mm. Měření bylo prováděno na ozářených i neozářených materiálech, kterými byly PA 6, PA 9T síťovatelný a nesíťovatelný, PBT, PEI a PES.

Tab. 33. Stanovení teploty měknutí podle Vicata a teploty průhybu při zatížení.

Stanovení teploty měknutí podle Vicata [°C]					
Počet zkušebních těles			3 ks		
Rozměry zkušebních těles			10 x 10 x 4 mm		
Metoda ohřevu zkušebních těles			Temp. lázeň se silikonovým olejem		
Zkušební norma			ČSN EN ISO 306		
PA 6					
Dávka záření	0 kGy	66 kGy	99 kGy	132 kGy	165 kGy
Ar. průměr	195,6	200,1	200,3	199,8	198,3
Směr. odchylka	0,1	1,2	0,4	1,1	1,3
Stanovení teploty průhybu při zatížení [°C]					
Počet zkušebních těles			3 ks		
Rozměry zkušebních těles			80 x 10 x 4 mm		
Metoda ohřevu zkušebních těles			Temp. lázeň se silikonovým olejem		
Použité napětí v ohybu			1,8 MPa		
Zkušební norma			ČSN EN ISO 75-1, 75-2		
Ar. průměr	51,7	66,9	70,6	73,2	69,3
Směr. odchylka	1,0	0,9	0,4	1,0	1,6

PBT					
Stanovení teploty měknutí podle Vicata [°C]					
Dávka záření	0 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy	231 kGy
Ar. průměr	177,5	188,0	190,3	188,5	188,5
Směr. odchylka	0,3	0,3	1,2	0,3	0,7
Stanovení teploty průhybu při zatížení [°C]					
Ar. průměr	49,5	61,6	63,8	62,1	63,4
Směr. odchylka	0,6	0,9	1,3	1,1	0,7
PEI					
	Teplota měknutí podle Vicata		Teplota průhybu při zatížení		
Ar. průměr	211,1		188,6		
Směr. odchylka	0,3		1,1		
PES					
	Teplota měknutí podle Vicata		Teplota průhybu při zatížení		
Ar. průměr	218,8		196,7		
Směr. odchylka	0,3		1,0		

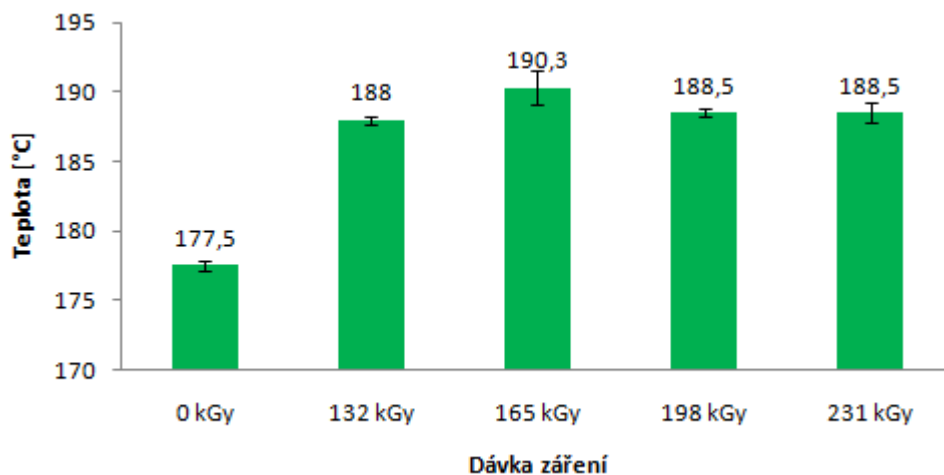
14.5.1 Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PA 6



Obr. 63. Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PA 6.

Z grafu stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PA 6 je zřejmé, že nejvyšší odolnosti vůči zvýšené teplotě dosahoval materiál ozářený 99 kGy. Nárůst oproti neozářenému materiálu je o 2 %.

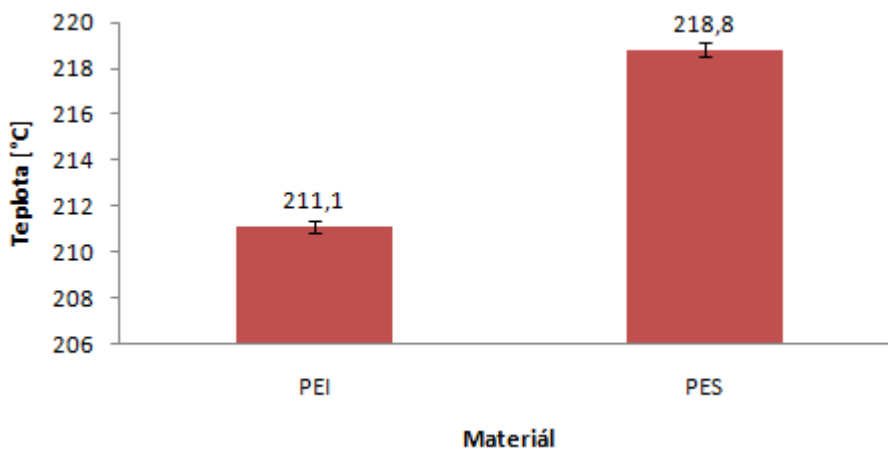
14.5.2 Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PBT



Obr. 64. Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PBT.

Z porovnání teplot měknutí podle Vicata pro PBT je patrné, že nejvyšší odolnosti dosahoval materiál ozářený 165 kGy, což je 7 % nárůst oproti neozářenému PBT.

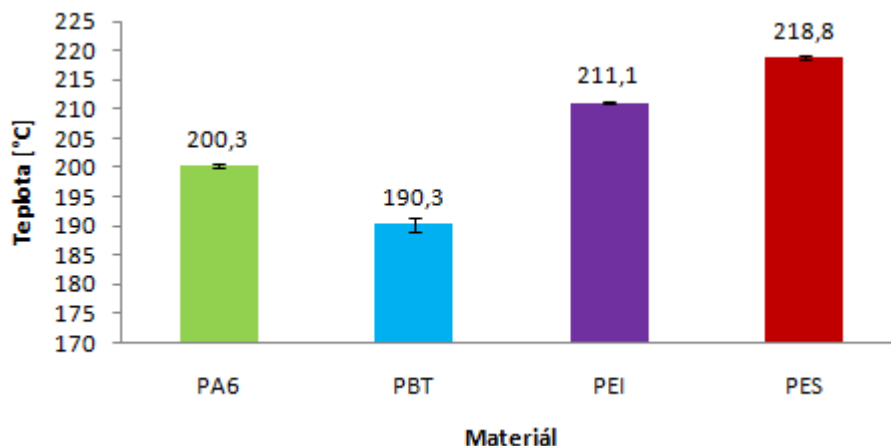
14.5.3 Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PEI a PES



Obr. 65. Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PEI a PES.

Z grafu stanovení teploty podle Vicata pro PEI a PES je patrné, že materiál PES je teplotně odolnější než materiál PEI.

14.5.4 Porovnání výsledků stanovení teploty měknutí podle Vicata



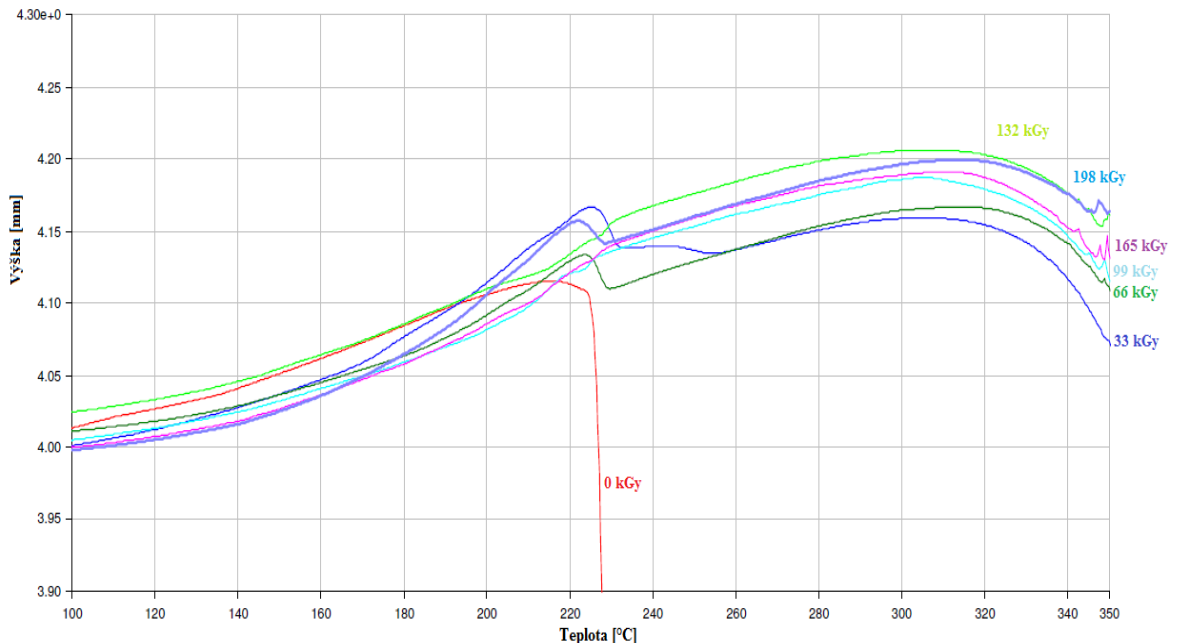
Obr. 66. Porovnání výsledků stanovení teploty měknutí podle Vicata.

Z porovnání nejvyšších dosažených teplot při stanovení teploty měknutí podle Vicata u materiálů PA 6 ozářeného 99 kGy, PBT ozářeného 165 kGy, PEI a PES je zřejmé, že nejvyšších teplot dosáhl materiál PES.

14.6 Výsledky měření TMA

Vzorky s rozměry 4x4 mm a výškou 4 mm pro měření TMA byly připraveny z normalizovaných těles pro zkoušku vrubové houževnatosti. Termomechanická analýza byla provedena podle normy ISO 11359 na zkušebním zařízení DMA 7e PERKIN ELMER. Nejdříve došlo k zahřátí přístroje na teplotu 50 °C a na této teplotě byl ponechán 1 minutu. Poté byl spuštěn proces ohřevu na 400 °C s rychlostí temperace 20 °C/min. Pro měření byla použita penetrační metoda se statickou zatěžující silou. Tímto měřením byl zjištěn vliv radiačního záření na hloubku průniku měřicí sondy PA6 a PBT při zahřívání nad teplotu tání.

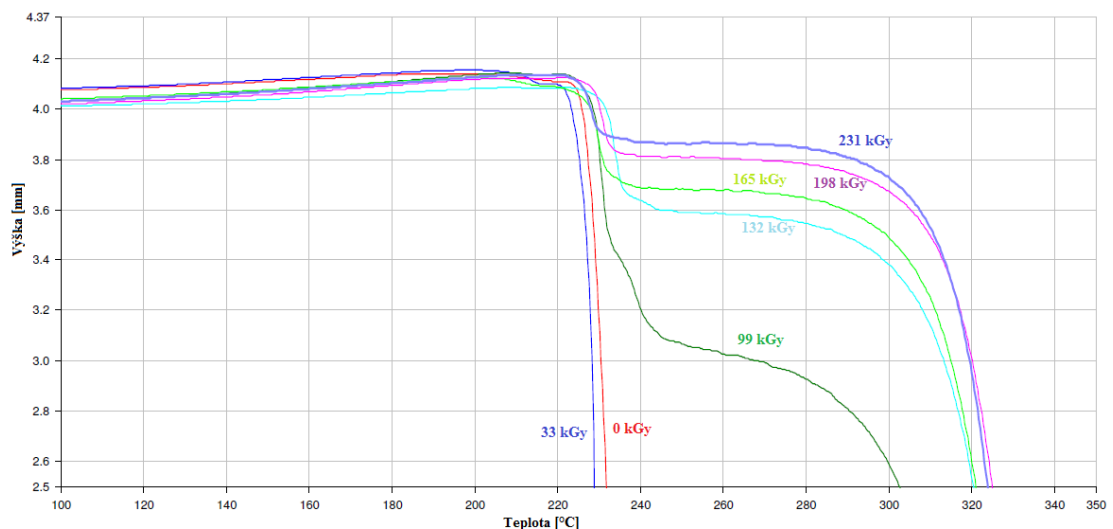
14.6.1 Měření termomechanické analýzy pro PA 6



Obr. 67. Měření TMA pro PA 6.

Z grafu je zřejmé, že neozářený PA 6 je teplotně stabilní až do teploty 225 °C. Nad touto teplotou dochází ke ztrátě tepelné stability – roztavení materiálu. U doporučené dávky ozáření pro PA 6 - 99 kGy je patrné, že je teplotně stabilní až do 350 °C.

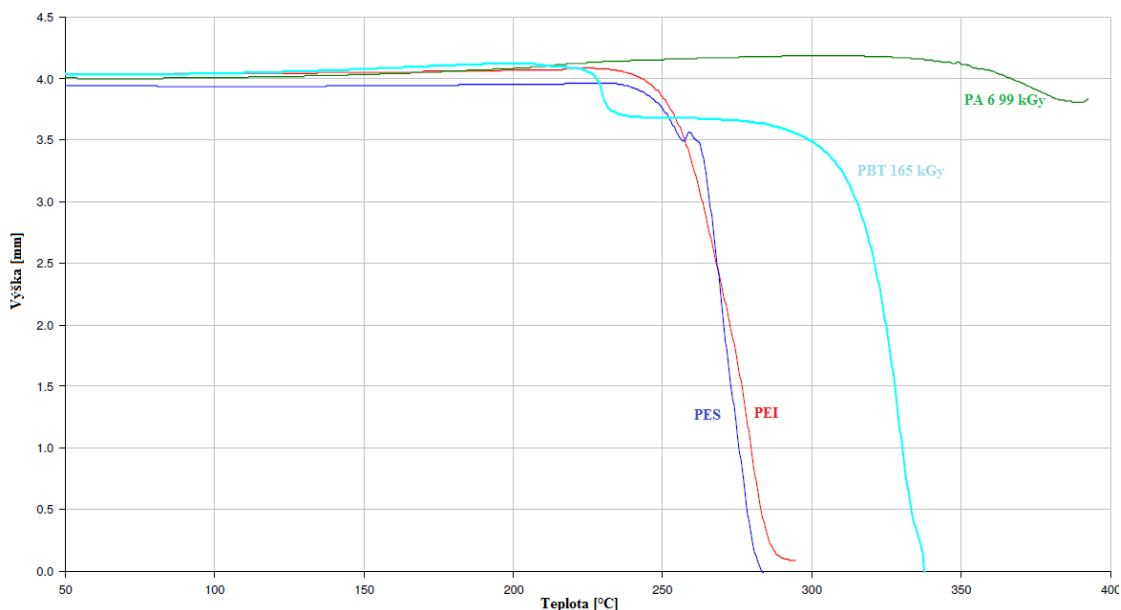
14.6.2 Měření termomechanické analýzy pro PBT



Obr. 68. Měření TMA pro PBT.

Z grafu měření TMA pro PBT je patrné, že neozářený materiál je teplotně stabilní až do teploty 230 °C. Z grafu je dále patrné, že při zvyšující se dávce záření narůstá odolnost materiálu proti vniknutí měřící sondy.

14.6.3 Porovnání výsledků termomechanické analýzy



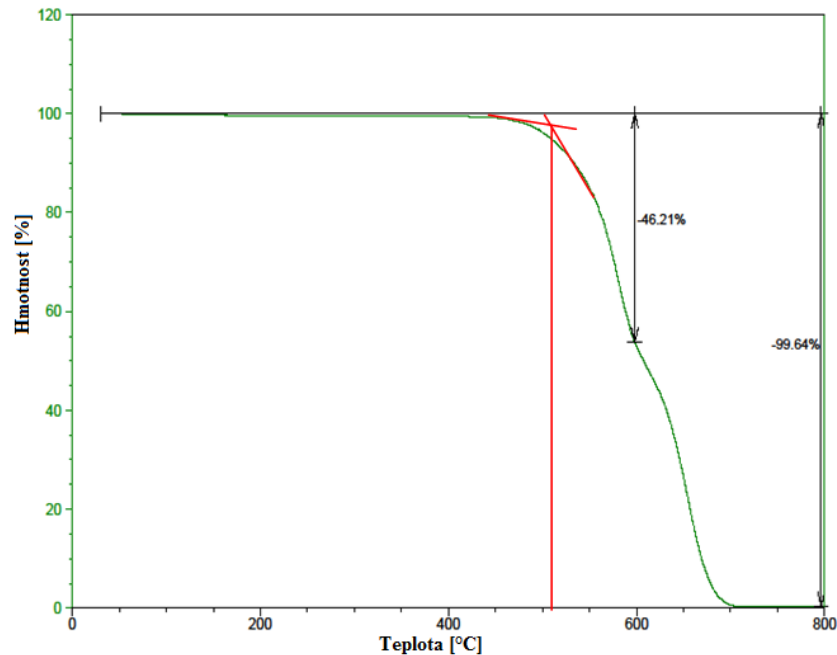
Obr. 69. Porovnání TMA použitých materiálů.

V grafu je porovnání stávajících materiálů – PEI a PES s materiály novými – PA 6 a PBT, ozářenými doporučenou dávkou radiačního záření. Z grafu je zřejmé, že nejvíce teplotně stabilní je materiál PA 6, ozářený doporučenou dávkou 99 kGy, a to až do teploty 350 °C.

14.7 Výsledky měření TGA

Pro měření TGA byly nachystány zkušební vzorky nařezáním na drobné kousky. Navážka zkušebních vzorků pro TGA byla 16 – 18 mg. Termogravimetrická analýza byla provedena podle normy ISO 11358 na měřicím zařízení TGA Q500. Tímto měřením byl zjištěn vliv radiačního záření na hmotnostní úbytek PA6 a PBT.

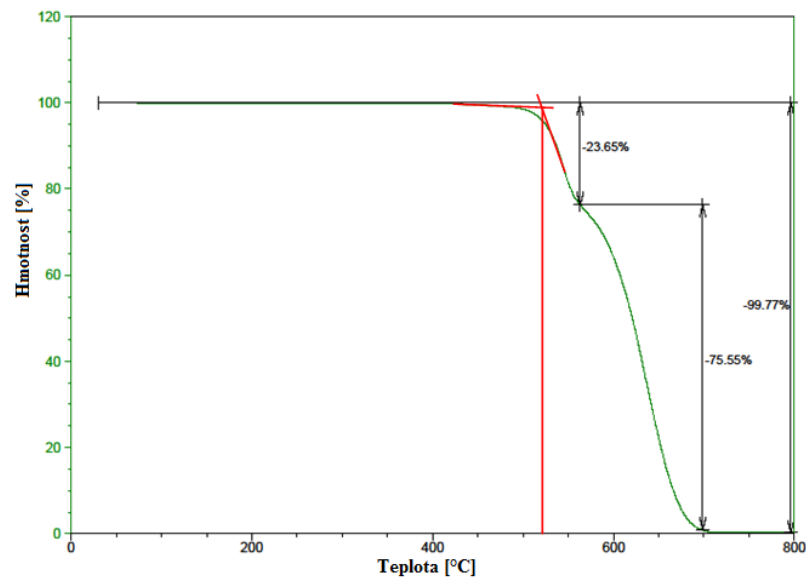
14.7.1 Měření termogravimetrické analýzy pro PES



Obr. 70. Měření TGA pro PES.

Pro termogravimetrickou analýzu polymerního materiálu PES byla zvolena teplota od 40 °C až do 800 °C. Z grafu je patrné, že PES je poměrně stabilní až do teploty 450 °C, kde začíná docházet ke strmějšímu úbytku hmotnosti. Startovací bod degradace se pohybuje kolem teploty 510 °C. Z grafu je také patrné, že vzorek degraduje ve dvou fázích, kde se křivka dále mění při teplotě 600 °C. Pyrolýzní zbytek tvoří asi 0,5 %.

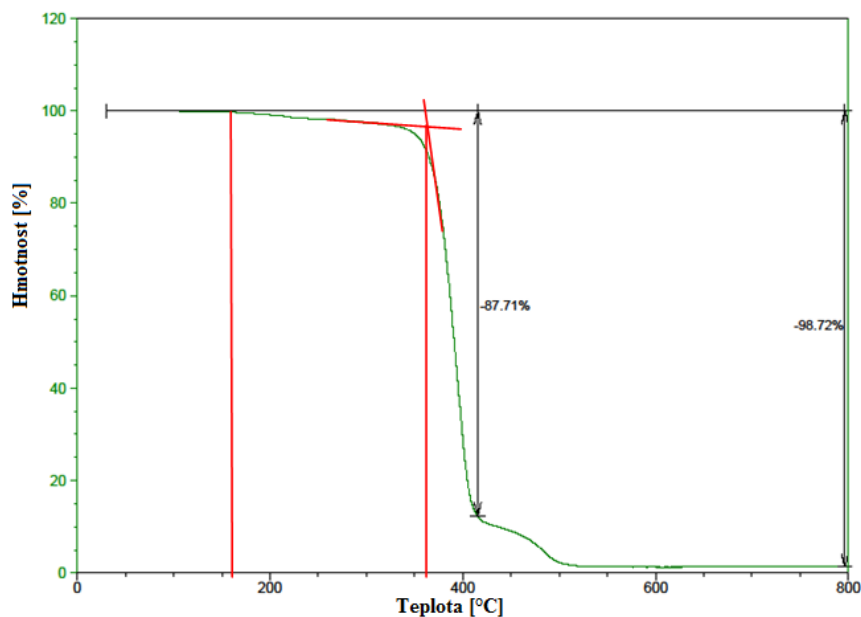
14.7.2 Měření termogravimetrické analýzy pro PEI



Obr. 71. Měření TGA pro PEI.

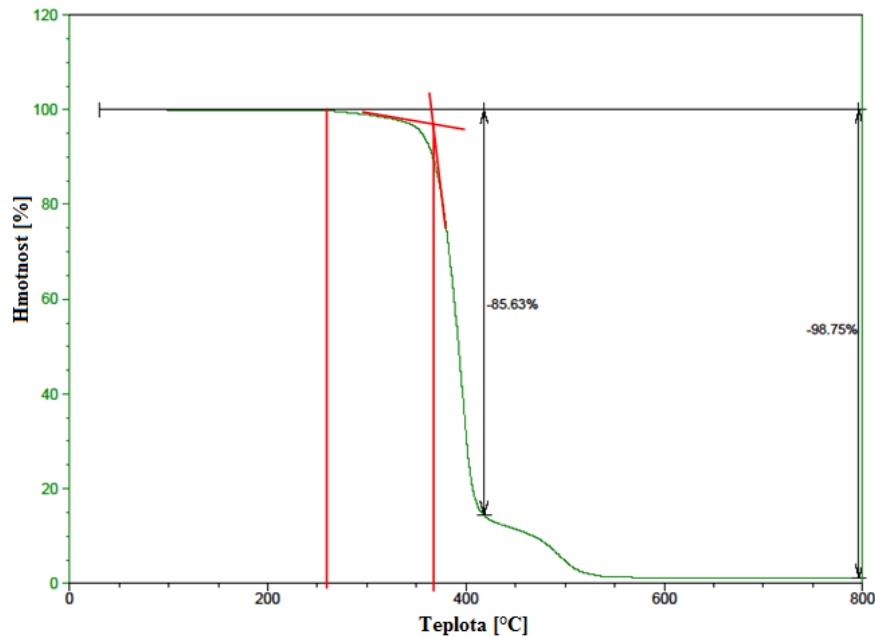
Pro termogravimetrickou analýzu polymerního materiálu PEI byla zvolena teplota od 40 °C až do 800 °C. Průběh odpařování PEI je obdobný jako v případě PES, výraznější úbytek hmotnosti lze pozorovat až do teploty 460 °C. Startovací bod degradace je při 520 °C a stejně jako PES i PEI degraduje ve dvou fázích, kdy druhá fáze nastupuje přibližně při teplotě 550 °C. Pyrolýzní zbytek je zde minimální, tvoří asi 0,3 %.

14.7.3 Měření termogravimetrické analýzy pro PBT



Obr. 72. Měření TGA pro neozářené PBT.

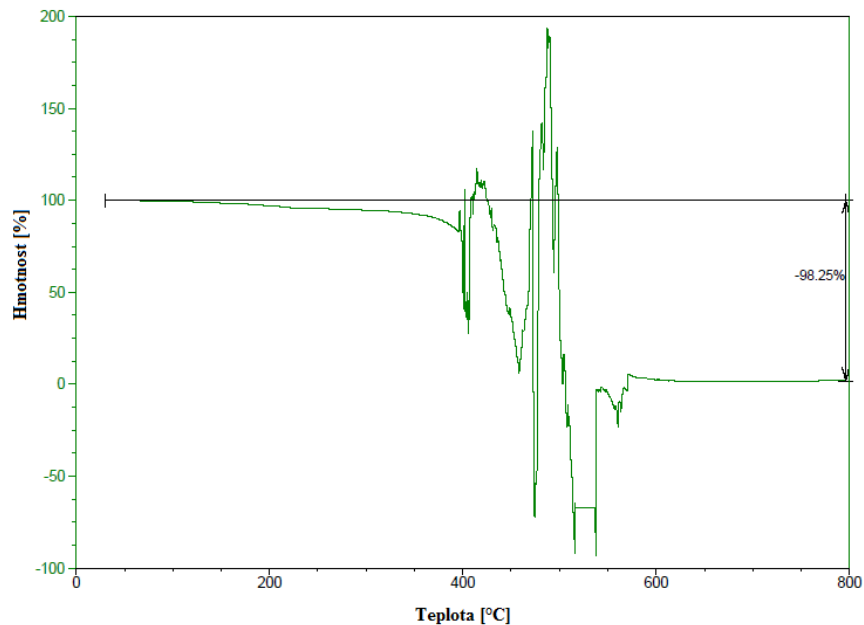
Termogravimetrická analýza byla u PBT provedena jak na neozářených zkušebních těleších, tak na ozářených dávkou 165 kGy. Z grafu pro neozářené PBT je patrné, že materiál je stabilní do 160 °C, od této teploty nastává pomalá vaporizace. Startovací bod degradace je asi 360 °C. Pyrolýzní zbytek tvoří asi 1,3 %.



Obr. 73. Měření TGA pro PBT ozářené 165 kGy.

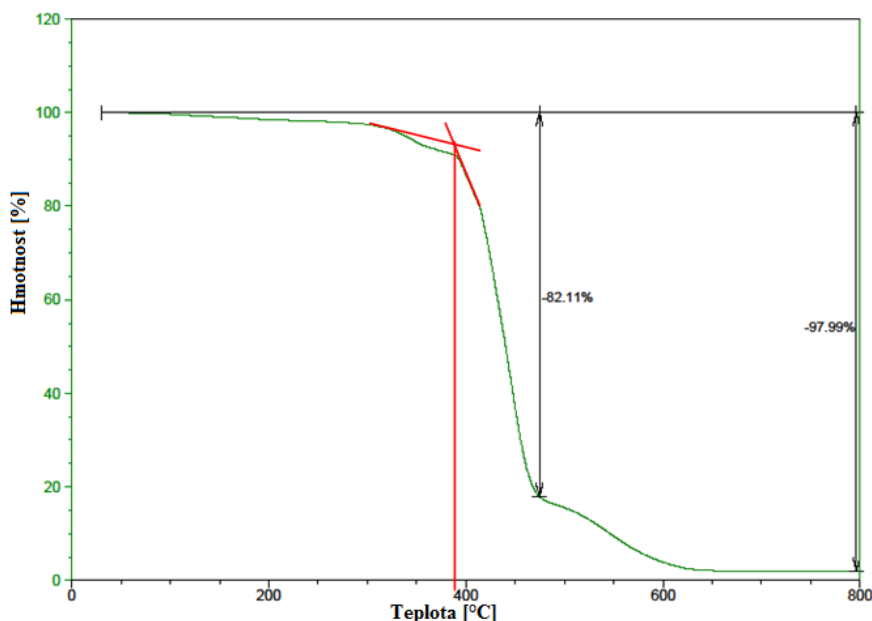
Jiná situace je v případě PBT ozářeného dávkou 165 kGy. Materiál je stabilní až do teploty 260 °C, kdy se začíná projevovat ve vyšší míře vypařování. Je zřejmé, že radiační síťování má vliv na počáteční fázi vypařování PBT a posouvá tuto hranici zhruba o 100 °C výše než v případě neozařeného materiálu. Z grafu je dále patrné, že vzrostl i bod počátku degradace, který je v případě ozářeného PBT 370 °C.

14.7.4 Měření termogravimetrické analýzy pro PA 6



Obr. 74. Měření TGA pro neozařený PA 6.

Z termogravimetrické křivky neozářeného PA 6 je patrné, že materiál nad teplotu 400 °C vykazuje oxidační reakce. Vzorek pro své chování byl několikrát analyzován, ale výsledky byly totožné. Z toho se dá usuzovat, že neozářený vzorek PA 6 nad teplotu degradace vykazuje známky hoření, nebo případně i tzv. „vnitřních výbuchů“ (z anglického blast inside).



Obr. 75. Měření TGA pro PA 6 ozářený 99 kGy.

Ozářený PA 6 vykazuje stejnou závislost úbytku hmotnosti na teplotě jako neozářený materiál. K úbytku hmotnosti dochází zhruba od 100 °C. Bod počátku degradace je u ozářeného PA 6 390 °C. Křivka dále nevykazuje stejný průběh jako neozářený materiál. Důvod se dá tedy přisoudit změně struktury materiálu po radiačním síťování. Pyrolýzní zbytek tvoří asi 2 %.

DISKUZE NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

Náplní této diplomové práce bylo porovnat vlastnosti stávajících materiálů použitých ve světlotech s materiály modifikovanými radiačním sít'ováním. Materiály stávající - PEI a PES byly porovnávány s materiály ozářenými radiačním zářením, a to s PA 6, PBT a PA 9T sít'ovatelným a nesít'ovatelným.

Na připravených zkušebních tělesech a vzorcích reflektorů byla provedena zkouška tahem, zkouška vrubové houževnatosti, termomechanická analýza, termogravimetrická analýza, stanovení teploty měknutí podle Vicata a zkouška teplotní odolnosti materiálů po pokovení.

Všechny získané hodnoty byly zpracovány a vyhodnoceny. Výsledky pro PA 9T nejsou v diplomové práci z technického důvodu a po domluvě s firmou HELLA AUTOTECHNIK, s.r.o. uvedeny. Proto byly se stávajícími materiály porovnávány pouze PA 6 ozářený dávkami 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy a 198 kGy a PBT ozářený dávkami 132 kGy, 165 kGy, 198 kGy a 231 kGy.

Zkouška tahem

Při porovnávání meze pevnosti a modulu pružnosti v tahu za pokojové teploty bylo zjištěno, že navržené materiály PA 6 a PBT jsou z hlediska výsledků porovnatelné se stávajícími materiály PEI a PES. Naopak při zvýšené teplotě bylo zjištěno, že hodnoty meze pevnosti a modulu pružnosti v tahu u PA 6 a PBT ani zdaleka nedosahují hodnot původních materiálů.

Zkouška vrubové houževnatosti

Z výsledků zkoušky vrubové houževnatosti je zřejmé, že ozářený PA 6 dávkou 165 kGy je porovnatelný s materiálem PES. Obdobně materiál PBT ozářený dávkou 198 kGy je porovnatelný s materiálem PEI. Z hlediska vrubové houževnatosti navržené materiály PA 6 a PBT vyhovují.

Stanovení teploty měknutí podle Vicata

Z hlediska porovnání výsledků teploty měknutí podle Vicata vykazují materiály PA 6 a PBT nižší hodnoty než materiály PEI a PES.

Měření TMA

Provedená termomechanická analýza ukázala, že materiály PEI a PES jsou stabilní do své teploty tání. Oproti tomu ozářený PA 6 a PBT jsou termomechanicky stabilní i nad teplotou tání základního neozářeného polymeru. Výsledky ukazují, že ozářené materiály jsou schopny nést zatížení i nad teplotou tání stávajících materiálů PEI a PES.

Měření TGA

Při měření TGA bylo ze získaných výsledků a porovnání zjištěno, že zkoumané materiály PA 6 a PBT vykazují horší výsledky než materiály stávající. Samotný výsledek sám o sobě ještě neznamena, že by nutně ve výrobku muselo docházet k nežádoucí kondenzaci nízkomolekulárních látek na viditelných místech. Tato skutečnost je dána dalšími faktory, jako jsou způsob odvětrání výrobku a proudění vzduchu ve výrobku.

Zkouška teplotní odolnosti

Při zkoušce teplotní odolnosti po pokovení bylo zjištěno, že zkoumané materiály – PA 6 a PBT nejsou odolné nad teplotu 200 °C. Při tomto teplotním zatížení se na jejich povrchu tvořilo duhové zabarvení a jemná síť trhlin. Tyto vady způsobují nesprávné odražení světla ve světlometu, a proto není možná náhrada materiálů stávajících – PEI a PES těmito materiály.

ZÁVĚR PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části byly popsány všechny použité stroje a zařízení a také použité materiály pro provedení experimentu. Dále praktická část spočívala v přípravě zkušebních těles, včetně jejich ozáření elektronovým beta zářením a provedením příslušných materiálových zkoušek, jako byla zkouška tahem, zkouška vrubové houževnatosti, termomechanická analýza, termogravimetrická analýza, stanovení teploty měknutí podle Vicata a zkouška tepelné odolnosti materiálů po pokovení. Všechna získaná data byla po provedení materiálových zkoušek zpracována a vyhodnocena.

Ze všech naměřených zkoušek vyplývá, že navrhované materiály PA 6 a PBT nemohou být použity jako náhrada stávajících materiálů PEI a PES, jelikož nevyhověly u většiny provedených zkoušek.

Jelikož navržené materiály nebyly nahrazovány za původní, nebyla v praktické části diplomové práce počítána finanční analýza případných úspor.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Knižní zdroje:

- [1] ČSN EN 579. *Plastové potrubní systémy - trubky ze síťovaného polyethylénu (PE-X) - stanovení stupně zesíťování extrakční metodou*. Zlín: Institut pro testování a certifikaci a.s., Únor 1996.
- [2] ČSN EN ISO 179. *Plasty - stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy*. Litvínov: Zpracovatel Chemopetrol a.s., Červen 1998.
- [3] ČSN EN ISO 527-1. *Plasty - stanovení tahových vlastností: část 1 - základní principy*. Zlín: Institut pro testování a certifikaci, a.s., Srpen 1997.
- [4] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-708-0617-6.
- [5] HENDL, Jan. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. 4., rozšířené vyd. Praha: Portál, 2012, 734 s. ISBN 978-802-6202-004.
- [6] HLUCHÝ, Miroslav, Rudolf PAŇÁK a Oldřich MODRÁČEK. *Strojírenská technologie 1*. 3., přeprac. vyd. Praha: Scientia, 2002, 173 s. ISBN 80-718-3265-0.
- [7] KRUPKA, František a Zdeněk HORÁK. *Fyzika: příručka pro vysoké školy technického směru*. Vyd. 2., přeprac. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, Alfa, 1976, 423 s. ISBN 04-017-81.
- [8] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří KUBÁT. *Automobily V: elektrotechnika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: Avid, 2009, 259 s. ISBN 978-80-87143-22-3.
- [9] MAYER-KUCKUK, Theo. *Fyzika atomového jádra*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979, 343 s.
- [10] MEISSNER, Bohumil a Václav ZILVAR. *Fyzika polymerů: struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987, 306 s.
- [11] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7.

- [12] PÖTSCH, Gerd a Walter MICHAELI. *Injection Molding: An Introduction*. 2nd ed. München: Hanser, 2008. ISBN 15-699-0419-7.
- [13] *Radiační síťování plastů*. BGS Beta-Gamma-Service GmbH & Co. KG, 40 s.
- [14] RAMACHANDRAN, V. S., et al. *Handbook of thermal analysis of construction materials*. Norwich, New York, U.S.A. : Noyes Publications/William Andrew Pub., c2003, xxii, 680 p. ISBN 08-155-1487-5.
- [15] SLAVÍČEK, Emil a Jiří WAGNER. *Fyzika pro chemiky*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1971, 699 s.
- [16] SOVA, M., KREBS, J. a kolektiv. *Termoplasty v praxi*. Praha: ONTL, 2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [17] SPEYER, Robert F. *Thermal analysis of materials*. New York: Marcel Dekker, c1994, x, 285 p. Materials engineering (Marcel Dekker, Inc.), 5. ISBN 08-247-8963-6.

Internetové zdroje:

- [18] BĚHÁLEK, Luboš. TEPELNÉ VLASTNOSTI PLASTŮ: tepelná odolnost plastů vůči vysokým teplotám. *Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci: Oddělení tváření kovů a plastů* [online]. 5.1.2011 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/projekty/frvs2660/>
- [19] CAS No. 63428-84-2 (Polyamide). *Guidechem Chemical Network - China Chemical Manufacturers, suppliers, B2B Marketplace* [online]. ©2010-2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.guidechem.com/product/search_Polyamide-p2.html
- [20] CEAST® Resil Impactor Junior Charpy, Izod & Tensile Impact Tester. *CCSi Testing Instruments, Equipment, Physical Testing, Calibration & Related Services* [online]. © February 2006 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.ccsi-inc.com/p-impact-ceast-resil-impactor-6963.htm>
- [21] DANĚK, Michal. „Radiační síťování - recept na zlepšení tribologických vlastností vstříkovaných polymerních dílů“. *TRIBOLÓGIA* [online]. © 2008 - 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32010/radiacni-sitovani-recept-na-zlepseni-tribologickykh-vlastnosti-vstrikovanych-polymernich-dilu.html>

- [22] Detekce ionizujícího záření. *Radioaktivita.cz* [online]. [2013] [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.radioaktivita.cz/>
- [23] Druhy radioaktivního záření - song: rubrika: atomová a jaderná. *FYZMATIK: pokud fakta neodpovídají teorii, změňte fakta.* [online]. 31. leden 2009 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/76446-druhy-radioaktivniho-zareni-song.html>
- [24] DVOŘÁK, Zdeněk. *Zpracovatelské procesy gumárenské: pro konstrukční směry* [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2009 [cit. 2012-02-09]. Dostupné z: http://web.ft.utb.cz/cs/docs/T8ZPG_zpracovatelske_procesy_gumarenske.pdf
- [25] Engineering plastic material: polyamide 9T PA9T. *Prochase Enterprise Co., Ltd.: High Quality of Coating Film and Compounding Plastics - Taiwan Prochase Supply Recycle Plastic Raw Material* [online]. [2013] [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.prochase.com/9t-pa9t.htm>
- [26] Führend in der Werkstoffprüfung: willkommen bei Zwick Roell. *Willkommen bei Zwick Roell: Führend in der Werkstoffprüfung* [online]. 2013-03-06 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.zwick.de/de.html>
- [27] HELLA AUTOTECHNIK, s.r.o. - Vývoj světlometů. *Hella Autotechnik spol. s.r.o.* [online]. © 2001 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.hella.com/produktion/HellaPortal/WebSite/Internet_cz/Internet_HA_T_cz/Technologie/Development/Development.jsp
- [28] HELLA FF50 přídatný dálkový světlomet. *Kanaco: Zabezpečení vozidel a další doplňky pro vozidla* [online]. © 2009 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.kanaco.cz/pridavna-svetla/5543-hella-ff50-pridavny-dalkovy-svetlomet.html>
- [29] Herzlich willkommen bei BGS Beta-Gamma-Service!. *BGS - Beta Gamma Service* [online]. [2013] [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.bgs.eu>
- [30] CHAPIRO, A. *Radiation Chemistry of Polymeric Systems*. New York: Interscience, Publishers. John Wiley & Sons, 1962, 734 p.
- [31] CHLUD. Zkouška rázová ohybová vrubová. *STROJARI* [online]. [2013] [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://www.strojari.wz.cz/kom/razova_zkouska.htm

- [32] KETTENBAUM, Franz a Norbert SIMON. Anwendung von strahlenvernetzten thermoplastischen Elastomeren (TPE). *PLAST verarbeiter: + Elastomer-verarbeitung*. 11/1993, č. 11, s. 6.
- [33] KOTEK, Jiří a Miroslav RAAB. Quo vaditis, polymery?: materiály z velkých molekul. *Časopis Vesmír* [online]. 13. 03. 2009, č. 3, s. 5 [cit. 2013-04-30]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <http://www.vesmir.cz/clanek/quo-vaditis-polymery>
- [34] KÝR, Kamil. Hella: Vylepšená technika LED pro zadní a především přední světla automobilů. *Auto.cz* [online]. 27.3. 2007 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/hella-vylepsena-technika-led-pro-zadni-a-predevsim-predni-svetla-automobilu-11735>
- [35] LENFELD, Petr. Zpracování plastů: plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. *Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci* [online]. [2004] [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [36] Lighting the Way for Early Automobiles. *The Henry Ford®: America's greatest history destination* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.thehenryford.org/exhibits/pic/2009/september/pic.asp?pic=3>
- [37] MARTINOVÁ, L. *Chemické reakce polymerů* [online]. 2007 [cit. 2010-12-23]. Dostupný z WWW: <http://www.ft.vslib.cz/>
- [38] Mlhové světlomety číré - BMW E46 M3, M-Technik. *Heureka.cz: Porovnání cen a srovnání produktů z internetových obchodů* [online]. Copyright 2000-2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://mlhova-svetla.heureka.cz/mlhove-svetlomety-cire-bmw-e46-m3-m-technik/>
- [39] NAVRÁTIL, Vladislav. Sekce fyziky: fyzikální základy vědy o materiálu. *Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity* [online]. 2006-02-02 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet3.htm>
- [40] Notchvis Machines. *Üdvözljük az Inteszt Kft weboldalán!* [online]. 2006, november 15. [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://www.inteszt.hu/termekek03_c1.html

- [41] Osvětlení. *Xtreme engineering: na Katedře elektroniky VŠB-TU Ostrava* [online]. © 2011 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~vac174/vyuka/AE/Studijni_opory/
- [42] PEI - Polyetherimide. *Designer Data* [online]. [2013] [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.designerdata.nl/index.php?material=48&subject=2&pag=8&subpag=1&lang=en>
- [43] PerkinElmer DMA 7e Dynamic Mechanical Analyzer and TAC 7/DX Thermal Analysis Controller. *Artisan Technology Group Surplus Equipment: surplus and used optical, scientific, and electronic test and measurement equipment at reasonable prices* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: http://www.artisanng.com/PLC/63356-10/PerkinElmer_DMA_7e_Dynamic_Mechanical_Analyzer_and_TAC_7_DX_Thermal_Analysis_Controller
- [44] PLASTICS ACADEMY: program praktycznych warsztatów przetwórstwa tworzyw. *Konferencje Plastics Review* [online]. © 2010 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://konferencje.eplastics.pl/academy/informacje/charakterystyka-maszyny/>
- [45] Polyamid-6: charakteristické vlastnosti. *KAJMAN K velkoobchod pro čistící hadry a technické plasty: čistící hadry, polyamid - PA 6, teflon - PTFE, ertacetal - POM, derlin, textit, silon, flexon, ertalon, plasty, novodur - PVC, polycarbonát - PC, plexi, polyethylen - PE, polypropylen - PP, kartit, sklotextit, utěrky, bavlna, netkané textilie, papírové utěrky, průmyslové utěrky, pucvol, hadry, hadr, bavlna* [online]. © 2006 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://kajmank.cz/polyamid-pa-6-vlastnosti/>
- [46] Polyamidová vlákna – Wikipedie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 10. 3. 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyamidov%C3%A1_vl%C3%A1kna
- [47] Polyethersulfon – Wikipedie. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 2. April 2013 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://de.wikipedia.org/wiki/Polyethersulfon>

- [48] Příslušenství: efektivita ve všech detailech. *ARBURG* [online]. 1/5/2012 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.arburg.com/cs/cz/reseni/injection-moulding-machines/accessories/>
- [49] QUEISSER, Joachim, Michael GEPRÄGS a Rüdiger BLUHM. Trends in Automotive Headlamps. *BASF Plastics Portal* [online]. © 2002, vol. 92, no. 3, s. 3 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU/gmini-search?language=en&q=headlamps>
- [50] RAAB, Miroslav. Polymery a lidé. In: *Otevřená věda* [online]. 20.7.2005 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://archiv.otevrena-veda.cz/index.php?p=kurzy>
- [51] SAJDL, Jan. Světlo met automobilu. *Www.autolexicon.net: ...náskok díky znalostem* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/svetlomet-automobilu/>
- [52] STRÁNSKÝ, Petr. Chemie - Gymnázium: organická chemie. *Gymnázium, Střední odborná škola a Vyšší odborná škola Ledec nad Sázavou* [online]. 1.1.2007 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.gvi.cz/index.php?o=1000279>
- [53] Strojírenské materiály: Plasty. *ATeam: Katedra materiálů a strojírenské metalurgie* [online]. © 2005 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/download_sma.html
- [54] Sušárny s ventilací: FED 53. *BioTech a.s.* [online]. 2010 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.biotech.cz/sk/eshop/detail/18-fed-53>
- [55] Svítidla směrová ATEGO P. *Autosvětla: Autodíly Avia, Iveco, Man, Daf, autodoplňky.* [online]. © 2008 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://www.eshop-avima.cz/www-avima-cz/eshop/4-1-Autosvetla/0/5/633-Svitilna-smerova-ATEGO-P>
- [56] TA Instruments Q500 Thermogravimetric Analyzer (TGA). *Clemson University, South Carolina* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.clemson.edu/ces/lemt/TA%20Q500%20TGA.htm>
- [57] Termoplasty: lineární polyestery (PET,PBT) a polyétery (PPO). *Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci: oddělení tváření kovů a plastů* [online].

- 4.2.2013 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/p14/
- [58] The chemical structure of PBT gives it a number of versatile properties. - Image - Chemicals Technology. *Chemicals Technology: News, views and contacts from the global Chemicals industry* [online]. © 2012 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z:
<http://www.chemicals-technology.com/projects/ossospetrochemical/ossospetrochemical2.html>
- [59] Thermal tests: HDT 3 VICAT. *Universal (HK) Technology Co. Ltd: imported testing and analytical equipment* [online]. 27.6.2006 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z:
<http://www.universalthkco.com.cn/en/products/detail.asp?p=1549>
- [60] VEJRAŽKOVÁ, Ivana. Plasty pro stavebnictví a architekturu 11: polyamidy. *Happy Materials* [online]. 2009, č. 11, s. 6 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z:
<http://www.happymaterials.com/clanek/Odborne-clanky>
- [61] VHX-2000 series: digital microscope. *KEYENCE America* [online]. (C) 2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z:
<http://www.keyence.com/products/microscope/digital-microscope/vhx-2000/index.jsp>
- [62] VLIV RADIČNÍHO SÍŤOVÁNÍ NA VLASTNOSTI. *Technický týdeník* [online]. 1.1.2006 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z:
http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/vliv-radiacniho-sitovani-na-vlastnosti_12165.html
- [63] VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH. *VTD Vakuumtechnik Dresden GmbH: entwicklung und Produktion von kunden- und technologieorientierten Hochvakuum-Beschichtungsanlagen.* [online]. [© 2011] [cit. 2013-05-01]. Dostupné z:
<http://www.vtd.de/>
- [64] Vývoj a konstrukce světlometů: ŠKODA AUTO a.s. *Technická univerzita v Liberci: Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií* [online]. 28.3.2007 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z:
http://www.fm.tul.cz/files/projektme/Vyvoj_a_konstrukce_svetlometu_28.3.07.pdf

- [65] Základní fyzikální poznatky o ionizujícím a neionizujícím záření, jeho detekce a dozimetrie: Charakteristika ionizujícího záření. *Radiobiologie* [online]. [2011] [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/13/131.html>

Interní materiály:

- [66] MAŇAS, David. *Nauka o materiálu I.: studijní materiály*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2008.
- [67] HŘIBOVÁ, Martina. *Speciální metrologie: studijní materiály*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2012.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

C	Uhlík
H	Vodík
O	Kyslík
N	Dusík
PS	Polystyren
PMMA	Polymethylmetakrylát
PC	Polykarbonát
PE	Polyetylen
PP	Polypropylen
PA	Polyamid
PVC	Polyvinylchlorid
PU	Polyuretan
PTFE	Polytetrafluorethylen
PI	Polyimid
PEI	Polyeterimid
PES	Polyetersulfon
PBT	Polybutylentereftalát
€	Euro
T_m	Teplota tání [°C]
T_f	Teplota tečení [°C]
V	Volt
eV	Elektronvolt
Gy	Gray
J	Joule

rad	Radián
DSC	Diferenční skenovací kalorimetrie
TMA	Termomechanická analýza
μg	Mikrogram
g	Gram
kg	Kilogram
mm	Milimetr
cm	Centimetr
m	Metr
nm	Nanometr
l	Litr
s	Sekunda
min	Minuta
h	Hodina
max	Maximum
L	Délka [mm]
D	Průměr [mm]
W	Watt
$^{\circ}\text{C}$	Stupeň Celsiův
E	Modul v tahu [MPa]
σ_M	Mez pevnosti [MPa]
ε	Poměrné prodloužení [%]
S _m	Deformace v bodě špičky [mm]
S _b	Deformace v bodě lomu [mm]
A _b	Vrubová houževnatost (s energií v bodě lomu) [KJ/m ²]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Acetylenový světloomet. [36]</i>	14
<i>Obr. 2. Schéma parabolového reflektoru s optikou na skle. [51]</i>	15
<i>Obr. 3. Schéma projektorového reflektoru. [51]</i>	15
<i>Obr. 4. Schéma parabolového free-forms reflektoru. [51]</i>	16
<i>Obr. 5. Světloomet. [27]</i>	16
<i>Obr. 6. Dálkový světloomet přídatný. [28]</i>	17
<i>Obr. 7. Mlhový světloomet čirý. [38]</i>	17
<i>Obr. 8. Směrová svítlna. [55]</i>	17
<i>Obr. 9. Konstrukce světloometu. [64]</i>	18
<i>Obr. 10. Těleso světloometu.</i>	19
<i>Obr. 11. Krycí sklo světloometu.</i>	19
<i>Obr. 12. Rozdělení polymerů.[53]</i>	20
<i>Obr. 13. Lineární makromolekuly.</i>	21
<i>Obr. 14. Rozvětvené makromolekuly.</i>	21
<i>Obr. 15. Řídce zesíťované molekuly.</i>	22
<i>Obr. 16. Hustě zesíťované makromolekuly.</i>	22
<i>Obr. 17. Semikrystalický polymer.[39]</i>	23
<i>Obr. 18. Dělení polymerů podle aplikace. [33]</i>	24
<i>Obr. 19. Polyeterimid PEI. [42]</i>	25
<i>Obr. 20. Polyetersulfon PES. [47]</i>	26
<i>Obr. 21. Průmyslová vlákna – použití PA. [60]</i>	27
<i>Obr. 22. Konstrukční plasty – použití PA. [34]</i>	28
<i>Obr. 23. Polyamid 6. [46]</i>	28
<i>Obr. 24. Polyamid 9T DURAMID. [19]</i>	29
<i>Obr. 25. Polybutylentereftalát PBT. [58]</i>	29
<i>Obr. 26. Změny polymerů po radičním síťování. [32]</i>	30
<i>Obr. 27. Elektronový katodový urychlovač.</i>	33
<i>Obr. 28. Princip radičního síťování.</i>	37
<i>Obr. 29. Elektronové beta záření.</i>	38
<i>Obr. 30. Zkušební tělesa pro tahovou zkoušku. [3]</i>	44
<i>Obr. 31. Zkušební těleso pro rázovou zkoušku. [2]</i>	45
<i>Obr. 32. Schéma přístroje TMA. [14]</i>	46

<i>Obr. 33. Schéma přístroje TGA. [17]</i>	47
<i>Obr. 34. Schéma přístroje metody Vicat. [18]</i>	48
<i>Obr. 35. Sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2. [48]</i>	52
<i>Obr. 36. Vstřikovací stroj ARBUR ALLROUNDER 470C. [44]</i>	53
<i>Obr. 37. Vrubovací stroj CEAST NOTCHVIS. [40]</i>	55
<i>Obr. 38. Rázové kladivo RESIL IMPACTOR JUNIOR. [20]</i>	55
<i>Obr. 39. Měřící zařízení ZWICK ROELL 1456. [26]</i>	56
<i>Obr. 40. Digitální mikroskop VHX – S90BE KEYENCE REMAX IV. [61]</i>	57
<i>Obr. 41. Napařovací zařízení META 2052. [63]</i>	58
<i>Obr. 42. Temperační sušárna BINDER FED 53. [54]</i>	59
<i>Obr. 43. Zkušební zařízení HDT3 Vicat. [59]</i>	60
<i>Obr. 44. Zkušební zařízení DMA 7e PERKIN ELMER. [43]</i>	61
<i>Obr. 45. Zkušební zařízení TGA Q500. [56]</i>	62
<i>Obr. 46. Zkušební tělesa.</i>	66
<i>Obr. 47. Paleta se zkušebními tělesy a vzorky.</i>	68
<i>Obr. 48. Stanovení obsahu gelu pro PA 6.</i>	70
<i>Obr. 49. Modul v tahu pro PA 6 při pokojové a zvýšené teplotě.</i>	74
<i>Obr. 50. Mez pevnosti pro PA 6 při pokojové a zvýšené teplotě.</i>	74
<i>Obr. 51. Modul v tahu pro PBT při pokojové a zvýšené teplotě.</i>	76
<i>Obr. 52. Mez pevnosti pro PBT při pokojové a zvýšené teplotě.</i>	76
<i>Obr. 53. Modul v tahu pro PEI a PES při pokojové a zvýšené teplotě.</i>	77
<i>Obr. 54. Mez pevnosti pro PEI a PES při pokojové a zvýšené teplotě.</i>	78
<i>Obr. 55. Porovnání modulů v tahu při pokojové a zvýšené teplotě.</i>	78
<i>Obr. 56. Porovnání meze pevnosti při pokojové a zvýšené teplotě.</i>	79
<i>Obr. 57. Zkouška vrubové houževnatosti pro PA6.</i>	80
<i>Obr. 58. Zkouška vrubové houževnatosti pro PBT.</i>	81
<i>Obr. 59. Zkouška vrubové houževnatosti pro PEI a PES.</i>	82
<i>Obr. 60. Porovnání vrubové houževnatosti použitých materiálů.</i>	83
<i>Obr. 61. Mikroskopická kontrola povrchu tělíska PBT ozářeného 198 kGy.</i>	84
<i>Obr. 62. Úzká část zkušebního tělesa PA 6 ozářeného 132 kGy před a po zatížení 200 °C.</i>	86
<i>Obr. 63. Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PA 6.</i>	88
<i>Obr. 64. Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PBT.</i>	89

<i>Obr. 65. Stanovení teploty měknutí podle Vicata pro PEI a PES.</i>	89
<i>Obr. 66. Porovnání výsledků stanovení teploty měknutí podle Vicata.</i>	90
<i>Obr. 67. Měření TMA pro PA 6.</i>	91
<i>Obr. 68. Měření TMA pro PBT.</i>	91
<i>Obr. 69. Porovnání TMA použitých materiálů.</i>	92
<i>Obr. 70. Měření TGA pro PES.</i>	93
<i>Obr. 71. Měření TGA pro PEI.</i>	93
<i>Obr. 72. Měření TGA pro neozářené PBT.</i>	94
<i>Obr. 73. Měření TGA pro PBT ozářené 165 kGy.</i>	95
<i>Obr. 74. Měření TGA pro neozářený PA 6.</i>	95
<i>Obr. 75. Měření TGA pro PA 6 ozářený 99 kGy.</i>	96

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Tabulka příkladu porovnání vlastností síťovaných materiálů. [21], [29].....</i>	40
<i>Tab. 2. Tabulka příkladu materiálových úspor nákladů.....</i>	40
<i>Tab. 3. Tabulka příkladu výrobních úspor. [21], [29]</i>	41
<i>Tab. 4. Rozměry zkušebních těles pro tahové zkoušky polymerů. [3]</i>	43
<i>Tab. 5. Rozměry zkušebních těles pro zkoušky vrubové houževnatosti polymerů. [2]</i>	45
<i>Tab. 6. Technické parametry sušícího zařízení ARBURB THERMOLIFT 100-2. [48].....</i>	53
<i>Tab. 7. Parametry vstřikovacího stoje ARBURG ALLROUNDER 470C. [44]</i>	54
<i>Tab. 8. Parametry rázového kladiva RESIL IMPACTOR JUNIOR. [20]</i>	56
<i>Tab. 9. Parametry měřícího zařízení ZWICK ROELL 1456. [26].....</i>	57
<i>Tab. 10. Parametry měřícího zařízení VHX-S90BE KEYENCE REMAX IV. [61].....</i>	58
<i>Tab. 11. Parametry napařovacího zařízení META 2052. [63].....</i>	59
<i>Tab. 12. Parametry temperační sušárny BINDER FED 53. [54].....</i>	60
<i>Tab. 13. Parametry zkušebního zařízení HDT3 Vicat. [59]</i>	61
<i>Tab. 14. Parametry zkušebního zařízení DMA 7e PERKIN ELMER. [43]</i>	61
<i>Tab. 15. Parametry zkušebního zařízení TGA Q 500. [56]</i>	62
<i>Tab. 16. Vybrané vlastnosti PA 9T.</i>	63
<i>Tab. 17. Vybrané vlastnosti PA 6.</i>	63
<i>Tab. 18. Vybrané vlastnosti PBT.</i>	64
<i>Tab. 19. Vybrané vlastnosti PEI.</i>	64
<i>Tab. 20. Vybrané vlastnosti PES.</i>	65
<i>Tab. 21. Parametry vstřikování jednotlivých materiálů.</i>	67
<i>Tab. 22. Porovnání barevných změn ozářených zkušebních těles a vzorků reflektorů.....</i>	69
<i>Tab. 23. Stanovení obsahu gelu pro PA 6.....</i>	70
<i>Tab. 24. Příklady pokovených zkušebních těles a vzorků reflektorů.</i>	71
<i>Tab. 25. Zkouška tahem pro PA 6 za pokojové a zvýšené teploty.....</i>	73
<i>Tab. 26. Zkouška tahem pro PBT za pokojové a zvýšené teploty.</i>	75
<i>Tab. 27. Zkouška tahem pro PEI a PES za pokojové a zvýšené teploty.</i>	77
<i>Tab. 28. Zkouška vrubové houževnatosti pro PA 6.....</i>	79
<i>Tab. 29. Zkouška vrubové houževnatosti pro PBT.</i>	81
<i>Tab. 30. Zkouška vrubové houževnatosti pro PEI a PES.</i>	82
<i>Tab. 31. Příklad hodnocení povrchu zkušebních těles a vzorků reflektorů.</i>	85

Tab. 32. Porovnání výsledků teplotní odolnosti použitých materiálů po zatížení 200

°C..... 86

Tab. 33. Stanovení teploty měknutí podle Vicata a teploty průhybu při zatížení. 87

SEZNAM PŘÍLOH

P I Disk CD.