

Změna mechanických vlastností u plněných polyamidů modifikovaných ionizačním beta zářením

Jakub Rytíř

Bakalářská práce
2018

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub Rytíř**
Osobní číslo: **T16679**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Změna mechanických vlastností u plněných polyamidů
modifikovaných ionizačním beta zářením**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na danou problematiku.
2. Výroba a příprava zkušebních těles.
3. Provedení experimentů.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Bednařík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

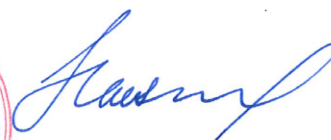
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2018**

Ve Zlíně dne 19. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: Rytíř Jakub

Obor: Technologická zařízení

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 9.5.2018

.....


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 vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³¹ 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na vliv ionizujícího beta záření na mechanické vlastnosti konstrukčních polymerů. Cílem bakalářské práce je definovat vrubovou houževnatost a sílu, která je potřebná k přeražení tělesa. S tím je také spojeno srovnání a určení rozdílů u těles, která byla ozářena ionizujícím zářením a těles, která ozářena nebyla.

Teoretická část je zaměřena na charakteristiku a rozdělení použitých materiálů, jimiž jsou polyamidy. Následně jsou definovány vlastnosti polyamidů, navlhavost polyamidů a jejich využití. V dalších kapitolách jsou charakterizovány vlastnosti polymerů, jejich modifikace a síťování. V závěru teoretické části jsou uvedeny typy ionizačního záření a faktory, které jej ovlivňují. V praktické části jsou měřena data pro získání hodnot vrubové houževnatosti a síly potřebné k přeražení zkušebního tělíska ozářeného ionizujícím beta zářením. Následně budou naměřená data srovnána s daty u neozářených těles.

Závěr se bude věnovat vyhodnocení získaných výsledků a rozdílů mezi ozářenými a neozářenými tělesy.

Klíčová slova: polyamid, polymer, ionizační beta záření

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on the effect of ionizing beta radiation on the mechanical properties of structural polymers. The aim of the bachelor thesis is to define notch toughness and strength, which is needed to break the body. With this is also associated comparison and determination of differences in the bodies, which were irradiated with ionizing radiation and bodies, which were not irradiated.

The theoretical part concentrates on the characteristics of used materials, that is polyamides, their characteristics and their classification. Subsequently, the properties of polyamides are defined, their water-absorbing property and their utilization. In the following chapters, the properties of polymers, their modification and networking are characterized. In conclusion of the theoretical part are presented the types of ionizing radiation and the factors, that have an effect on it. In the practical part, data are obtained for the measurement of notch toughness and needed force for the penetration of test body, irradiated with ionizing beta radiation. After that, the measured data will be compared with the data for non-irradiated bodies.

The conclusion will deal with the evaluation of the obtained results and the differences between irradiated and non-irradiated bodies.

Key words: polyamide, polymer, ionizing beta radiation

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Martinu Bednaříkovi, Ph.D. za jeho trpělivost, odborné rady a hlavně za jeho čas, který mi věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, přítelkyni a přátelům, kteří mě vždy při studiu podporovali.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ	13
1.1 POLYAMIDY - CHARAKTERISTIKA A ROZDĚLENÍ	13
1.1.1 Rozdělení polyamidů podle výroby	13
1.1.2 Rozdělení polyamidů podle struktury makromolekul.....	14
1.2 VLASTNOSTI POLYAMIDŮ	14
1.2.1 Mechanické vlastnosti	14
1.2.2 Teplotní vlastnosti	14
1.2.3 Chemické vlastnosti	15
1.2.4 Povětrnostní stárnutí.....	15
1.3 NAVLHAVOST POLYAMIDŮ	15
1.4 VYUŽITÍ POLYAMIDŮ	16
2 VLASTNOSTI POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ	17
2.1 SNADNO MĚRITELNÉ CHARAKTERISTIKY POLYMERŮ.....	17
2.1.1 Index toku taveniny	18
2.1.2 Obsah popela	18
2.1.3 Hustota	18
2.1.4 Zbytková vlhkost.....	19
2.2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ - STATICKÉ NAMÁHÁNÍ.....	19
2.2.1 Tahové vlastnosti	19
2.2.2 Tlakové vlastnosti	19
2.2.3 Ohybové vlastnosti.....	20
2.2.4 Tvrdost	20
2.3 MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ - DYNAMICKÉ A ÚNAVOVÉ NAMÁHÁNÍ	20
2.4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI POLYMERŮ - DYNAMICKÉ RÁZOVÉ NAMÁHÁNÍ	21
2.4.1 Rázová houževnatost.....	21
3 MODIFIKACE POLYMERŮ	22
3.1 FYZIKÁLNÍ MODIFIKACE	22
3.2 MECHANOCHEMICKÁ MODIFIKACE.....	23
3.3 CHEMICKÁ MODIFIKACE	23
4 SÍŤOVÁNÍ POLYMERŮ	24
4.1 PROCES TVORBY SÍTĚ	24
4.2 DRUHY SÍŤOVÁNÍ	25
4.2.1 Síťování peroxidovými činidly	25
4.2.2 Síťování silany	26
4.2.3 Síťování ionizujícím zářením.....	26

4.3	SÍŤOVACÍ PROSTŘEDKY	26
4.3.1	Aktivátory síťování	26
4.3.2	Urychlovače síťování	26
5	IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ.....	27
5.1	TYPY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	28
5.1.1	Beta záření.....	28
5.1.2	Gama záření	28
5.1.3	Rentgenové záření.....	28
5.2	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ OZAŘOVÁNÍ POLYMERŮ	29
5.3	VLIV ZÁŘENÍ NA POLYMERY.....	29
5.4	VYUŽITÍ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ	30
6	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	32
II	PRAKTICKÁ ČÁST	33
7	VOLBA MATERIÁLU A PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	34
7.1	VLASTNOSTI MATERIÁLU	34
7.2	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	35
7.2.1	Metoda vstříkování.....	35
7.3	METODA OZAŘOVÁNÍ.....	36
8	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	37
8.1	ZKOUŠKA VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	37
8.2	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT.....	38
8.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ MATERIÁLU PA 66 GF 30	40
8.3.1	Výsledky pro neozářené polyamidy.....	40
8.3.2	Výsledky pro ozářené polyamidy 66 kGy.....	43
8.3.3	Výsledky pro ozářené polyamidy 132 kGy.....	46
8.4	VÝSLEDKY MĚŘENÍ MATERIÁLU PA 7T GF 56	49
8.4.1	Výsledky pro neozářené polyamidy.....	49
8.4.2	Výsledky pro ozářené polyamidy 66 kGy.....	52
8.4.3	Výsledky pro ozářené polyamidy 132 kGy.....	55
8.5	STÁRNUTÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	58
8.5.1	Výsledky ozáření (0 - 132 kGy).....	58
8.5.2	Výsledky ozáření (0 - 132 kGy).....	61
	ZÁVĚR	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	65
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ	69
	SEZNAM TABULEK.....	70
	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

Vývoj lidské civilizace klade stále větší nároky na používané materiály ve všech odvětvích a tím se zvyšuje potřeba nových progresivních materiálů. Požadavkem je např. nízká hmotnost, vysoká životnost, odolnost proti korozi, spolehlivost, povrchové vlastnosti, elektroizolační vlastnosti, schopnost tlumit vibrace a v dnešní době ekonomicky i ekologicky přijatelná technologie výroby. Limitací polymerů je převážně nízká teplotní odolnost a změna mechanických vlastností s teplotou či vytváření elektrostatického náboje. Moderní syntetické polymerní materiály patří sice k nejmladším konstrukčním materiálům, ale jejich objem výroby stále roste.

Modifikace materiálů pomocí radiačního záření, která umožňuje změnit jak povrchové vlastnosti materiálu tak i zvýšit jeho životnost, je známa již z minulého století a jejím zakladatelem byl Arthur Charlesby. Úprava materiálu technologií zářením má výhody ekonomické, technické, ekologické.

Ozařování patří mezi nejpoužívanější modifikace a umožňuje relativně snadnou úpravu vlastností polymerních materiálů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

Polyamidy jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny -CO-NH- střídající se s methylenovými skupinami -CH₂-. Rozlišujeme dvě skupiny polyamidů – polyamidy aromatické a polyamidy s alifatickými řetězci, které jsou významnější a rozšířenější.

K jednoduchému označování alifatických polyamidů byl zaveden systém, který udává počet uhlíkových atomů ve stavebních jednotkách řetězců. [2, 14]

Příklad:

- polyamid 6 je polyamid z kyseliny 6-aminokapronové nebo 6-kaprolaktamu ($[\text{NH}(\text{CH}_2)_5\text{CO}]_n$).

1.1 Polyamidy - charakteristika a rozdělení

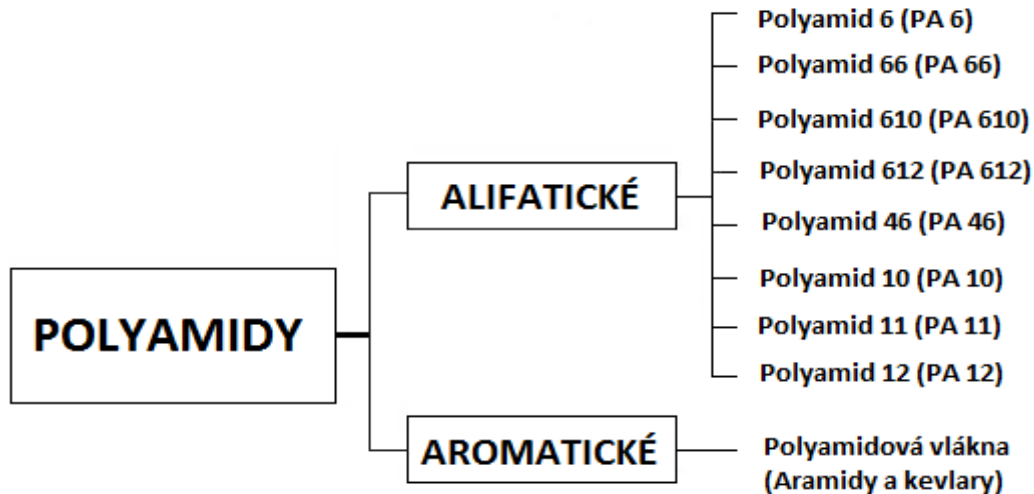
Polyamidy patří do skupiny konstrukčních plastů používaných k výrobě technických součástí, které jsou nějakým způsobem namáhány. Mají dobrou mechanickou pevnost, a to ve statickém i dynamickém namáhání. Polyamidy mají využití v širokém rozsahu teplot a při dlouhodobém zatížení. [2]

1.1.1 Rozdělení polyamidů podle výroby

- polykondenzací dikarboxylových kyselin a diamantů
- polykondenzací ω -aminokarboxylových kyselin
- polymerací cyklických laktamů
- polykondenzací dichloridů aromatických dikarboxylových kyselin s aromatickými diaminy [2]

1.1.2 Rozdělení polyamidů podle struktury makromolekul

Polyamidy lze rozdělit také podle struktury makromolekul a to na alifatické a aromatické viz Obr. 1.



Obr. 1. Rozdělení polyamidů. [2,18]

1.2 Vlastnosti polyamidů

Vlastnosti polyamidů se mění v závislosti na výchozích monomerech. Typické polyamidy jsou v tuhém stavu z 30 - 50 % krystalické a neprůhledné. Řetězce molekul jsou propojovány vodíkovými můstky mezi amidovými skupinami. Jejich množství ovlivňuje krystalickou strukturu, bod tání, T_g a většinu dalších vlastností. [2, 14]

1.2.1 Mechanické vlastnosti

Polyamidy vynikají nad ostatními termoplasty mechanickými vlastnostmi, zvláště kombinací pevnosti a tvrdosti při vysoké houževnatosti a odolnosti vůči oděru. Tyto vlastnosti jsou určeny nejen jejich chemickou strukturou, ale také poměrem mezi krystalickou a amorfní fází polyamidu a obsahem vlhkosti. [5]

1.2.2 Teplotní vlastnosti

S obsahem krystalické fáze v polyamidech také úzce souvisí jejich termické chování. Teplota tání roste s počtem amidových vazeb v makromolekulách polyamidů, což je způsobeno četnějším zastoupením vodíkových můstků. Vysoká teplota tání aromatických polyamidů je dána přítomností neohebných, tuhých aromatických konstitučních jednotek v mak-

romolekulách těchto polymerů. Podle typu je možné používat polyamidy (v závislosti na mechanickém namáhání materiálu při dané aplikaci) do teplot 80÷120°C, krátkodobě i při teplotách 140°C, houževnaté typy až do -40°C. Plně aromatické PA jsou trvale teplotně odolné v rozmezí 200÷250°C. [5]

1.2.3 Chemické vlastnosti

Nejslabším článkem polyamidových řetězců je amidová vazba -CO-NH-. Většina chemikálií při působení na polyamidy štěpí právě tuto vazbu. Odolnost polyamidů vůči kyselinám je velmi nízká. Polyamidy je možné ponechat v kontaktu se zředěnými roztoky slabých organických kyselin při pokojové teplotě anebo mírně zvýšené teplotě. V koncentrovaných roztocích slabých kyselin nebo ve zředěných silných kyselinách se polyamidy rozpouštějí a postupně se odbourávají. [5]

1.2.4 Povětrnostní stárnutí

Polyamidy patří do skupiny polymerů s relativně nízkou odolností vůči povětrnostním vlivům. Mezi jednotlivými typy polyamidů nejsou technicky významné rozdíly v jejich chování vůči klimatickým vlivům. Vlivem přímého slunečního záření a působením vzdušného kyslíku a kyselých reagujících nečistot z ovzduší dochází už během několika málo měsíců k barevným změnám materiálu, vznikají trhliny, zhoršují se mechanické vlastnosti, a proto bez přidání stabilizátorů nejsou polyamidy vhodné pro venkovní aplikace. [5]

1.3 Navlhavost polyamidů

Vlastností, která je charakteristická pro všechny semikrystalické polyamidy, je, že absorbují vlhkost, pokud jsou skladovány ve vzduchu nebo ponořené ve vodě. Absorpce vody je zejména určována typem polyamidu, mírou jeho krystalinity a okolní vlhkostí. Voda, jež polyamid absorbuje, zmenšuje mezimolekulární síly, z čehož vyplývá, že má změkčující účinek. Ten lze pozorovat na snížení pevnosti, tvrdosti a tuhosti polyamidu. [18]

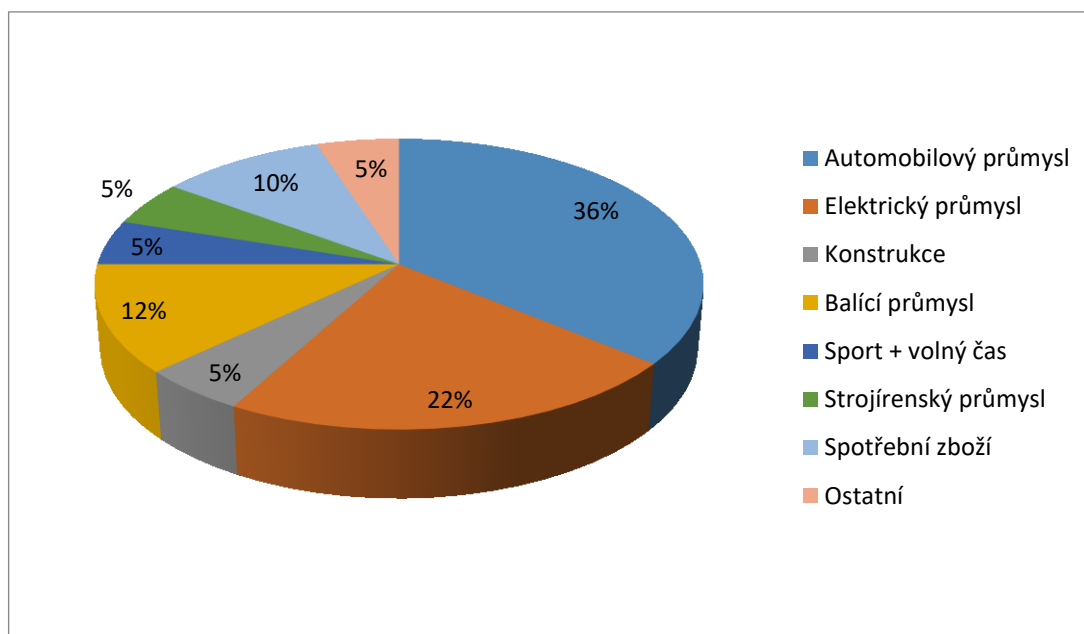
Tab. 1. Navlhavost u jednotlivých polyamidů. [2]

Typ polyamidu	Navlhavost [%]	
	při 23 °C	po uložení ve vodě
PA 6	3,0	10,0
PA 66	2,8	9,0
PA 610	1,4	3,3

PA 612	1,2	3,0
PA 11	0,8	1,8
PA 12	0,7	1,5

1.4 Využití polyamidů

V poslední době spotřeba polyamidů ve světě vzrostla o cca 7 % za rok a vypadá to, že tento trend se v nejbližší budoucnosti nezastaví. Hlavní výhodou polyamidů je jejich univerzálnost a možnost si polymer upravit za pomoci plniv, elastomerů či aditiv. Tímto způsobem lze zajistit, že potenciál polyamidů zůstane stále vysoký a že i nadále budou jedničkou v oblasti konstrukčních plastů. [20, 14]



Obr. 2. Spotřeba polyamidu v Evropě. [20]

V automobilovém průmyslu nahrazují polyamidy ocelové a hliníkové části vozů. Protože jsou lehké, nekorozivní a především samomazné, uplatňují se jako ozubená kola, ložiska a jiné součásti motorů. Polyamidy mají dobré elektrické vlastnosti, používají se v elektrických a elektronických zařízeních jako konektory, izolační systémy, elektrické rozvody, vypínače, zásuvky apod. [18]

2 VLASTNOSTI POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

Znalost fyzikálních, mechanických, chemických, tepelných a technologických vlastností je nezbytná pro správný výběr polymeru, který chceme použít pro výrobu různých součástí i stavbu konstrukcí. V prvním kroku při výběru bychom si měli uvědomit, které vlastnosti jsou pro daný účel nejdůležitější (pevnost, tvárnost, teplotní odolnost a jiné). Po zjištění nejdůležitějších vlastností polymeru můžeme zvolit nejvhodnější typ polymeru, který odpovídá našim požadavkům a zároveň je i po finanční stránce zajímavý. Vlastnosti polymerů můžeme najít v materiálových listech, kde jsou uvedeny všechny důležité informace o polymeru. [21]

Faktory ovlivňující vlastnosti polymerů

- Chemické složení
- Molekulární struktura
- Přísady
- Teplota a vlhkost okolí
- Atmosférické podmínky (světlo, UV záření, apod.)

Typ polymeru, který bude použitý pro výrobu dílu, určuje odběratel a tomu se převážně v automobilovém průmyslu musí výrobce podrobit. Proto se čím dál častěji stává, že při výběru materiálu hraje největší roli cena materiálu, i když si potom odběratel neuvědomuje potíže při výrobě. Je tedy velmi důležité zajistit si od dodavatele materiálu tzv. inspekční certifikát neboli atest kvality. Tento dokument obsahuje naměřené hodnoty vybraných vlastností podle platných mezinárodních předpisů. Atest potvrzený dodavatelem slouží jako záruční list pro zpracovatele polymeru. To samé nemůžeme říct o materiálovém listu, který slouží spíše pro informativní charakter a není tedy závazným dokumentem pro případnou reklamaci. [21]

2.1 Snadno měřitelné charakteristiky polymerů

- Index toku taveniny
- Obsah popela (u plněných plastů)
- Hustota
- Zbytková vlhkost v materiálu

2.1.1 Index toku taveniny

Při zpracování termoplastů se většinou atestuje index toku taveniny, který úzce souvisí s délkou makromolekul i velikostí jejich mechanických vlastností. Snižuje-li se délka makromolekul, zvyšuje se tekutost taveniny. Z toho vyplývá, že se zvyšuje i hodnota indexu toku taveniny a snižuje se pevnost a tuhost polymeru tedy i výrobku. Díky indexu toku taveniny lze na vstupní kontrole velmi snadno a rychle zjistit kolísání v molární hmotnosti a zabránit tak zhoršení kvality výrobního procesu. [21]

Stanovení indexu toku taveniny je založeno na vytlačení roztaveného materiálu z válce plastometru tryškou, která má definovanou délku a průměr za předepsané teploty a zatížení. Index toku taveniny vyjadřuje množství taveniny v gramech nebo centimetrech krychlových vytlačené tryškou po dobu deseti minut. Můžeme tedy index toku taveniny dělit na hmotnostní v jednotkách g/10 minut nebo objemový v jednotkách cm³/10 minut. [21]

2.1.2 Obsah popela

Tyto hodnoty jsou v inspekčním certifikátu uváděny zejména za účelem ověření množství přidávaných anorganických plniv (např. skelných vláken). Obsah popela lze stanovit různými technikami. Jednou z nejjednodušších je přímé žihání, jde o prosté spalování plastu v peci, která má vysokou teplotu (600°C-950°C dle typu plastu). [21]

2.1.3 Hustota

Hustota se často používá k ověření kvality materiálu, závisí na chemickém složení, druhu množství přísad nebo třeba hustotě zesíťování. Nejběžnější metodou zjišťování hustoty u polymerů je tzv. imerzní metoda. Podstata metody závisí na zvážení vzorku o daném objemu na vzduchu a v imerzní kapalině. Hustota se poté určí na základě stanovených hmotností a hustoty imerzní kapaliny. Většinou se jako imerzní kapalina používá destilovaná voda jen u polymerů s nižší hustotou, než je hustota vody se použije kapalina o nižší hustotě. [21]

2.1.4 Zbytková vlhkost

Obsahem vlhkosti jsou zejména ovlivněny vlastnosti navlhavých polymerů, jako jsou např. polyamidy. Důsledkem vysoké vlhkosti v materiálu, který je zpracováván, mohou poté být povrchové vady (vlhkostní šmouhy), což vede k vytvoření hrubého porézního povrchu a zhoršení vlastností výrobku. Kvůli tomu je u těchto materiálů garantovaný obsah vlhkosti po sušení (předepsaná teplota a doba sušení). [21]

2.2 Mechanické vlastnosti polymerů - statické namáhání

Mezi čtyři základní mechanické vlastnosti materiálu patří pevnost, pružnost, plasticita a houževnatost, ale mechanických charakteristik, které poskytují důležité informace pro jejich použití, je mnohem více. Mechanické charakteristiky jsou veličiny, které závisí na tvaru i přípravě zkušebních těles, podmínkách zkoušky apod. Pro určení mechanických charakteristik jsou použity zkušební tělesa, na kterých je vliv vnějších sil zkoušen. Mechanické charakteristiky jsou uvedeny a zjištěny pomocí experimentů na normalizovaných zkušebních tělískách. [21]

2.2.1 Tahové vlastnosti

Nejzákladnější mechanickou charakteristikou materiálu je tahová charakteristika. Pokud vystavíme zkušební těleso jednoosému tahu, můžeme průběh deformace sledovat na deformační křivce. Z této křivky vyčteme všechny důležité informace o vlastnostech materiálu.

Důležitou charakteristikou materiálu je modul pružnosti, který vyjadřuje tuhost materiálu. Čím vyšší je tato hodnota, tím je materiál tužší. Zejména u elastomerů je určení modulu pružnosti poměrně obtížné, protože se od počátku zatížení chovají nelineárně. Příkladem jsou pryže nebo termoplastické elastomery, kde se postupuje tak, že se zkušební vzorek protáhne na smluvní hodnotu např. o 100 % a odečte se smluvní napětí, které označujeme jako modul protažení (M100). Tento modul charakterizuje tuhost elastomeru v počáteční fázi deformace. [21]

2.2.2 Tlakové vlastnosti

Odolnost polymeru proti tlakovému namáhání je zjišťována při namáhání zkušebních vzorků tlakovou silou. Zkušební tělíska mohou být ve tvaru trubky, válce, nebo pravoúhlé-

ho hranolu. Toto tělísko je vloženo mezi dvě desky, které na něj tlačí a během jejichž stlačení je zaznamenáváno napětí (poměrné stlačení). U křehkých, tvrdých a tuhých polymerů je nárůst napětí rovnoměrný, než dojde k dosažení meze pevnosti. Po překročení meze pevnosti je zkušební těleso rozdraceno. U houževnatých a měkkých polymerů je nárůst napětí pozvolnější. [21]

2.2.3 Ohybové vlastnosti

Ohybová charakteristika polymeru je důležitá pro polymerní díly, které jsou namáhány v ohybu. Jedná se například o nosníky, střešní konstrukce a jiné. U elastomerů a lehčených polymerů je známo, že jejich tuhost není dostatečná pro užití pro konstrukční účely, proto se u nich ohybové zkoušky téměř nedělají. Pro ohybové zkoušky používáme zkušební tělesa ve tvaru hranolu. [21]

2.2.4 Tvrdost

Tvrdost patří k důležité mechanické charakteristice. Vyjadřuje odpor povrchu polymeru vůči vnikání jiného tvrdšího materiálu. Nejvyšší tvrdost u polymerů vykazují reaktoplasty, nejnižší kaučuky. Měření tvrdosti je založeno na vtlačování vnikajícího tělíska, které může mít různý tvar předepsanou silou do povrchu zkoušeného materiálu. U polymerů se měří hloubka vniknutí tělíska po určité době a zatížení, protože po odlehčení nelze v materiálu změřit deformaci, což je zapříčiněno elastickým zotavováním. U polymerů je zahrnuta ve výsledku jak plastická tak i elastická deformace. [21]

2.3 Mechanické vlastnosti polymerů - dynamické a únavové namáhání

V praxi najdeme celou řadu polymerních materiálů, které jsou opakovaně namáhané. Jako příklad lze uvést pneumatiky při jízdě, ozubená kola při opakovaných záběrech, pryžová těsnění, podložky pod šrouby u kolejnic aj. Pokud je součást z polymeru namáhána a velikost namáhání se mění s časem, může dojít během jejího provozu k vytvoření trhlinky, která se může pomalu šířit, až dojde k lomu. Takový lom se nazývá únavový. U polymerů s vysokou vrubovou houževnatostí se šíří trhlinky velmi pomalu a někdy se zcela jejich růst zastaví. [21]

Pokud polymer nějakým způsobem namáháme, dodáváme mu energii. Při zrušení zatížení je část této energie získána zpět. Tuto schopnost nazýváme elasticitou. Druhá část energie se však nezíská, ale přemění se v teplo. Tento děj nazýváme tlumení. [21]

Faktory ovlivňující životnost polymeru při dynamickým namáháním:

- typ polymeru
- stárnutí polymeru
- geometrie součásti
- teplota a vlhkost prostředí
- způsob namáhání

2.4 Mechanické vlastnosti polymerů - dynamické rázové namáhání

Strojní součásti mohou být namáhány také rázově, proto je důležité znát rázové charakteristiky materiálu. Za rázové namáhání je považováno namáhání v rozmezí 1 - 10 m/s. [20]

2.4.1 Rázová houževnatost

Rázová houževnatost je spjata se schopností materiálu absorbovat rychle energii, tedy deformovat se určitou rychlostí. Polymery, které vykazují nejvyšší rázovou houževnatost, jsou elastomery. Elastomery mají výborné útlumové vlastnosti a elastickou charakteristiku. Při namáhání termoplastů nebo reaktoplastů může dojít k přerušení tělesa a to buď křehkým, nebo houževnatým lomem. Polymery, které mají teplotu skelného přechodu vyšší, než je obvyklá teplota okolí (23°C), jsou křehké a při zkoušce se přerazí. Naopak u polymerů, které mají teplotu skelného přechodu nižší, než je teplota okolí, k přeražení nedojde z důvodu jejich vysoké houževnatosti. V takovém případě opatřujeme zkušební tělesa vrubem, který je umístěn uprostřed zkušebního tělesa. Díky vrubu dochází v jeho okolní ke koncentraci napětí a při rázové zkoušce je těleso přeraženo. [21]

U polymerů závisí rázová houževnatost nejen na druhu, složení, teplotě, vlhkosti, stárnutí, ale i na tvaru zkušebního tělesa a metodě, kterou je vzorek zkoušen. Polymery se především zkouší pomocí metody Charpy. Kladiva, která se používají, se dají vyměnit, aby bylo možné měřit co největší množství polymerů s odlišnou houževnatostí. [21]

3 MODIFIKACE POLYMERŮ

Pojem modifikace polymerů zahrnuje velké množství fyzikálních a chemických přeměn polymerů, jedná se o jejich záměrnou přeměnu, kdy se získá nový polymerní materiál s odlišnými vlastnostmi. [3]

K modifikaci polymerů se používají tyto základní způsoby: [3]

- **fyzikální modifikace** – modifikace způsobená mechanickým smísením dvou nebo více polymerů
- **mechanochemické modifikace** – modifikace mechanickou cestou, např. intenzivním hnětením za určitých podmínek a za přítomnosti látek usnadňujících destrukci, kdy vznikají reaktivní úseky polymerních řetězců, které se buď navzájem propojí, anebo zreagují s přítomným monomermem schopným polymerace
- **chemické modifikace** – modifikace založená na chemických reakcích účinných látek s reaktivními skupinami polymerních řetězců

3.1 Fyzikální modifikace

Tento nejjednodušší způsob modifikace polyamidů nachází stále širší uplatnění. Mezi fyzikální modifikace patří: [3, 14]

- **mechanické smísení dvou nebo více polymerů** - nejjednodušší metoda, při níž se často získají směsi s vynikajícími mechanickými vlastnostmi
- **použití přísad pro modifikaci** – modifikace, která ovlivňuje fyzikální i mechanické vlastnosti polymeru. Základní fyzikální a mechanické vlastnosti polymeru jsou dány makromolekulární látkou, která plní funkci pojiva. Existují dva druhy přísad - organické a anorganické. Příkladem přísad mohou být např. plniva, stabilizátory, barviva, maziva, změkčovadla apod.

3.2 Mechanochemická modifikace

K mechanochemické modifikaci polymerů dochází reakcí aktivních částic vznikajících při mechanické destrukci makromolekulárních řetězců. Používají se při ní dvě základní metody [3]:

- mechanická degradace směsi polymerů
- mechanická degradace polymeru v přítomnosti monomeru.

Při mechanické degradaci směsi polymerů dochází k modifikaci kombinací makroradikálů, eventuálně reakcí těchto makroradikálů s mechanicky aktivovanými polymerními řetězci.

Při mechanické degradaci polymerů v přítomnosti monomeru vznikají makroradikály iniciující polymeraci přítomného monomeru.

V obou případech probíhá současně řada reakcí, které vedou mimo jiné ke vzniku roubovaných nebo blokových kopolymerů, lišících se strukturou a délkou bloku. Výsledný produkt není ze strukturního hlediska jednotný a jednoznačně definovatelný. Pro tento druh kopolymeru, obsahující různé zastoupení uvedených struktur spolu s homopolymerem, byl proto zaveden termín "interpolymer".

3.3 Chemická modifikace

Pojem chemická modifikace polymerů znamená úmyslnou přeměnu chemické struktury polymerů působením účinných chemických látek nebo za určitých reakčních podmínek. Z hlediska délky makromolekulárních řetězců (střední molekulové hmotnosti) lze chemické reakce polymerů rozdělit na: [3]

- **polymeranalogické přeměny** – v těchto případech reakce probíhají za zachování střední molekulové hmotnosti polymeru. Patří sem např. halogenace, esterifikace, hydrolýza atd.
- **reakce, při nichž se polymerační stupeň mění**
 - zvětšování velikosti makromolekul - např. roubováním nebo síťováním
 - snižování velikosti makromolekul - degradací nebo depolymerací.

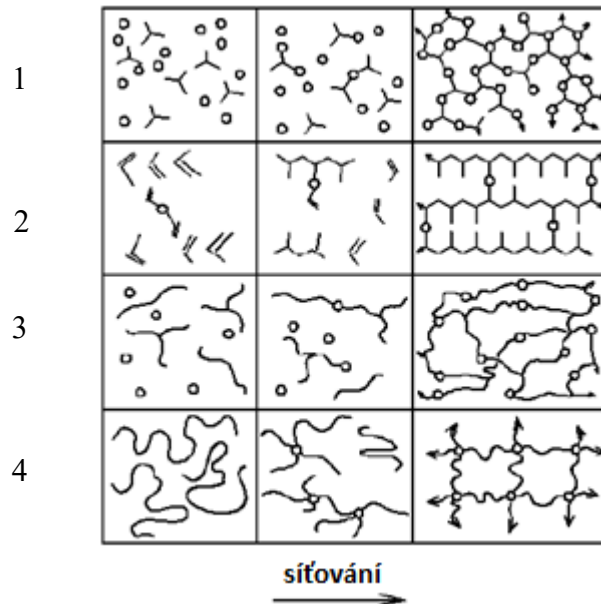
4 SÍŤOVÁNÍ POLYMERŮ

Síťování je chemický proces, ve kterém se molekuly plastů chemicky navzájem spojují. V ideálním případě dojde k začlenění všech molekul do sítě. U řady plastů může být spouštěčem procesu ozáření, v tomto případě nejsou většinou zapotřebí žádné jiné přísady. Proces síťování se provádí až po zpracování materiálu (po vstřikováním, vytlačováním, apod.). [3,16]

Síťování se provádí zejména pro zlepšení vlastností materiálu - jako tažnost nebo pružnost. Vlastnosti, které se takto získají, zajišťují schopnost polymerů odolávat i dlouhodobému teplotnímu a mechanickému zatížení. [3, 14]

4.1 Proces tvorby sítě

Tvorba sítě probíhá spojením dvou funkčních jednotek - vznikají lineární polymery. Pokud ale má některá ze složek více než dvě jednotky, dochází při reakci k větvení a později i ke vzniku nekonečné trojrozměrné struktury prostorové sítě nebo gelu. [1]



Obr. 3. Schéma vzniku sítě. [1]

Pozn.: 1 – Polykondenzace nebo polyadice nízkomolekulárních látek; 2 – Síťovací polymerace; 3 – Spojování reaktivně končených předpolymerů, zpravidla polyadiční reakcí; 4 – Nahodilé síťování vysokomolekulárních polymerů

Zesíťované polymery mohou vznikat těmito procesy [1]:

- Postupnými reakcemi nízkomolekulárních látek - polyadičními či polykondenzačními reakcemi vznikají např. epoxidové a fenolové pryskyřice. Jejich síť se dokončuje ve vytvrzovacím kroku.
- Polymerační řetězovou reakcí, síťovací polymerací.
- Spojováním reaktivních konců nízkomolekulárních polymerů o molární hmotnosti řádu $10^3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Proces vzniku sítě je formálně podobný jako v případě 1 (viz obrázek 10).
- Zavedením příčných vazeb do vysokomolekulárních polymerů.

Ve všech čtyřech případech probíhají při síťování tyto děje [1]:

- V první fázi dochází ke zvětšování molekul a zvyšuje se polydisperzita systému.
- Při určitém stupni reakce dojde do bodu gelace, kdy molekulová hmotnost vzroste nad všechny meze a v systému se objeví první stopy nekonečné struktury - gelu.
- Po překročení bodu gelace se systém skládá ze dvou částí: z nekonečné struktury - gelu a z molekul konečné velikosti - solu. Obě složky lze od sebe oddělit extrakcí; gel je nerozpustný, v rozpouštědle pouze bobtná.
- V dalším průběhu reakce obsah solu klesá a jeho molekulová hmotnost a tím i polydisperzita se zmenšují.
- V gelu vznikají tzv. elasticky aktivní řetězce sítě, které při deformaci nesou napětí a určují velikost modulu pružnosti gelu a jeho rovnovážný stupeň nabobtnání.

4.2 Druhy síťování

V dnešní době jsou využívány zejména tyto metody síťování - síťování peroxidovými činidly, silany a ionizujícím zářením. Vulkanizace sírou se vzhledem k vývoji nových materiálů využívá u kaučukových směsí. [16]

4.2.1 Síťování peroxidovými činidly

Při síťování pomocí peroxidů se obvykle používají vyšší teploty, aby došlo k tavení polymeru. Nejprve se peroxid rozloží teplem na volné radikály, které potom reagují s polymer-

ním řetězcem. Hlavní nevýhodou tohoto typu síťování je poměrně malá účinnost na úkor nutnosti použití velkého množství drahých peroxidů. [16]

4.2.2 Síťování silany

Nejprve se použije peroxid pro vytvoření primárních radikálů a pak se na takto vzniklé radikály naroubují molekuly silanu. Aby reakce proběhla optimální rychlostí, proces probíhá při zvýšené teplotě a za přítomnosti katalyzátoru. Výhodou síťování silany je to, že je možné daný proces provádět na běžných extruzních strojích. [16]

4.2.3 Síťování ionizujícím zářením

Při tomto typu síťování se předpokládá, že materiál, na který působí ionizující záření, převážně síťuje a nedegraduje. Radiační síťování má uplatnění zejména u materiálů na bázi PE, TPU, PUR, PA a PVC. Tato metoda se provádí na hotovém výrobku a není potřeba zvýšení teploty při procesu. Nevýhodou je vysoká počáteční investice pro pořízení urychlovače. [15]

4.3 Síťovací prostředky

Síťovací prostředky jsou látky, které se účastní síťovacích reakcí a tyto reakce nějakým způsobem ovlivňují, např. dochází buď k urychlení reakce nebo k větší tvorbě příčných vazeb spojujících lineární nebo rozvětvené makromolekuly řetězců do struktury prostorové sítě. [3]

4.3.1 Aktivátory síťování

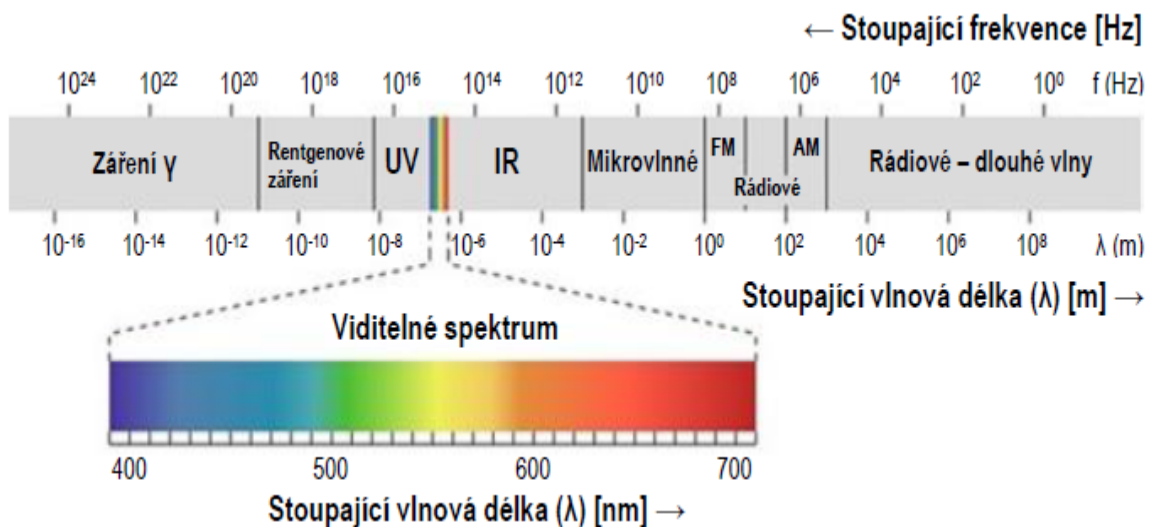
Tento pojem zahrnuje přísady, které aktivují síťovací reakci, tzn., že zmenšují aktivační energii reakce, což vede k menší závislosti rychlosti síťování na teplotě. Druhou významnou úlohou aktivátorů je jejich vliv na výsledek síťovací reakce, kdy podstatně zvyšují účinnost reakce - v jejich přítomnosti vznikne z určitého látkového množství více příčných vazeb (hustší síť) než v jejich nepřítomnosti. [3]

4.3.2 Urychlovače síťování

Protože někdy probíhá síťování velmi pomalu, což je v technologické praxi ekonomicky velmi nevýhodné, urychlují se síťovací reakce látkami - urychlovači. [3]

5 IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Záření je přenos energie prostorem, který se uskutečňuje dvěma způsoby: buď časově proměnným polem, kdy se záření šíří prostorem ve formě vln, nebo pohybujícími se částicemi, které jsou emitovány zdrojem záření. [12]



Obr. 4. Elektromagnetické spektrum záření. [19]

Ionizující záření je záření, které způsobuje ionizaci látky, jíž prochází, a to buď přímo, nebo prostřednictvím sekundárního záření. Ionizující záření můžeme rozdělit na: [8, 14]

- **Přímo ionizující záření** - je tvořeno nabitými částicemi, jako jsou např. elektrony, pozitrony, protony, částice alfa apod., které mají dostatečně velkou kinetickou energii na ionizaci jiných látek
- **Nepřímo ionizující záření** - je tvořeno nenabitými částicemi (neutrony, fotony), které nemají elektrický náboj, takže nemohou samy vyvolat ionizaci, ale k uvolnění ionizujícího záření dochází interakcí s atomy jiných látek.

5.1 Typy ionizujícího záření

Mezi jednotlivé typy ionizačního záření se řadí beta záření, gama záření a rentgenové záření.

5.1.1 Beta záření

Beta záření tvoří urychlené elektrony, které vznikají při přeměně řady přírodních i umělých radionuklidů. Oproti částicím alfa záření jsou částice beta záření lehčí, při stejné energii mají podstatně vyšší rychlost, ale při průchodu prostředím méně ionizují. Mají větší dosah - ve vzduchu až několik metrů, ve vodě jsou to jednotky až desítky milimetrů a u těžších materiálů desetiny až jednotky milimetrů. [8]

5.1.2 Gama záření

Záření gama je elektromagnetické záření, které má obvykle jaderný původ. Ionizace probíhá nepřímou. Při průchodu prostředím záření gama obsahující fotony uvolní elektricky nabitě částice a předá jim energii dostatečně velkou k ionizaci. Díky velmi krátkým vlnovým délkám má záření gama velkou pronikavost [6, 9]

Protože jsou fotony záření gama z fyzikálního hlediska stejné jako jiné druhy elektromagnetického záření, jejich rychlost se rovná rychlosti světla. Jedny z nejčastěji používaných radioaktivních izotopů v lékařství a průmyslu jsou Kobalt (^{60}Co - s poločasem rozpadu 5,3 roku), Cesium (^{137}Cs - poločas rozpadu 30 let) a Iridium (^{192}Ir - poločas rozpadu 74 dnů). [6, 9]

5.1.3 Rentgenové záření

Rentgenové záření je elektromagnetické záření o vlnové délce 10^{-8} - 10^{-12} m. Vzniká přeměnou energie rychle se pohybujících elektronů dopadajících na povrch kovové elektrody na energii elektromagnetického záření. Rozlišujeme dva typy tohoto záření - měkké rentgenové záření s větší vlnovou délkou a tvrdé rentgenové záření, s vlastnostmi blízcími se záření gama. [7]

Vlnová délka tedy určuje základní vlastnosti rentgenového záření - schopnost pronikat látkami, působit na fotografickou emulzi nebo vyvolat ionizaci látky. Čím je vlnová délka kratší, tím lépe záření proniká látkami a tím větší ionizační účinky má. [7]

5.2 Faktory ovlivňující ozařování polymerů

V praxi je nutné vzít v úvahu řadu faktorů, které mohou ovlivnit ozařování polymerů. Jsou to [4]:

- **Teplota** - zvýšením teploty se mnohonásobně zvýší míra radiačně-chemické přeměny v polymeru, což lze nejlépe pozorovat u průchodu taveninou nebo při teplotě skelného přechodu.
- **Tlak** - vnější tlak velmi ovlivňuje směr a rychlost transformace polymerů, při tlaku okolo 3GPa se degradace polymeru snižuje, například u elastomerů zatížených při radiačně chemickém procesu vysokým tlakem je průběh síťování 3-15x rychlejší než při atmosférickém tlaku.
- **Fázový stav polymeru** - přechody mezi jednotlivými stavy značně ovlivňují účinnost radiační přeměny v polymerech; účinnost se zvyšuje už při přechodu ze skelného do vysoce elastického stavu a ještě více při přechodu na stav viskózní. Jestliže je polymer tvořen viskózní i krystalickou fází, radiačně-chemické přeměny probíhají rychleji v oblasti amorfni a na rozhraní než v krystalické fázi.
- **Vady polymeru** - týkají se tuhých polymerů, na kterých se vyskytují různé mikrotrhliny, mikrodutiny nebo nečistoty. Ty ovlivňují prostorové lokalizace energie ionizujícího záření, a tím ovlivňují i radiační odolnost polymeru.
- **Ozáření polymeru** - kombinace různých typů záření jako je ionizující záření, UV záření a infračervené záření způsobuje u polymerů výrazné změny fyzikálně-chemických vlastností.

5.3 Vliv záření na polymery

Působením záření na polymery dochází současně k síťování i degradaci. To, který proces převažuje, závisí na chemické struktuře polymeru. Polymery, u kterých převládá proces síťování, mají řetězce spojeny do rozvětvené trojrozměrné struktury s vysokou molekulární hmotností. Polymery převážně degradující mají malou molekulovou hmotnost a při ozařování dochází k náhodnému štěpení polymerních řetězců. [11]

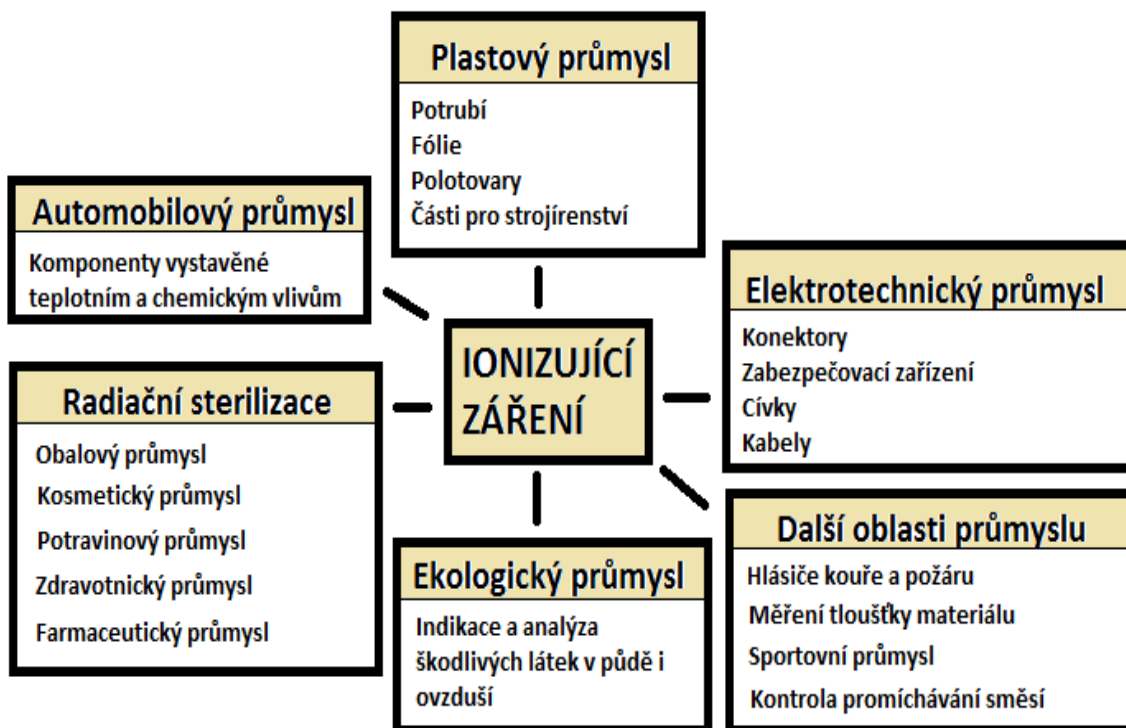
Tab. 2. Vybrané polymery a jejich reakce na ionizující záření. [13]

Druh polymeru	Převažující reakce
Polyethylen	Síťování
Polypropylen	Síťování
Polystyren	Síťování
Polybutadien	Síťování
Polyisobutylen	Degradace
Polyvinylfluorid	Degradace
Polyakrilonitril	Degradace
Polyvinylbutyral	Degradace
Polyamid	Síťování
Polyester	Síťování
Polyakrylát	Síťování
Polyuretan	Síťování

5.4 Využití ionizujícího záření

Ionizující záření se v současné době využívá v mnoha oblastech lidské činnosti, od průmyslové výroby až po medicínu. Při manipulaci s jakýmkoliv množstvím ionizujícího záření hrozí provádějícím pracovníkům ozáření, proto je nutné dodržování pravidel bezpečnosti práce. [10]

V praxi se ionizující záření používá ve zdravotnictví k diagnostice i léčbě onemocnění, v průmyslu například ke sledování homogenizace procesu, hledávání netěsností v potrubí, studiu pochodů ve vysoké peci nebo měření proudění různých materiálů. Další možnosti využití uvádí následující schéma. [10]



Obr. 5. Oblasti využití ionizujícího záření. [15, 16, 17]

6 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zkoumání vlivu ionizujícího beta záření na vlastnosti konstrukčních polymerů. Jedná se zejména o mechanické vlastnosti při dynamické zkoušce u dvou konkrétních materiálů. Hlavním úkolem bakalářské práce je pozorovat a porovnat účinek ionizujícího beta záření na dynamických vlastnostech polymerů v námi zvoleném spektru teplot.

Cíle bakalářské práce shrnuté do jednotlivých bodů:

- vypracování literární rešerše na danou problematiku
- výroba a příprava zkušebních těles
- provedení experimentů
- vyhodnocení naměřených výsledků.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 VOLBA MATERIÁLU A PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Pro měření byly použity dva typy konstrukčních polymerů. Jedná se o konstrukční polymerní materiály z řad polyamidů, které spadají do skupiny termoplastů. Vybrané polymery jsou následující:

- *Polyamid 66 GF 30 - V-PTS-CREAMID-A3H7.2G6*M0129A schwarz*
- *Polyamid 7T GF 56 - V-DURAMID-TH7G12.0SZB*9207*

7.1 Vlastnosti materiálu

První typ polyamidu (PA 66 GF 30) je plněný 30 % skelných vláken. Jeho vlastnosti jsou vybrané z materiálového listu a uvedeny v následující tabulce.

Tab. 3. Vybrané vlastnosti PA 66 GF 30. [22]

Vlastnosti	Hodnota	Norma
Hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	1,37	ISO 1183
Vrubová houževnatost [$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$]	8	ISO 179-1
Modul pružnosti v tahu [MPa]	10000	ISO 527-2
Pevnost v ohybu [MPa]	260	ISO 178
Teplota měknutí dle Vicata [$^{\circ}\text{C}$]	255	ISO 306
Absorpce vlhkosti [%]	0,6	ISO 62

Druhým typem polyamidu je (PA 7T GF 56), který je plněn z 56 % skelnými vlákny. Vlastnosti tohoto materiálu jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 4. Vybrané vlastnosti PA 7T GF 56. [23]

Vlastnosti	Hodnota	Norma
Hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	1,63	ISO 1183
Vrubová houževnatost [$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$]	25	ISO 179-1
Modul pružnosti v tahu [MPa]	19000	ISO 527-2
Pevnost v ohybu [MPa]	290	ISO 178
Teplota měknutí dle Vicata [$^{\circ}\text{C}$]	229	ISO 306
Absorpce vlhkosti [%]	0,3	ISO 62

7.2 Výroba zkušebních těles

Výroba zkušebních těles popisuje jejich konkrétní vyhotovení. Tato tělesa byla vyrobena pomocí metody vstřikování a následně byla ozářena pro další účely využití v bakalářské práci.

7.2.1 Metoda vstřikování

Aby bylo možné využít metodu vstřikování, musel se nejprve granulát daných polyamidů vysušit a zbavit se tak vlhkosti. Teplota, při které byl materiál vysoušen, byla 80°C. Vysoušení materiálu PA 66 GF 30 probíhalo 4 hodiny, materiál PA 7T GF 56 byl vysoušen po dobu 4 hodiny.

Samotný vstřikovací proces probíhal na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 470H 1000 - 400, který se nachází v dílnách Ústavu výrobního inženýrství. Vstřikovací parametry vybraných polyamidů jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tab. 5. Vstřikovací parametry pro jednotlivé polyamidy. [22, 23]

Vstřikovací parametry	PA 66 GF 30	PA 7T GF 56
Vstřikovací tlak [MPa]	88	88
Vstřikovací rychlost [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]	60	60
Dotlak [MPa]	70	70
Doba dotlaku [s]	25	25
Rychlost dotlaku [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]	20	20
Doba chlazení [s]	15	15
Délka vstřikovacího cyklu [s]	48	48
Teplota formy [°C]	75	100
Teplotní pásma plastifikační jednotky		
Teplota pod násypkou [°C]	40	40
Teplota pásmo 1 [°C]	265	260
Teplota pásmo 2 [°C]	280	260
Teplota pásmo 3 [°C]	285	280
Teplota pásmo 4 [°C]	290	285
Teplota pásmo 5 [°C]	280	290
Teplota na trysce [°C]	275	275

7.3 Metoda ozařování

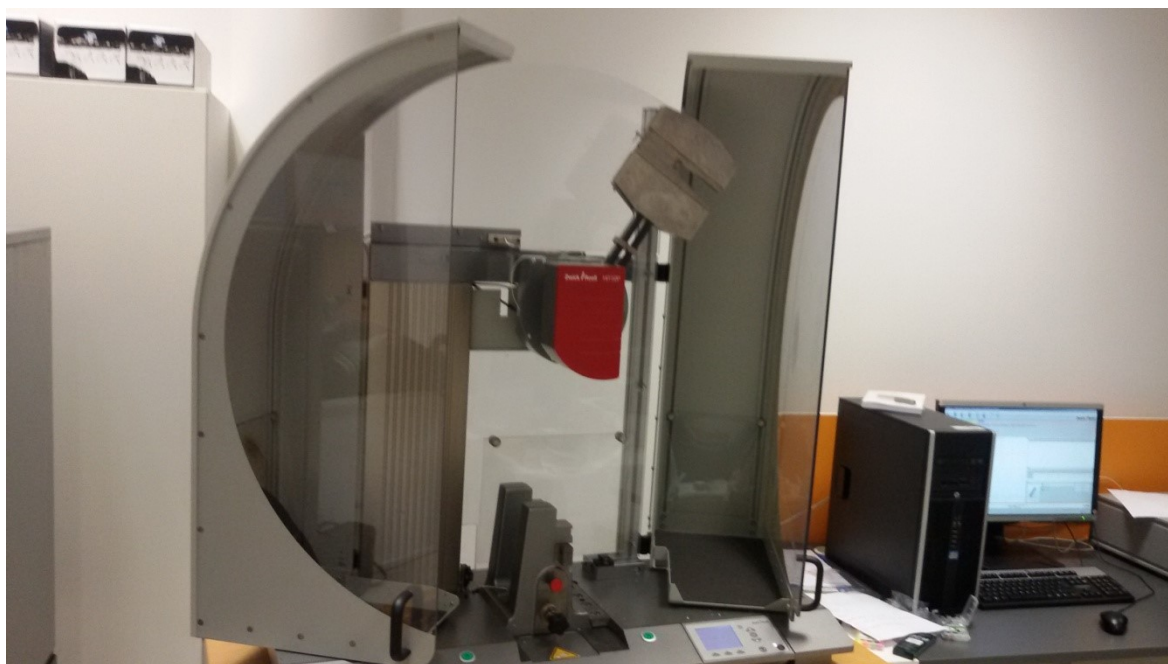
Společnost BGS Beta-Gamma-Service GmbH & Co. KG., která má sídlo v Saal an der Donau nám umožnila provádět ozařování zkušebních těles. K ozáření došlo pomocí účinku beta záření (účinek urychlených elektronů). Zdrojem záření byl toroidní elektronový urychlovač typu Rhodotron 10 MeV - 200 kW, na kterém byly zvoleny dávky záření 66 a 132 kGy. Pro dosažení námi požadovaných dávek bylo nutno více průjezdů ozařovacím scannerem, čímž se předešlo tepelnému namáhání u ozařovaných těles. Jeden průjezd zařízením byl 33 kGy, za normálních atmosférických podmínek a při pokojové teplotě.

8 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Tato kapitola popisuje testování a výsledky zkoušky vrubové houževnatosti na zkušebních tělesech.

8.1 Zkouška vrubové houževnatosti

Zkouška vrubové houževnatosti byla provedena na stroji ZWICK HP 50 P. Data, která byla naměřena, byla převedena do počítače pomocí softwaru Test Expert. Hlavním kritériem, které bylo potřeba zjistit, byla vrubová houževnatost [KCU] a síla [F], jež je potřebná k přeražení zkušebního tělesa. Jednotlivé vzorky byly ohřívány na stroji Memmert UN 55. Měření probíhalo pro oba vzorky, a to při osmi různých teplotách. Nejnižší byla teplota pokojová 23°C a poté se zvyšovala na 50°C, 75°C, 100°C, 125°C a 150°C. Při každé teplotě bylo provedeno alespoň 10 měření.



Obr. 6. ZWICK HP 50 P.



Obr. 7. Elektrická pec Memmert UN 55.

8.2 Zpracování naměřených dat

Data naměřená při zkoušce vrubové houževnatosti byla zpracovaná a vyhodnocena v programu MS EXCEL 07. Poté došlo k vyhodnocování následujících veličin:

- **Aritmetický průměr** \bar{x} - je definován jako podíl jednotlivých hodnot proměnné x_i a rozsahu výběrového souboru n . [21]

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

- **Směrodatná odchylka** s - je definovaná jako kladná odmocnina výběrového rozptylu. [21]

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

- **Standardní nejistota typu A** u_A – je způsobena náhodnými chybami, jejichž příčiny se považují všeobecně za neznámé. Stanovuje se z opakovaných měření stejné hodnoty měřené veličiny za stejných podmínek. [51]

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \times (n - 1)}}$$

- **Variační koeficient** V_X – vyjadřuje relativní míru variability proměnné x . Podle níže uvedeného vztahu jej lze stanovit pouze pro proměnné, které nabývají výhradně kladných hodnot. Variační koeficient je bezrozměrný, uvádí se v [%]. Hodnota získaná z definičního vzorce se vynásobí 100 %. [21]

$$V_x = \frac{s}{\bar{x}}$$

- **První (dolní) kvartil** $Q1$ – rozděljuje datový soubor tak, že 25 % hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 75 % větších (nebo rovných). [21]
- **Medián** – rozděljuje datový soubor tak, že polovina (50 %) hodnot je menších než medián a polovina (50 %) hodnot větších (nebo rovných). [21]
- **Třetí (horní) kvartil** $Q3$ – rozděljuje datový soubor tak, že 75 % hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 25 % větších (nebo rovných). [21]
- **Interkvartilové rozpětí** IQR – je mírou variability souboru a je definováno jako vzdálenost mezi prvním a třetím kvartilem. [21]

8.3 Výsledky měření materiálu PA 66 GF 30

8.3.1 Výsledky pro neozářené polyamidy

- PA 66 GF 30

Tab. 6. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 66 GF 30 při námi zvolených teplotách.

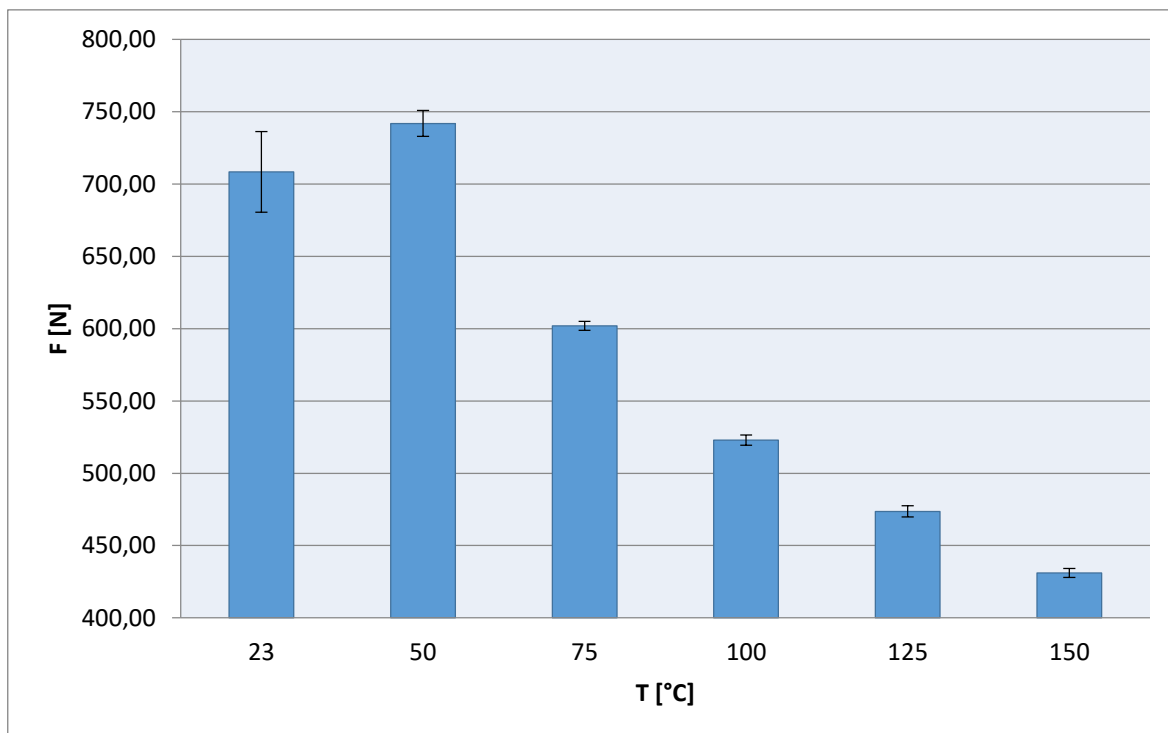
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F [N]	23	886,77	632,92	584,5	677,98	764,61	656,21	693,35	781,51	750,95	655,36
	50	770,48	715,06	686,22	757,19	734,58	725,63	781,67	761,04	739,68	747,77
	75	590,13	600,39	621,15	604,32	593,41	613,69	598,61	602,47	601,74	593,39
	100	513,69	543,04	513,1	527,53	539,32	526,06	512,07	520,43	510,69	523,04
	125	457,03	480,14	485,93	464,00	471,83	472,28	473,09	473,08	498,08	460,35
	150	447,88	418,42	437,41	428,74	432,23	420,19	431,84	440,4	433,76	419,21

Tabulka popisuje naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 66 GF 30 při námi zvolených teplotách. Nejvyšší síla byla potřebná v prvním měření při 23°C a naopak nejmenší sílu bylo třeba vynaložit ve druhém měření při 150°C. Potřebné síly se pohybují v rozmezí od 418,2 N do 886,77 N.

Tab. 7. Zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 66 GF 30 při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	708,41	83,59	27,86	11,80	655,57	685,67	761,19	105,63
50	741,93	26,79	8,93	3,61	727,87	743,73	760,08	32,21
75	601,93	9,01	3,00	1,50	594,71	601,06	603,86	9,15
100	522,90	10,77	3,59	2,06	513,25	521,74	527,16	13,91
125	473,58	11,58	3,86	2,45	465,96	472,68	478,38	12,42
150	431,01	9,18	3,06	2,13	422,33	432,04	436,50	14,17

Tabulka vyhodnocuje naměřené výsledky a ty jsou poté zobrazeny v následujícím grafu.



Obr. 8. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 66 GF 30.

V grafu lze vidět, že nejmenší průměrná síla potřebná k přeražení zkušebního tělíska byla při teplotě 150°C. Naopak nejvyšší síla byla potřebná u teploty 50°C. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou je zhruba 311 N.

Tab. 8. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] neozářeného vzorku PA 66 GF 30 při námi zvolených teplotách.

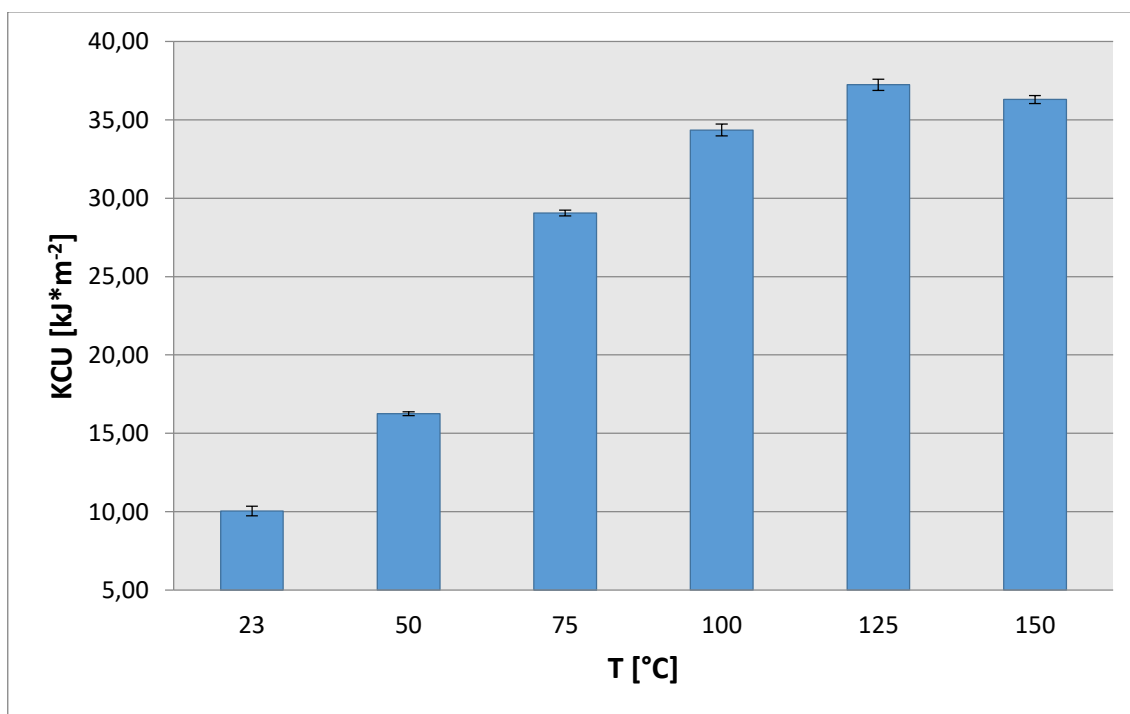
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KCU [kJ*m ⁻²]	23	11,87	9,55	9,74	8,79	9,71	10,73	11,16	10,39	9,29	9,14
	50	16,36	16,97	15,9	16,32	16,47	15,86	16,69	15,97	15,84	16,19
	75	29,29	29,45	29,41	27,88	29,26	29,22	29,25	28,58	28,38	29,80
	100	35,16	33,13	34,89	35,15	35,1	34,76	32,23	36,01	34,12	32,98
	125	38,4	38,23	36,67	36,35	37,75	35,45	36,66	39,13	36,37	37,38
	150	37,5	35,65	35,44	35,78	36,95	37,23	36,11	35,88	37,01	35,45

Tabulka zobrazuje naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] u neozářeného PA 66 GF 30 při námi zvolených teplotách. Největší vrubová houževnatost byla naměřená při 125°C, její hodnota byla 39,13 kJ*m⁻². Nejmenší naměřená vrubová houževnatost byla při 23°C, a to 8,79 kJ*m⁻².

Tab. 9. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] u neozářeného vzorku PA 66 GF 30 při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	10,04	0,93	0,31	9,22	9,36	9,72	10,64	1,29
50	16,26	0,36	0,12	2,22	15,92	16,26	16,44	0,52
75	29,05	0,55	0,18	1,90	28,74	29,25	29,38	0,64
100	34,35	1,14	0,38	3,32	33,38	34,83	35,14	1,76
125	37,24	1,08	0,36	2,89	36,44	37,03	38,11	1,67
150	36,30	0,75	0,25	2,06	35,68	36,00	37,00	1,31

V tabulce jsou možné vidět vyhodnocené výsledky vrubové houževnatosti, které jsou také zobrazeny v následujícím grafu.



Obr. 9. Vrbová houževnatost [KCU] vzorku u neozářeného PA 66 GF 30.

V grafu je možné vidět, že nejvyšší průměrná hodnota vrubové houževnatosti byla při 125°C, naopak nejnižší vrubovou houževnatost mělo zkušební těleso při 23 °C.

8.3.2 Výsledky pro ozářené polyamidy 66 kGy

- PA 66 GF 30

Tab. 10. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.

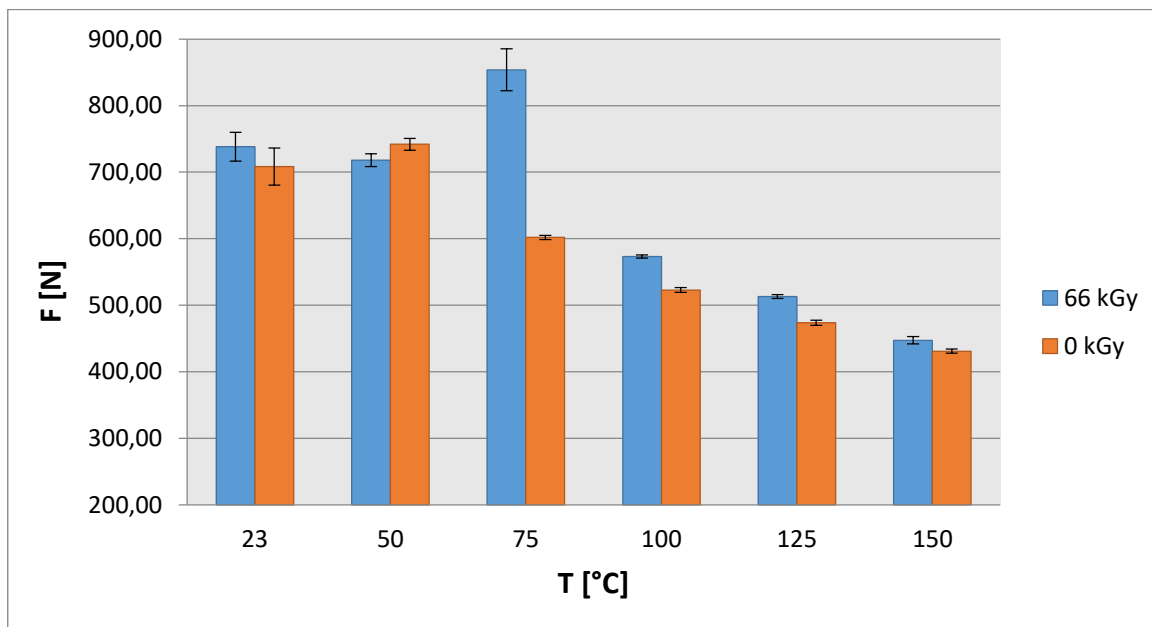
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F [N]	23	788,25	703,44	619,15	853,55	659,1	762,23	702,77	786,56	752,49	756,43
	50	722,02	671,33	738,78	737,12	704,2	746,06	749,20	744,38	699,08	669,75
	75	718,86	926,38	916,08	891,01	640,26	855,78	917,95	862,95	956,08	852,50
	100	570,23	567,33	571,97	588,14	560,43	575,35	576,4	569,21	572,13	580,96
	125	515,98	529,82	511,99	503,36	507,38	522,95	515,47	500,85	515,74	508,28
	150	405,59	445,36	432,72	466,16	451,19	452,36	443,67	449,21	462,85	463,76

Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66kGy při námi zvolených teplotách, můžeme vidět v předchozí tabulce. Největší sílu bylo třeba vynaložit při 75°C, a to 956,08 N. Nejnižší síla byla naopak vynaložena při 150°C a její hodnota se rovnala 405,59 N.

Tab. 11. Zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	738,40	64,93	21,64	8,79	702,94	754,46	780,48	77,54
50	718,19	28,85	9,62	4,02	700,36	729,57	742,98	42,63
75	853,79	94,34	31,45	11,05	853,32	876,98	917,48	64,16
100	573,22	7,23	2,41	1,26	569,47	572,05	576,14	6,67
125	513,18	8,36	2,79	1,63	507,61	513,73	515,92	8,31
150	447,29	16,98	5,66	3,80	444,09	450,20	460,23	16,14

Tabulka zobrazuje zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení daného vzorku. Průměrné výsledky jsou zobrazeny v následujícím grafu.



Obr. 10. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy.

Graf vyobrazuje průměrné hodnoty síly zkoumaných těles. Nejvyšší průměrná hodnota byla při 75°C a naopak nejnižší hodnota při 150°C. Jak lze vypočítat největší rozdíl mezi ozářeným a neožářeným vzorkem byl při 75°C.

Tab. 12. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] u vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.

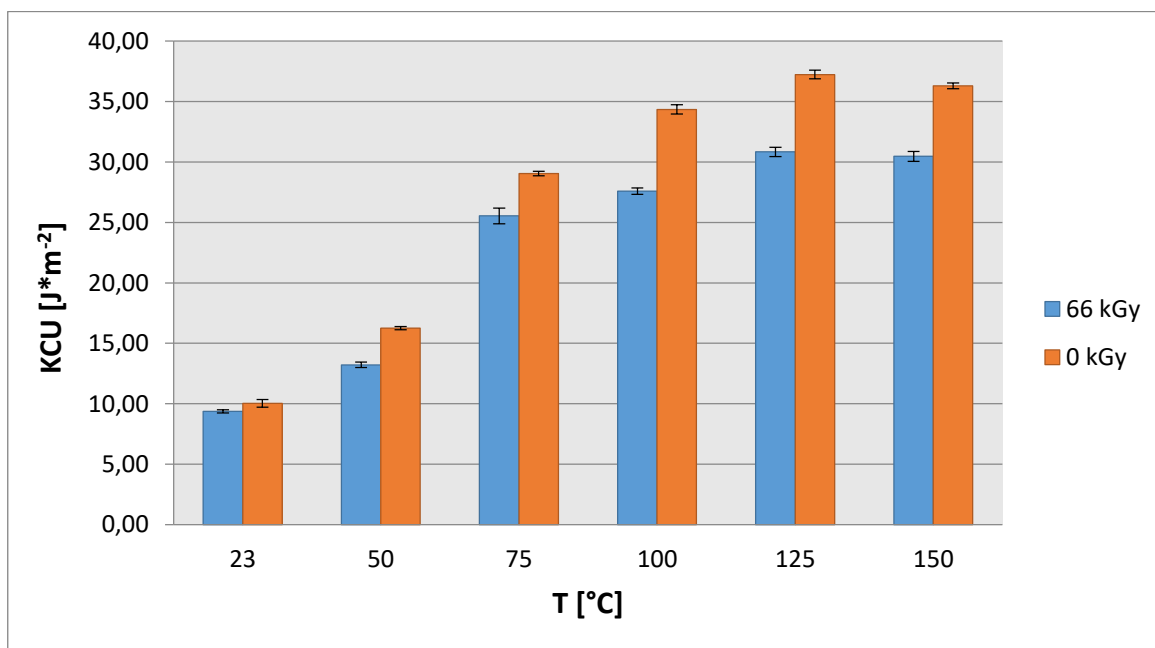
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KCU [kJ*m ⁻²]	23	9,86	9,15	9,16	9,87	8,35	9,43	9,60	9,50	9,29	9,58
	50	13,81	11,97	12,45	13,62	14,16	13,40	12,87	12,92	13,00	14,03
	75	25,72	27,32	27,98	27,15	20,63	25,04	26,22	24,69	25,61	25,02
	100	27,62	28,97	27,62	26,29	26,9	27,79	28,42	26,86	28,31	27,13
	125	30,46	31,55	30,2	32,94	28,24	31,63	30,87	31,32	30,38	30,86
	150	28,44	29,07	28,7	30,59	32,22	30,69	31,56	30,95	30,56	31,84

Tabulka zobrazuje naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU], které byly potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.

Tab. 13. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] u vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	9,38	0,42	0,14	4,46	9,19	9,47	9,60	0,41
50	13,22	0,67	0,22	5,07	12,88	13,20	13,76	0,88
75	25,54	1,94	0,65	7,59	25,02	25,67	26,92	1,90
100	27,59	0,78	0,26	2,82	26,96	27,62	28,18	1,22
125	30,85	1,15	0,38	3,74	30,40	30,87	31,49	1,09
150	30,46	1,25	0,42	4,11	29,44	30,64	31,41	1,97

Tabulka zachycuje výsledky vrubové houževnatosti [KCU] u vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách. Výsledky jsou znázorněny v následujícím grafu.



Obr. 11. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy.

Jak lze v grafu vidět, největší vrubová houževnatost byla při 125°C a nejmenší při 23°C. Po ozáření poklesla vrubová houževnatost při teplotě 125°C o cca 21 % vůči nemodifikovanému materiálu.

8.3.3 Výsledky pro ozářené polyamidy 132 kGy

- **PA 66 GF 30**

Tab. 14. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.

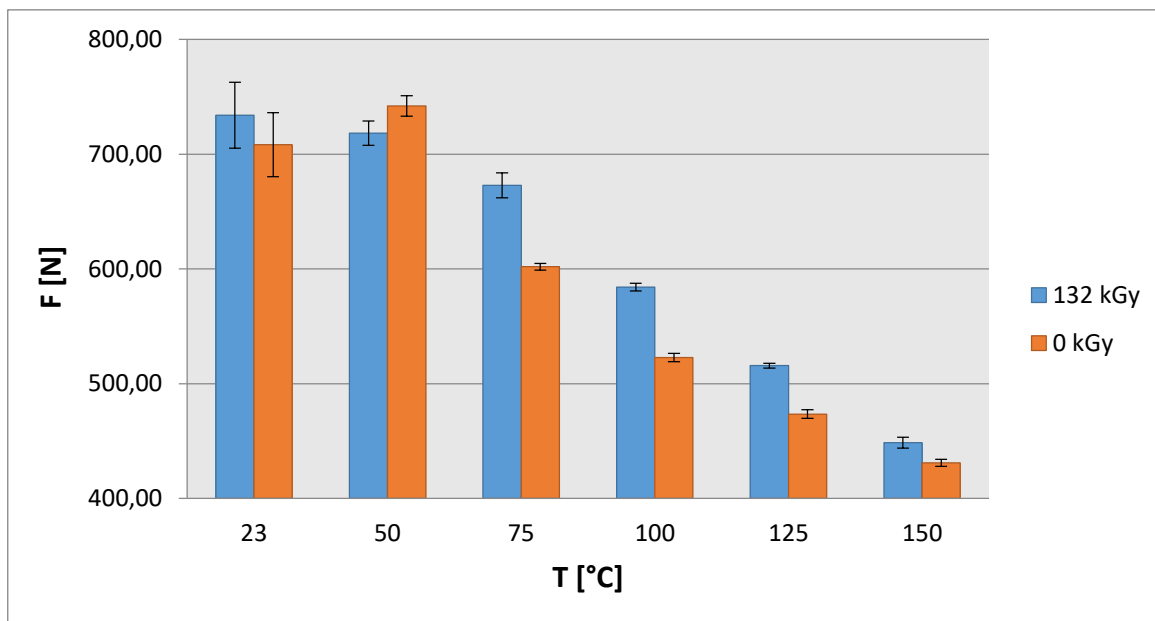
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F [N]	23	581,44	833,01	731,41	614,79	845,13	809,46	768,94	683,94	684,32	786,69
	50	761,41	736	657,57	708,93	760,38	689,88	740,89	708,48	689,21	730,19
	75	629,41	675,64	706,86	637,08	691,94	632,71	709,63	701,93	639,38	704,39
	100	606,11	570,28	571,47	588,85	581,36	586,35	583,4	590,21	587,13	575,96
	125	505,62	505,72	522,5	524,34	518,59	514,14	521,82	514,21	512,09	518,20
	150	435,63	444,24	440,21	482,31	459,21	442,36	463,67	439,21	436,85	443,76

V předchozí tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty síly [F], potřebné k přeražení daného vzorku. Nejmenší síla byla třeba vynaložit v prvním měření při teplotě 150°C, a to 435,63 N. Největší síla byla vynaložena v pátém měření při teplotě 23°C, její hodnota byla 845,13 N.

Tab. 15. Zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	733,91	86,20	28,73	11,75	684,03	750,18	803,77	119,74
50	718,29	31,81	10,60	4,43	694,53	719,56	739,67	45,14
75	672,90	32,59	10,86	4,84	637,66	683,79	703,77	66,12
100	584,11	9,92	3,31	1,70	577,31	584,88	588,42	11,11
125	515,72	6,26	2,09	1,21	512,60	516,20	521,02	8,41
150	448,75	14,22	4,74	3,17	439,46	443,06	455,47	16,01

Tabulka zachycuje průměrné výsledky potřebné síly k přeražení zvoleného vzorku. Výsledky jsou pro lepší orientaci zobrazeny v následujícím grafu.



Obr. 12. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy.

Největší síly bylo třeba využít při teplotě 23°C a naopak nejmenší síla potřebná k přeražení daného vzorku byla při teplotě 150°C. Po srovnání ozářeného s nemodifikovaným vzorkem lze vidět, že pouze při teplotě 50°C bylo zapotřebí menší síly pro přeražení.

Tab. 16. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] u vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.

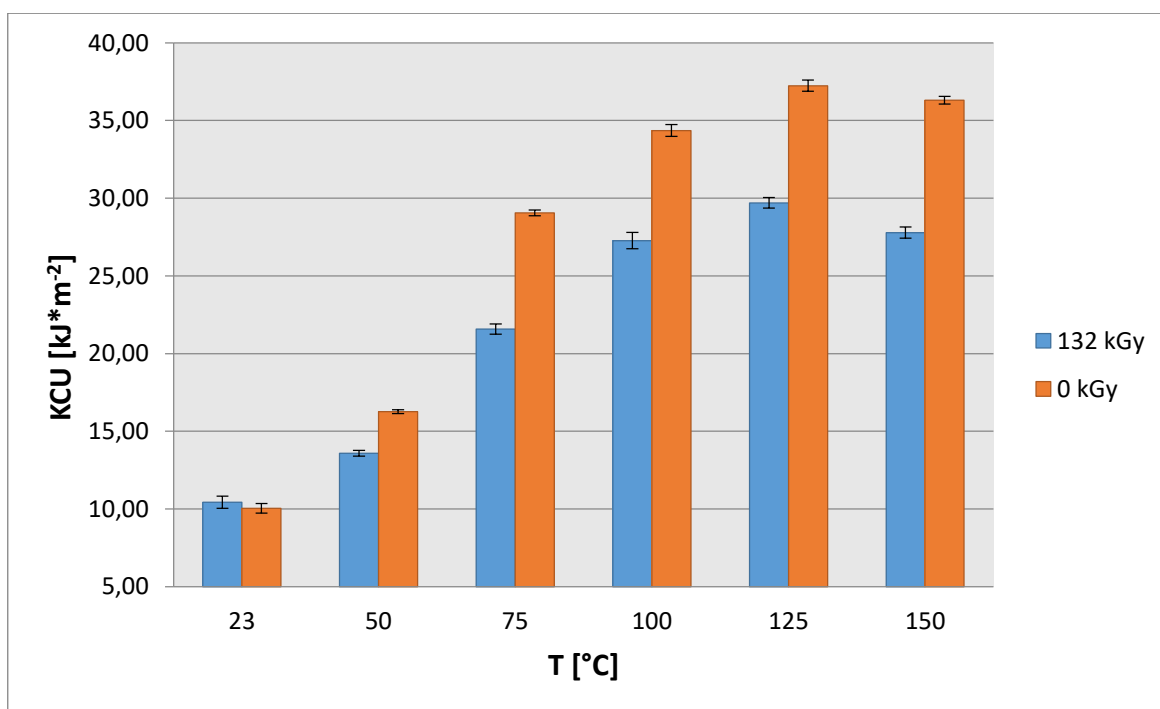
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KCU [kJ*m ⁻²]	23	8,9	10,04	11,33	8,9	11,69	12,41	10,19	9,39	9,86	11,54
	50	13,29	12,74	13,09	14,13	14,77	13,55	13,13	13,75	14,08	13,35
	75	23,09	21,6	20,58	19,36	21,52	22,52	21,24	21,78	22,02	22,02
	100	28,8	25,17	30,03	25,89	25,32	25,79	27,42	28,86	27,31	28,13
	125	29,13	31,15	30,18	28,55	29,18	29,42	31,00	28,89	31,09	28,41
	150	27,92	28,23	27,9	29,32	28,86	28,69	26,56	27,95	25,56	26,84

V tabulce jsou zachyceny výsledky měření vrubové houževnatosti u ozářených těles. Nejmenší vrubová houževnatost byla při 23°C. Její hodnota byla 8,9 kJ*m⁻² a to jak v prvním tak i ve čtvrtém měření. Největší houževnatost byla 31,15 kJ*m⁻² a to při 125°C.

Tab. 17. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	10,43	1,18	0,39	11,29	9,51	10,11	11,48	1,98
50	13,59	0,57	0,19	4,21	13,17	13,45	14,00	0,82
75	21,57	0,98	0,33	4,55	21,31	21,69	22,02	0,71
100	27,27	1,60	0,53	5,86	25,82	27,37	28,63	2,82
125	29,70	1,01	0,34	3,41	28,95	29,30	30,80	1,85
150	27,78	1,09	0,36	3,93	27,11	27,94	28,58	1,47

V tabulce jsou možné vidět průměrné výsledky vrubové houževnatosti ozářeného vzorku. Ty jsou poté převedeny do následujícího grafu.



Obr. 13. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy.

Graf znázorňuje vrubovou houževnatost ozářeného vzorku. Nejvyšší průměrná hodnota vrubové houževnatosti byla zaznamenána při teplotě 125°C a naopak nejmenší průměrná vrubová houževnatost byla při 23°C. Největší rozdíl mezi ozářeným a neozářeným vzorkem nastal při teplotě 150°C, kdy se snížila houževnatost o 30 %.

8.4 Výsledky měření materiálu PA 7T GF 56

8.4.1 Výsledky pro neozářené polyamidy

- PA 7T GF 56

Tab. 18. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 7T GF 56 při námi zvolených teplotách.

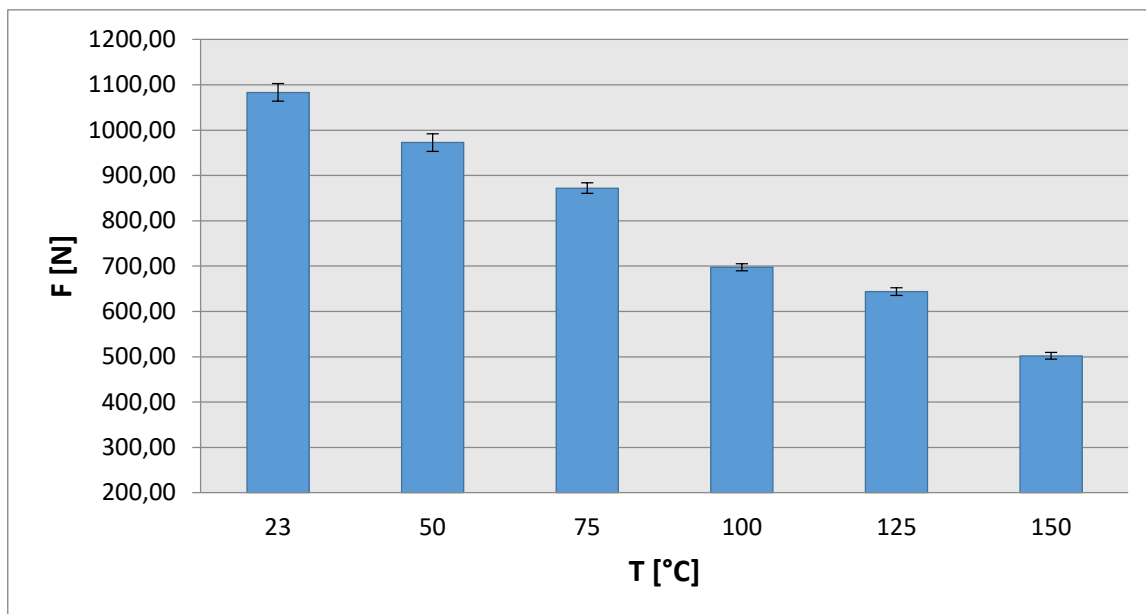
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F [N]	23	1111,59	1143,79	1109,09	1024,09	1015,74	1018,54	1097,05	1053,03	1201,24	1058,94
	50	948,01	971,59	1040,24	914,55	1041,43	1041,24	851,97	968,00	947,59	1000,23
	75	887,65	834,13	825,58	927,27	892,74	810,44	880,25	882,42	887,30	893,46
	100	686,45	728,09	693	754,22	684,36	697,35	683,4	691,21	684,13	673,96
	125	604,66	597,81	664,77	635,4	651,06	661,24	667,90	679,71	637,21	640,73
	150	490,56	524	483,26	557,92	489,21	492,36	503,67	499,21	486,85	493,76

V předchozí tabulce lze vidět výsledky naměřené síly, které bylo třeba k přeražení neozářeného vzorku. Největší naměřenou silou bylo 1201,24 N při teplotě 23°C. Naopak nejmenší silou bylo 483,26 N.

Tab. 19. Zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 7T GF 56 při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	1083,31	57,44	19,15	5,30	1031,33	1078,00	1110,97	79,64
50	972,49	58,28	19,43	5,99	947,70	969,80	1030,24	82,54
75	872,12	34,61	11,54	3,97	845,66	884,86	891,47	45,81
100	697,62	23,32	7,77	3,34	684,19	688,83	696,26	12,08
125	644,05	25,37	8,46	3,94	635,85	645,90	663,89	28,03
150	502,08	21,58	7,19	4,30	489,55	493,06	502,56	13,01

Tabulka zobrazuje zpracované výsledky síly, která byla potřebná k přeražení daného vzorku a to při zvolených teplotách. Tyto výsledky jsou následně pro lepší orientaci zaznamenány v grafu.



Obr. 14. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 7T GF 56.

V tomto grafu je možné vidět potřebnou sílu k přeražení vybraného vzorku. Největší síla se musela využít při teplotě 23°C a naopak nejmenší síla byla použita při teplotě 150°C.

Tab. 20. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku u neozářeného PA 7T GF 56 při námi zvolených teplotách.

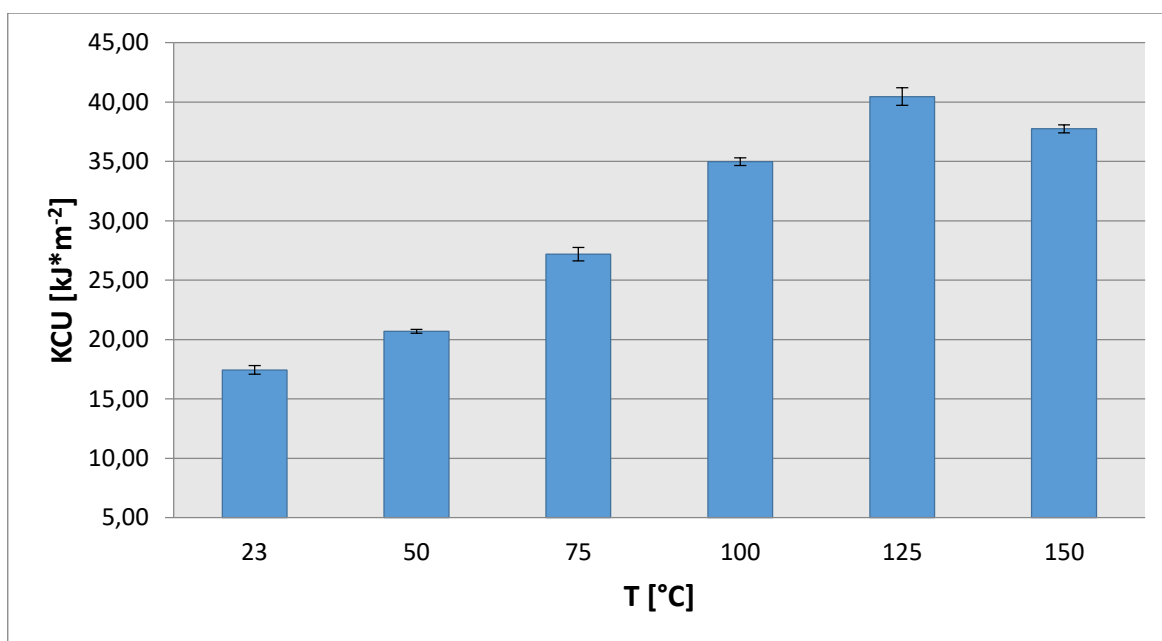
Veličina	Teplota [°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KCU [kJ*m ⁻²]	23	16,2	19,12	18,93	15,99	17,85	18,41	17,12	16,35	17,41	17,11
	50	20,26	20,81	20,89	21,65	20,77	20,93	20,01	19,92	20,90	20,88
	75	29,92	23,74	26,18	29,43	26,71	26,72	28,39	25,99	27,24	27,58
	100	34,69	36,7	33,89	34,74	35,32	35,79	33,42	35,86	35,31	34,13
	125	40,03	38,8	43,51	40,95	38,18	39,70	40,69	42,97	36,42	43,33
	150	36,45	39,07	37,59	38,88	38,86	38,69	36,56	37,05	36,56	37,84

V této tabulce jsou zaznačeny naměřené hodnoty vrubové houževnatosti u neozářeného vzorku a při daných teplotách. Nejmenší vrubová houževnatost byla ve čtvrtém měření při 23°C a její hodnota byla 15,99 kJ*m⁻². Největší vrubová houževnatost je dle naměřených hodnot ve třetím měření při 125°C a to 43,51 kJ*m⁻².

Tab. 21. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] vzorku u neozářeného PA 7T GF 56 při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	17,45	1,06	0,35	6,07	16,54	17,26	18,27	1,74
50	20,70	0,49	0,16	2,35	20,39	20,84	20,90	0,51
75	27,19	1,70	0,57	6,25	26,31	26,98	28,18	1,87
100	34,99	0,95	0,32	2,73	34,27	35,03	35,67	1,40
125	40,46	2,22	0,74	5,48	39,03	40,36	42,47	3,44
150	37,76	1,01	0,34	2,67	36,68	37,72	38,82	2,13

V tabulce jsou zachyceny zpracované výsledky vrubové houževnatosti u neozářeného vzorku. Ty jsou dále přeneseny do následujícího grafu.



Obr. 15. Vrbová houževnatost [KCU] vzorku u neozářeného PA 7T GF 56.

Jak je z grafu viditelné, největší vrubové houževnatosti bylo potřeba při 125°C a nejmenší při teplotě 23°C u neozářeného vzorku.

8.4.2 Výsledky pro ozářené polyamidy 66 kGy

- PA 7T GF 56

Tab. 22. Naměřené hodnoty síly $[F]$, která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.

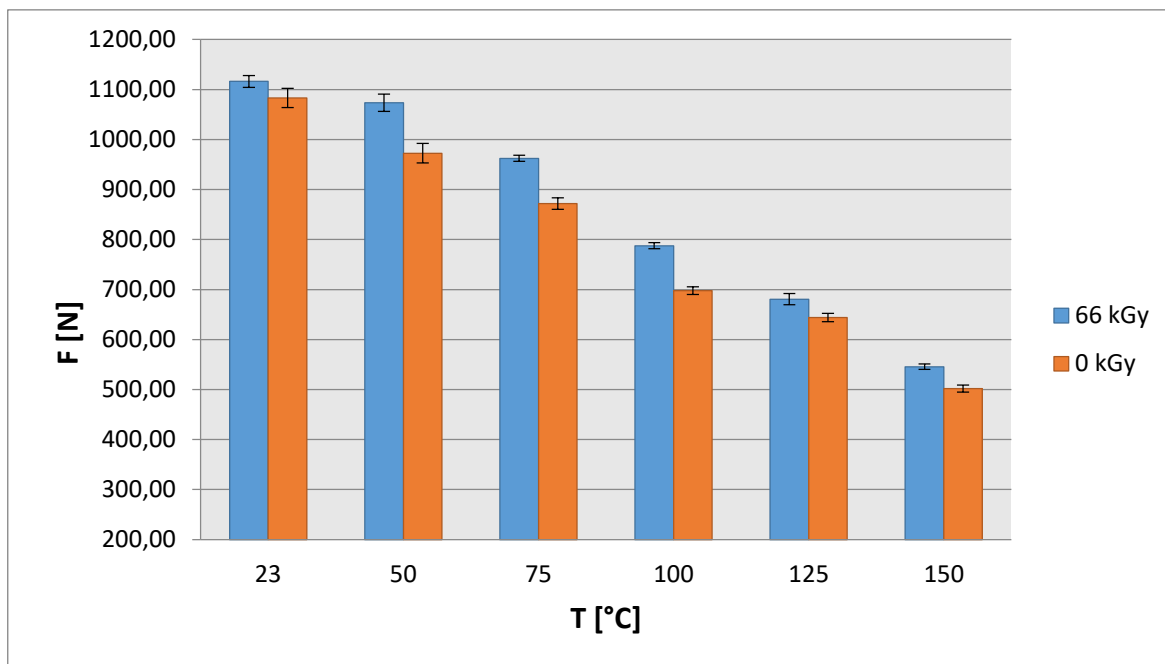
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F [N]	23	1122,8	1115,48	1197,61	1065,15	1078,7	1092,27	1155,76	1111,11	1112,48	1109,35
	50	1060,44	1004,78	1182,98	1062,15	1017,08	1017,34	1110,12	1078,22	1086,25	1115,45
	75	969,44	977,56	914,10	966,66	952,82	951,88	959,56	978,94	978,80	972,95
	100	765,11	770,88	784,64	792,2	836,61	786,35	785,4	790,21	788,13	774,96
	125	615,08	674,65	701,82	637,33	694,46	673,57	721,45	700,01	662,72	724,41
	150	557,23	553,79	564,08	504,57	549,57	542,36	563,67	539,21	536,85	543,76

Tabulka zachycuje naměřené hodnoty síly potřebné k přeražení ozářeného vzorku při daných teplotách. Nejmenší síla potřebná k přeražení byla ve čtvrtém měření při teplotě 150°C a naopak největší potřebná síla byla ve třetím měření při teplotě 23°C a to 1197,61 N.

Tab. 23. Zpracované výsledky síly $[F]$, která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	1116,07	35,93	11,98	3,22	1096,54	1111,80	1120,97	24,43
50	1073,48	51,60	17,20	4,81	1028,12	1070,19	1104,15	76,04
75	962,27	18,69	6,23	1,94	954,51	968,05	976,41	21,90
100	787,45	18,41	6,14	2,34	777,38	785,88	789,69	12,31
125	680,55	33,43	11,14	4,91	665,43	684,56	701,37	35,94
150	545,51	16,43	5,48	3,01	540,00	546,67	556,37	16,37

V této tabulce jsou uvedeny zpracované výsledky síly, která je potřebná k přeražení daného ozářeného vzorku. Grafické zpracování těchto výsledků je možné vidět v následujícím grafu.



Obr. 16. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy.

Graf zachycuje průměrné výsledky síly potřebné k přeražení tělesa. Z grafu tedy vyplývá, že největší potřebná síla k přeražení byla při teplotě 23°C a naopak nejmenší síla byla potřeba při 150°C.

Tab. 24. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.

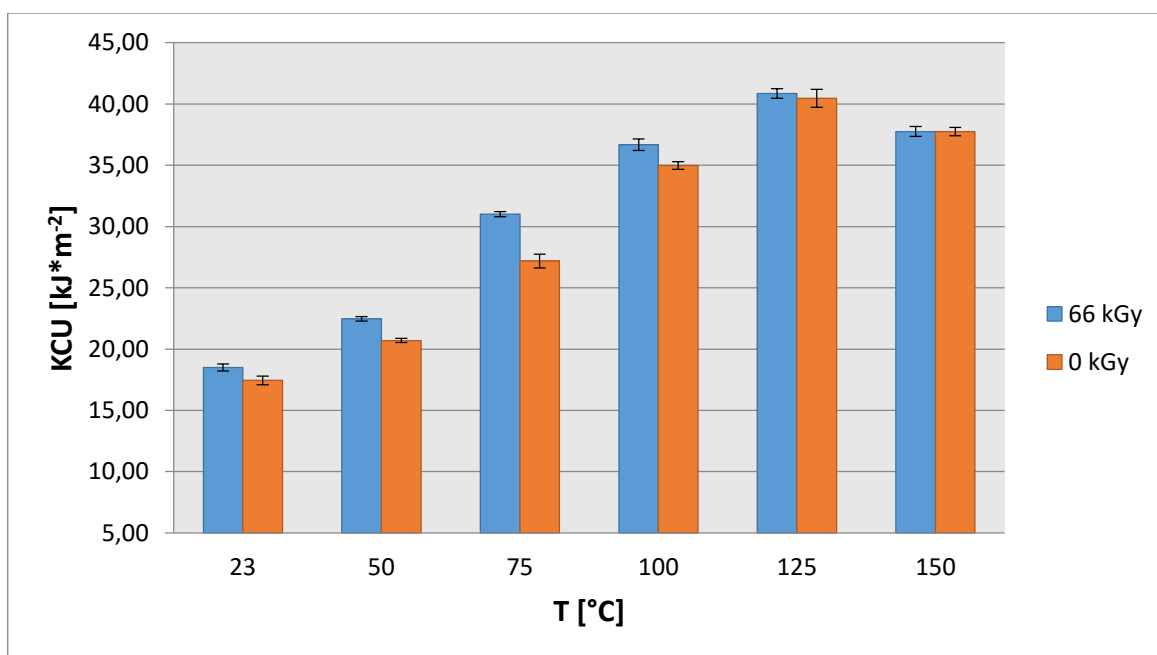
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KCU [kJ*m ⁻²]	23	18,07	17,56	20,45	17,48	18,68	17,85	18,38	19,33	18,20	19,08
	50	21,36	22,56	23,27	22,17	22,01	22,86	22,70	23,20	21,91	22,61
	75	31,74	30,26	30,05	30,72	31,02	31,44	30,80	32,15	31,44	30,44
	100	35,86	35,17	38,36	34,85	34,93	36,79	37,42	38,86	36,31	38,13
	125	38,71	40,46	42,94	39,49	40,13	42,05	41,08	40,32	41,50	41,85
	150	39,22	39,57	38,21	36,74	38,24	38,69	36,56	37,95	35,56	36,84

V této tabulce jsou zobrazeny naměřené hodnoty vrubové houževnatosti u daného vzorku. Jak je možné vidět, nejmenší vrubová houževnatost byla ve čtvrtém měření při 23°C a to 17,48 kJ* m⁻². A největší vrubová houževnatost byla naměřená ve třetím měření při 125°C, její hodnota je 42,94 kJ* m⁻².

Tab. 25. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	18,51	0,87	0,29	4,68	17,91	18,29	18,98	1,07
50	22,47	0,57	0,19	2,54	22,05	22,59	22,82	0,77
75	31,01	0,64	0,21	2,07	30,51	30,91	31,44	0,93
100	36,67	1,40	0,47	3,83	35,34	36,55	37,95	2,61
125	40,85	1,21	0,40	2,97	40,18	40,77	41,76	1,59
150	37,76	1,22	0,41	3,23	36,77	38,08	38,58	1,81

Tabulka zachycuje zpracované výsledky vrubové houževnatosti ozářeného vzorku a při daných teplotách. Tyto výsledky jsou také zobrazeny v následujícím grafu.



Obr. 17. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy.

Graf zachycuje průměrné vrubové houževnatosti a jednotlivé teploty ozařovaných vzorků. Jak je vidět, největší vrubová houževnatost byla při 125°C a naopak nejmenší při 23°C.

8.4.3 Výsledky pro ozářené polyamidy 132 kGy

- PA 7T GF 56

Tab. 26. Naměřené hodnoty síly $[F]$, která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.

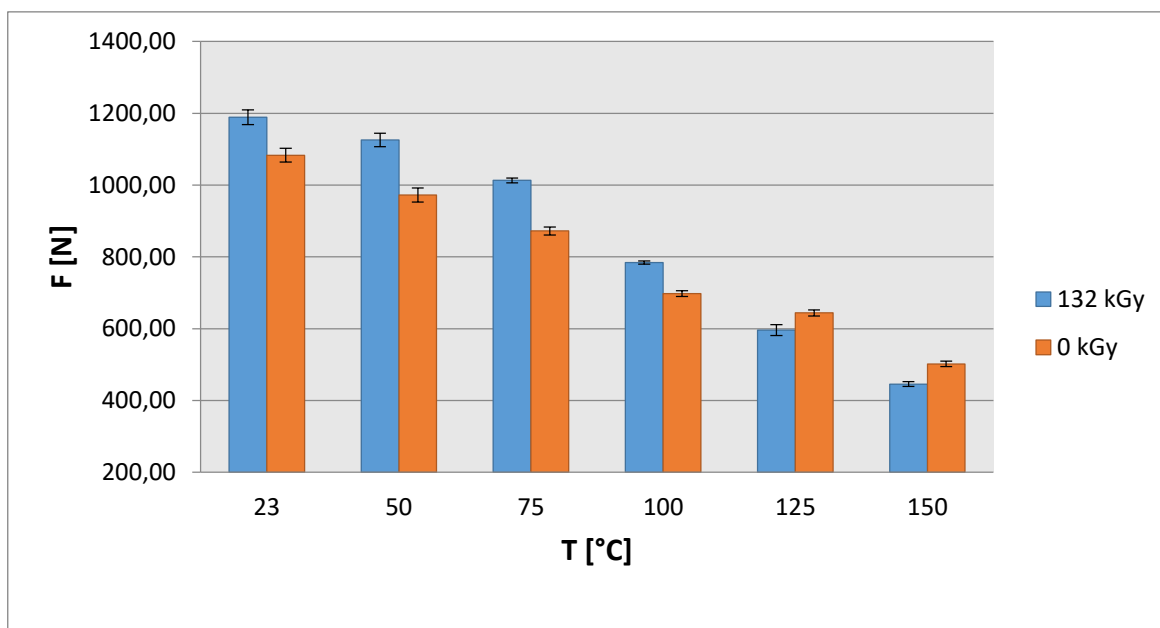
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F [N]	23	1073,98	1193,54	1235,03	1171,2	1113,2	1161,85	1251,92	1298,53	1193,22	1199,8
	50	1140,72	1045,28	1119,95	1235,54	1097,21	1205,38	1143,62	1121,61	1069,2	1075,95
	75	1003,69	990,94	1017,07	970,79	1039,98	1021,83	1025,79	1034,97	1011,64	1013,06
	100	767,95	782,19	770,78	810,57	806,59	786,35	769,46	790,21	777,13	780,96
	125	614,93	653,66	641,06	620,91	491,14	588,60	582,02	560,02	572,07	634,07
	150	427,18	405,26	482,02	457,21	446,35	434,16	463,77	439,21	446,85	453,76

Tabulka zachycuje jednotlivé naměřené hodnoty síly potřebné k přeražení vzorku a to při daných teplotách. Nejmenší naměřenou hodnotu můžeme vidět ve druhém měření při 150°C a to 405,26 N. Naopak největší sledujeme v osmém měření při teplotě 23°C a to 1298,53 N.

Tab. 27. Zpracované výsledky síly $[F]$, která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	1189,23	61,85	20,62	5,20	1164,19	1193,38	1226,22	62,03
50	1125,45	56,53	18,84	5,02	1081,27	1120,78	1142,90	61,63
75	1012,98	19,56	6,52	1,93	1005,68	1015,07	1024,80	19,12
100	784,22	14,01	4,67	1,79	772,37	781,58	789,25	16,88
125	595,85	45,71	15,24	7,67	574,55	601,76	630,78	56,23
150	445,58	20,00	6,67	4,49	435,42	446,60	456,35	20,93

V tabulce jsou zaznamenány průměrné zpracované výsledky síly, která je potřebná k přeražení ozářeného vzorku. Výsledky jsou dále vyobrazeny v následujícím grafu.



Obr. 18. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy.

Z grafu je zřejmé, že největší síla k přeražení tělesa byla potřebná při 23°C a naopak nejmenší sílu bylo třeba vynaložit při 150°C.

Tab. 28. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.

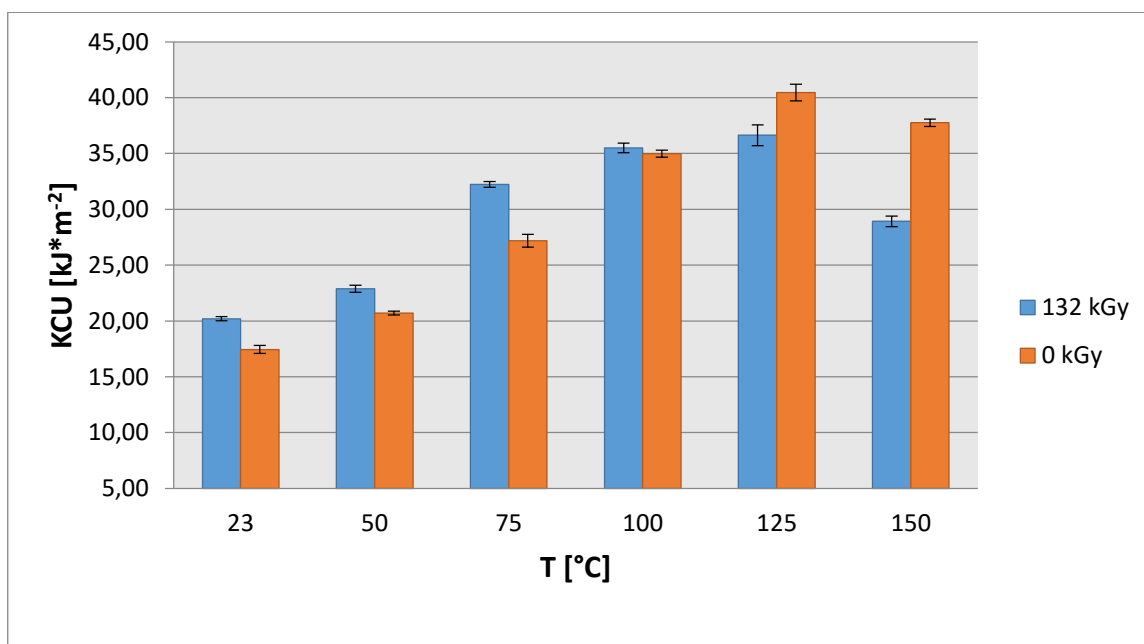
Veličina	Teplota[°C]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KCU [kJ*m ⁻²]	23	19,01	20,34	20,09	20,57	20,89	20,04	19,98	20,99	20,01	20,08
	50	24,07	21,39	21,6	22,43	22,62	23,97	23,62	22,42	23,73	23,01
	75	32,75	31,64	31,56	30,74	31,86	32,64	33,04	32,82	31,98	33,26
	100	34,22	36,78	33,81	36,78	34,61	34,79	36,42	37,86	34,31	35,53
	125	37,76	38,36	40,78	36,35	29,32	36,93	36,95	37,56	37,29	35,13
	150	30,41	27,19	30,37	29,76	30,79	29,49	27,66	28,95	26,76	27,84

Tabulka zachycuje jednotlivé naměřené hodnoty vrubové houževnatosti ozářeného vzorku. Nejmenší vrubová houževnatost byla zaznamenána v prvním měření při 23°C a to 19,01 J*m⁻². Naopak největší vrubová houževnatost byla při 125°C ve třetím měření, její hodnota byla 40,78 J*m⁻².

Tab. 29. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.

Teplota[°C]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
23	20,20	0,53	0,18	2,63	20,01	20,08	20,51	0,50
50	22,89	0,91	0,30	3,96	22,42	22,81	23,70	1,28
75	32,23	0,76	0,25	2,35	31,70	32,31	32,80	1,11
100	35,51	1,30	0,43	3,66	34,39	35,16	36,69	2,30
125	36,64	2,81	0,94	7,66	36,49	37,12	37,71	1,21
150	28,92	1,39	0,46	4,80	27,71	29,22	30,22	2,51

V tabulce jsou zobrazeny průměrné výsledky vrubové houževnatosti u ozářeného tělesa a při zvolených teplotách. Výsledky jsou dále pro lepší orientaci zaznačeny do následujícího grafu.



Obr. 19. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy.

Graf zachycuje naměřené hodnoty vrubové houževnatosti u ozářeného tělesa. Nejvyšší vrubová houževnatost byla naměřena při 125°C a naopak nejmenší při teplotě 23°C.

8.5 Stárnutí zkušebních těles

Zvolené materiály jsme vystavili testu stárnutí. Test byl prováděn na přístroji Angelantoni Discovery DM340C, kam jsme zkušební tělíska vložili. Proces započal tím, že byl materiál zahřán na teplotu 75°C při vlhkosti 98 % po dobu jednoho týdne. Po ukončení námi zvoleného procesu byly vzorky vytaženy a pozvolna ochlazeny na pokojovou teplotu a vlhkost. Poté jsme nechali vzorky 24 hodin v normálním prostředí. Následovalo testování vrubové houževnatosti a síly potřebné k přeražení zkušebních těles za pokojové teploty a vlhkosti.

8.5.1 Výsledky ozáření (0 - 132 kGy)

- **PA 66 GF 30**

Tab. 30. Naměřené hodnoty síly $[F]$, která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

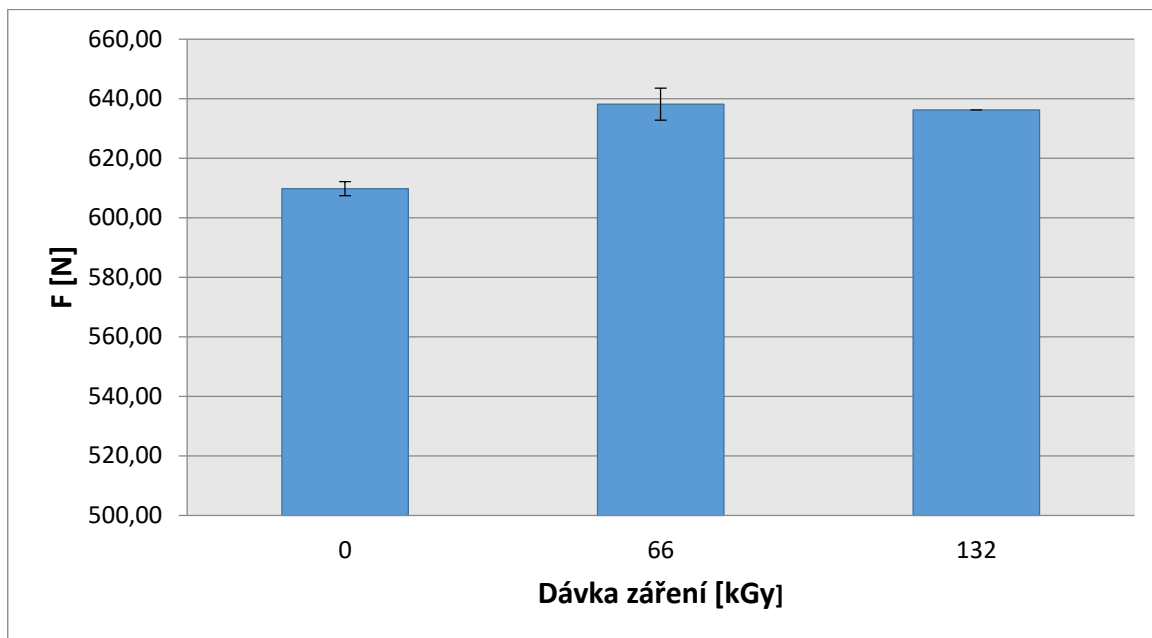
Veličina	Záření [kGy]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F [N]	0	621,97	611,35	607,62	599,58	600,36	607,12	613,56	617,6	603,87	614,52
	66	625,65	676,65	645,46	610,77	645,06	635,36	630,24	641,25	633,87	637,45
	132	630,78	630,3	641,94	636,17	625,95	640,98	639,85	637,12	639,25	639,75

V předchozí tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty síly $[F]$, potřebné k přeražení daného vzorku. Nejmenší sílu byla třeba vynaložit ve čtvrtém měření u neozářeného vzorku, její hodnota byla 599,58 N. Největší síla byla vynaložena ve druhém měření při hodnotě ozáření 66 kGy a to 645,46 N.

Tab. 31. Zpracované hodnoty síly $[F]$, která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

Záření [kGy]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
0	609,76	6,99	2,33	1,15	604,68	609,49	614,28	9,60
66	638,18	16,09	5,36	2,52	631,15	636,41	644,11	12,96
132	636,21	5,11	0,00	0,80	632,13	638,19	639,83	7,70

V tabulce jsou zaznamenány průměrné zpracované výsledky síly, která je potřebná k přeražení u jednotlivých ozářených vzorků. Výsledky jsou dále vyobrazeny v následujícím grafu.



Obr. 20. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

V tomto grafu je možné vidět průměrnou hodnotu síly potřebnou k přeražení vybraného vzorku. Největší síly se muselo využít při 66 kGy a naopak nejmenší síla byla použita u neozařeného vzorku.

Tab. 32. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

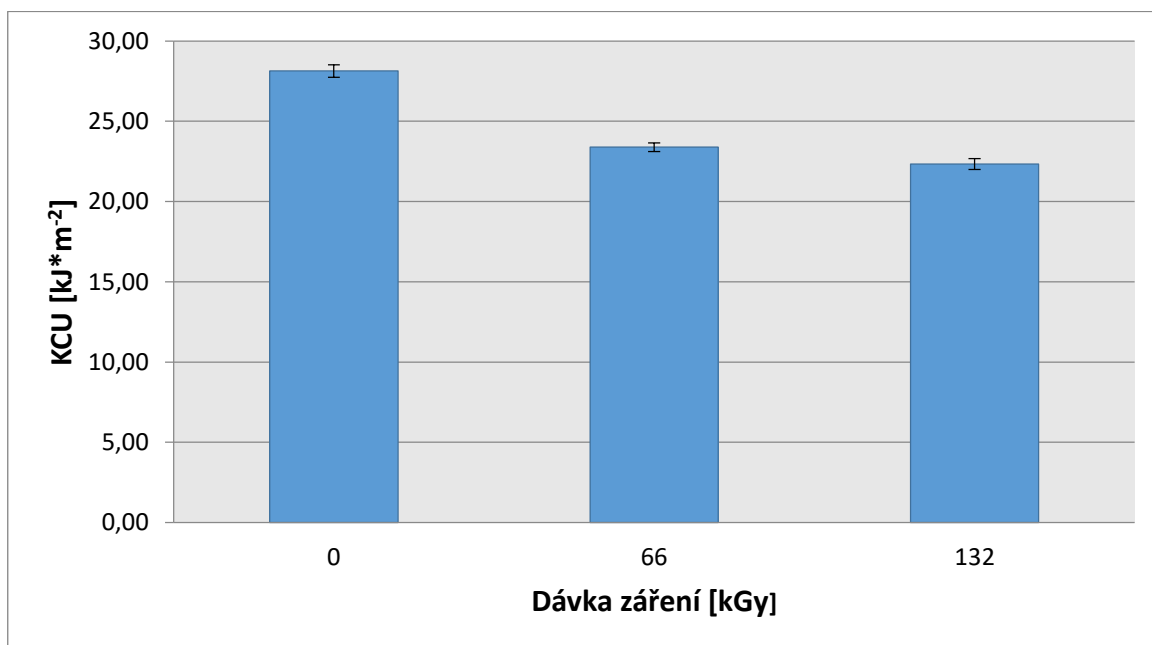
Veličina	Záření [kGy]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KCU [kJ*m ⁻²]	0	26,7	27,26	30,14	27,26	27,8	27,36	27,14	28,96	29,11	29,58
	66	23,53	22,35	21,65	24,26	24,02	22,78	23,65	23,94	24,07	23,67
	132	23,9	19,86	22,3	23,22	21,92	22,04	22,36	22,79	23,04	21,97

V tabulce jsou zachyceny výsledky měření vrubové houževnatosti u ozářených těles. Nejmenší vrubová houževnatost byla při 132 kGy. Její hodnota byla 19,86 kJ*m⁻² ve druhém měření. Největší naměřená houževnatost byla 29,58 kJ*m⁻² v neozařeném stavu.

Tab. 33. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

Záření [kGy]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
0	28,13	1,14	0,38	4,06	27,26	27,58	29,07	1,81
66	23,39	0,81	0,27	3,46	22,97	23,66	24,00	1,03
132	22,34	1,02	0,34	4,58	21,99	22,33	22,98	0,99

V tabulce jsou možné vidět průměrné výsledky vrubové houževnatosti ozářeného vzorku. A ty jsou poté převedeny do následujícího grafu.



Obr. 21. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

Jak je v grafu možné vidět, největší vrubová houževnatost byla u neozářeného vzorku a nejmenší u vzorku ozářeného 132 kGy.

8.5.2 Výsledky ozáření (0 - 132 kGy)

- PA 7T GF 56

Tab. 34. Naměřené hodnoty síly $[F]$, která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

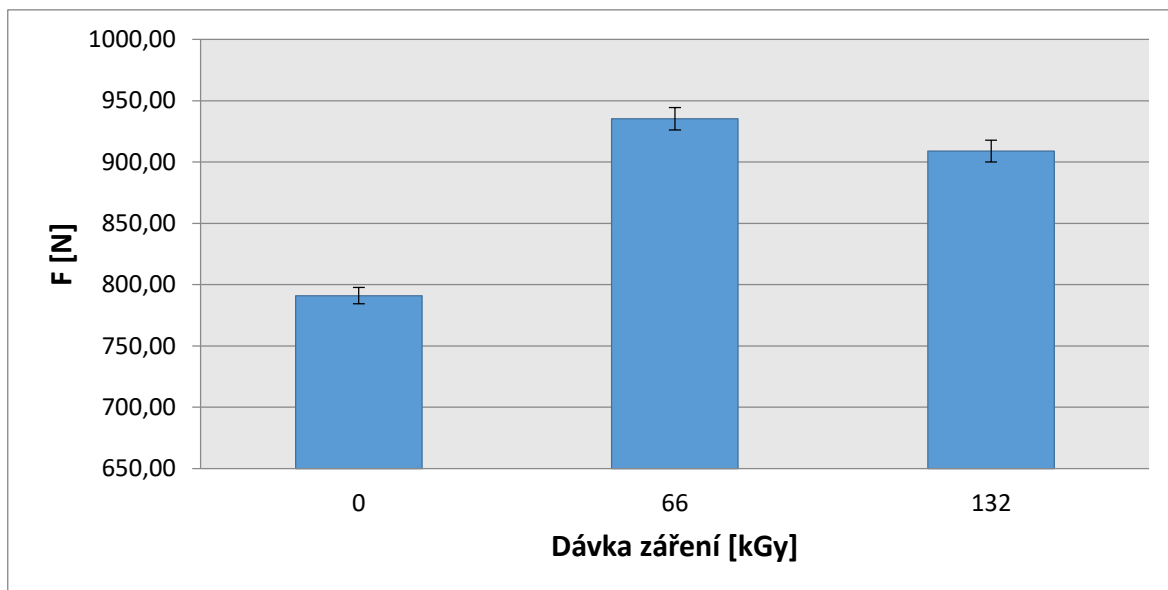
Veličina	Záření [kGy]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F [N]	0	765,12	822,35	775,71	797,11	800,36	797,12	760,56	773,6	803,87	814,22
	66	955,42	908,74	874,21	981,58	954,56	935,36	930,24	941,25	933,87	937,45
	132	925,17	911,47	852,09	871,75	913,97	940,98	915,85	920,12	939,25	898,75

Tabulka zachycuje jednotlivé naměřené hodnoty síly potřebné k přeražení vzorku. Nejmenší naměřenou hodnotu můžeme vidět v šestém měření u neozářeného vzorku a to 760,56 N. Naopak největší ve čtvrtém měření při 66 kGy a to 981,58 N.

Tab. 35. Zpracované hodnoty síly $[F]$, která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

Záření [kGy]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
0	791,00	19,96	6,65	2,52	774,13	797,12	802,99	28,87
66	935,27	27,24	9,08	2,91	931,15	936,41	951,23	20,08
132	908,94	26,71	8,90	2,94	901,93	914,91	923,91	21,98

V tabulce jsou zobrazeny průměrné výsledky vrubové houževnatosti tělesa při různých hodnotách ozáření. Výsledky jsou dále pro lepší orientaci zaznačeny do následujícího grafu.



Obr. 22. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

Graf zachycuje průměrné výsledky síly potřebné k přeražení tělesa. Z grafu tedy vyplývá, že největší potřebná síla k přeražení byla při 66 kGy a naopak nejmenší síly bylo potřeba u zkušební vzorku, který nebyl ozářený.

Tab. 36. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

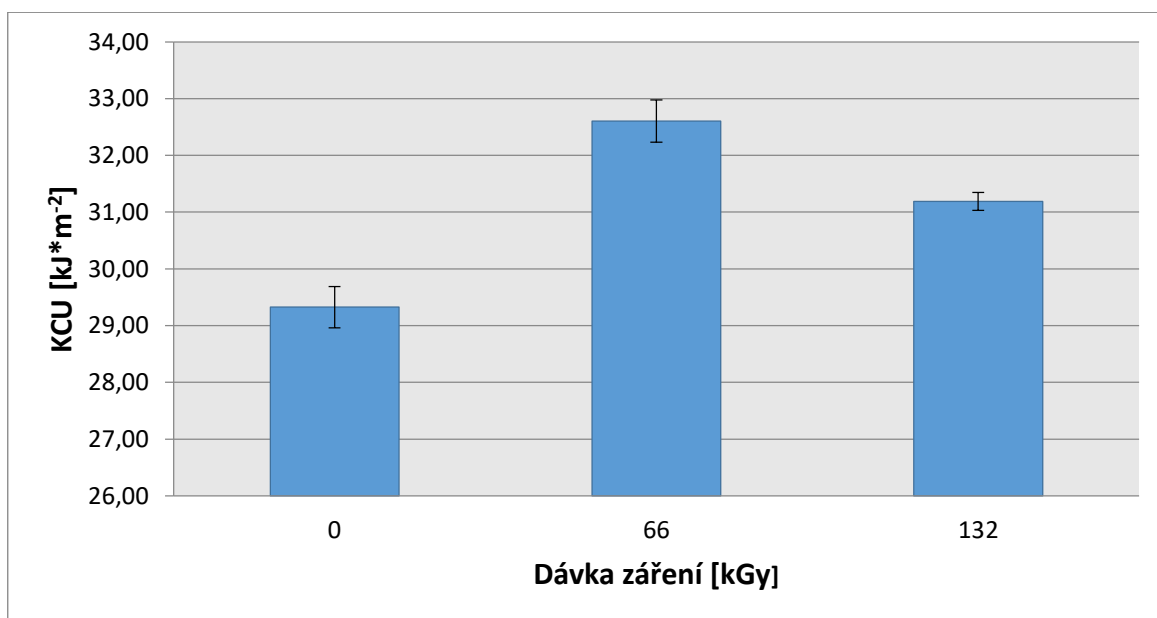
Veličina	Záření [kGy]	Číslo měření									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KCU [kJ·m ⁻²]	0	30,4	29,42	31,25	29,23	29,8	28,36	29,14	29,96	27,11	28,58
	66	31,66	31,38	32,26	31,81	30,81	32,78	33,65	33,94	34,07	33,67
	132	30,51	31,55	31,74	31,33	31,55	31,04	30,36	31,79	31,04	30,97

Tabulka 36 obsahuje naměřené hodnoty vrubové houževnatosti u vzorku PA 7T GF 56, který byl ozářený v rozmezí od 0 - 132 kGy. Můžeme z ní tedy vyčíst, že nejnižší hodnota vrubové houževnatosti byla naměřena při devátém měření na neozářeném vzorku. Naopak nejvyšší hodnotu jsme naměřili při osmém měření u tělesa ozářeného 66 kGy.

Tab. 37. Zpracované hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

Záření [kGy]	\bar{x}	s	u_A	V_x	Q_1	Medián	Q_3	IQR
0	29,33	1,09	0,36	3,73	28,72	29,33	29,92	1,20
66	32,60	1,12	0,37	3,44	31,70	32,52	33,67	1,97
132	31,19	0,47	0,16	1,50	30,99	31,19	31,55	0,56

V předchozí tabulce jsou zpracované hodnoty vrubové houževnatosti. Výsledky jsou dále zaznamenány v následujícím grafu.



Obr. 23. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).

Z grafu můžeme vidět, že nejvyšší vrubová houževnatost byla naměřena u vzorků, které byly ozářeny 66 kGy. Naopak nejnižší hodnota byla u neozářených vzorků.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zjistit chování a změnu vlastností u polymerů při použití ionizujícího beta záření v závislosti na teplotě. Teoretická část byla zaměřena na základní charakteristiku použitých polyamidů, rozdělení, vlastnosti a jejich využití. K praktické části byly použity následující vzorky materiálu. První zkušební materiál byl polyamid 66, který má obchodní název V-PTS-CREAMID-A3H7.2G6*M0129A schwarz a je plněný 30 % skleněných vláken. Jako druhý materiál byl použit polyamid 7T známý pod názvem V-DURAMID-TH7G12.0SZB*9207 obsahující 56 % skleněných vláken. K testování byly ke srovnání použity vzorky neozářené a vzorky, které byly ozářeny dávkou 66 a 132 kGy. Pro každý vzorek bylo provedeno alespoň 10 měření při námi zvoleném rozsahu teplot a dávce ozáření. První série pokusů byla zaměřena na zjištění vrubové houževnatosti a síly, která je potřebná k přeražení zkušebního vzorku. Při druhém pokusu byly vzorky podrobeny testu stárnutí.

Všechny naměřené hodnoty byly zpracovány v tabulkách a grafech a následně bylo provedeno jejich statistické vyhodnocení.

Výsledky daného zkoumání potvrdily, že při zvyšující se teplotě se snižuje síla potřebná k přeražení vzorku u obou typů polyamidů, jak ozářených tak neozářených. Naopak u všech vzorků se zvyšující se teplotou vzrůstala hodnota vrubové houževnatosti. Po vyhodnocení všech naměřených výsledků bylo zjištěno, že u PA 66 GF 30 je největší průměrná síla potřebná k přeražení zkušebního tělesa při 75°C a dávkou ozáření 66 kGy. Vrubová houževnatost u tohoto materiálu byla největší při teplotě 125°C v neozářeném stavu. U PA 7T GF 56 byla zjištěna nejvyšší průměrná hodnota síly dávky ozáření 132 kGy za teploty 23°C. Hodnota vrubové houževnatosti byla nejvyšší u teploty 125°C a ozáření 66 kGy.

Tím, že technologie ionizujícího beta záření umožňuje relativně snadnou úpravu vlastností polymerních materiálů, se řadí mezi nejpoužívanější modifikace. Přesto výsledky provedených testů prokázaly, že použití ionizujícího beta záření není výhodné pro všechny typy polyamidů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MEISSNER, B., ZILVAR, V.: *Fyzika polymerů: struktura a vlastnosti polymerních materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987, 306 s. ISBN 04-634-87.
- [2] MLEZIVA, K., ŠŇUPÁREK, J.: *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepracované vydání, Praha: Sobotáles, 2000, 544 s. ISBN 80-85920-72-7.
- [3] DUCHÁČEK, V.: *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vydání, přeprac. Praha: vydavatelství VŠCHT, 2006, 280 s. ISBN 80-7080-617-6.
- [4] IVANOV, S. V.: *Radiation chemistry of polymers*. Tokyo: VSP, 1992, 320 s. ISBN 90-6764-137-5.
- [5] SOVA, M., KREBS, J.: *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [6] DROBNY, J. G.: *Radiation technology for polymers*. 2. edition. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2010, 307 s. ISBN 978-1-4200-9404-6.
- [7] SVOBODA, E a kol.: *Přehled středoškolské fyziky*. Dotisk 3. vydání, Praha: nakladatelství Prometheus, 1996, 500 s. ISBN 80-7196-116-7.
- [8] FUKÁTKO, T.: *Detekce a měření různých druhů záření*. 1. vydání, Praha: nakladatelství BEN – technická literatura, 2007, 192 s. ISBN 978-80-7300-193-3.
- [9] NAVRÁTIL, L., ROSINA, J. a kol.: *Medicínská biofyzika*. 1. vydání, Praha: Grada Publishing a. s., 2005, 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
- [10] ŠVEC, J.: *Radioaktivita a ionizující záření*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, 2005, 36 s. ISBN 80-86634-62-0.
- [11] HOLÍK, Z.: *Vliv záření na vlastnosti polymerů – Změna vybraných mechanických vlastností v závislosti na absorbované dávce záření*. Zlín: Univerzita Tomáš Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2013, 97 s. Disertační práce, školitel: doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
- [12] TABATA, Y., ITO, Y., TAGAWA, S.: eds. *CRC Handbook of Radiation Chemistry*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1991.
- [13] ČSN EN ISO 527-1: *Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 1: Obecné principy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 28 s.

- [14] STANĚK, Z.: *Modifikace mechanických vlastností konstrukčních polymerů ionizujícím beta zářením*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2015. Diplomová práce, školitel: Ing. Martin Bednařík Ph.D.

Internetové zdroje:

- [15] Kabex: *Zušlechťování izolačních materiálů solárních kabelů – Radiační, nebo silanové síťování?* [online]. [cit. 2017-11-24]. Dostupné z WWW: <http://data.kabex.quonia.cz/Onas/fotovoltaika_ES-4-09.pdf>
- [16] Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.: *Statické zkoušky krátkodobé*. [online]. [cit. 2017-11-22]. Dostupné z WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_09.pdf>
- [17] VEJRAŽKOVÁ, I.: *Plasty pro stavebnictví a architekturu 11 - Polyamidy*. [online]. [cit. 2017-10-22]. Dostupné z WWW: <http://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/materialy/plasty-pro-stavebnictvi-a-architekturu-11-polyamidy_41299.html>
- [18] Sk.wikipedia.org: *Elektromagnetické žiarenie*. [online]. [cit. 2017-10-22]. Dostupné z WWW: <http://sk.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_%C5%BEiarenie>
- [19] World Market: *High increase in consumptions - Polyamides*. [online]. [cit. 2017-10-12]. Dostupné z WWW: <<https://www.kunststoffe.de>>
- [20] BĚHÁLEK, L.: *Polymery*. [on-line]. [cit. 2017-10-12]. Dostupné z WWW: <<https://publi.cz/books/180/09.html>>

Studijní materiály:

- [21] PATA, V.: *Počítačová podpora zpracování dat*. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2013.
- [22] PTS: *Polyamid 66 GF 30 – V-PTS-CREAMID-A3H7.2G6*M0129A schwarz*. Materiálový list, 4 s.
- [23] PTS: *Polyamid 7T GF 56 – V-DURAMID-TH7G12.0SZB*9207*. Materiálový list, 4 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

%	Procento
°C	Stupeň Celsiův
λ	Vlnová délka
Σ	Součet
u_A	Standardní nejistota typu A
V_X	Variační koeficient
x_i	Číslo měření
\bar{x}	Aritmetický průměr
CH ₂	Metylen
cm	Centimetr
Co	Kobalt
CO-NH	Amidová vazba
Cs	Cesium
F	Síla
f	Frekvence
g	Gram
GPa	Gigapascal
Ir	Iridium
IQR	Interkvartilové rozpětí
J	Joule
KCU	Vrubová houževnatost
kGy	Kilogray
kW	Kilowatt
m	Medián
m	Hmotnost
MeV	Megaelektronvolt
mm	Milimetr
MPa	Megapascal
M100	Modul protažení
n	Počet měření
Pa	Pascal
PA	Polyamid

PE	Polyetylen
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid
Q1	První (dolní) kvartil
Q3	Třetí (horní) kvartil
s	Sekunda
s	Směrodatná odchylka
T	Teplota
Tg	Teplota skelného přechodu
TPU	Termoplastický polyuretan

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Rozdělení polyamidů. [2,18]</i>	14
<i>Obr. 2. Spotřeba polyamidu v Evropě. [20]</i>	16
<i>Obr. 3. Schéma vzniku sítě. [1]</i>	24
<i>Obr. 4. Elektromagnetické spektrum záření. [19]</i>	27
<i>Obr. 5. Oblasti využití ionizujícího záření. [15, 16, 17]</i>	31
<i>Obr. 6. ZWICK HP 50 P.....</i>	37
<i>Obr. 7. Elektrická pec Memmert UN 55.</i>	38
<i>Obr. 8. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 66 GF 30.</i>	41
<i>Obr. 9. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku u neozářeného PA 66 GF 30.....</i>	42
<i>Obr. 10. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy.</i>	44
<i>Obr. 11. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy.</i>	45
<i>Obr. 12. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy.</i>	47
<i>Obr. 13. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy.</i>	48
<i>Obr. 14. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 7T GF 56.</i>	50
<i>Obr. 15. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku u neozářeného PA 7T GF 56.</i>	51
<i>Obr. 16. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy.</i>	53
<i>Obr. 17. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy.....</i>	54
<i>Obr. 18. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy.</i>	56
<i>Obr. 19. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy.....</i>	57
<i>Obr. 20. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).</i>	59
<i>Obr. 21. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).</i>	60
<i>Obr. 22. Síla [N] potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).</i>	62
<i>Obr. 23. Vrubová houževnatost [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).</i>	63

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Navlhavost u jednotlivých polyamidů. [2].....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 2. Vybrané polymery a jejich reakce na ionizující záření. [13]</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3. Vybrané vlastnosti PA 66 GF 30. [22]</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 4. Vybrané vlastnosti PA 7T GF 56. [23].....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 5. Vstřikovací parametry pro jednotlivé polyamidy. [22, 23]</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 6. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 66 GF 30 při námi zvolených teplotách.</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 7. Zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 66 GF 30 při námi zvolených teplotách.</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 8. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] neozářeného vzorku PA 66 GF 30 při námi zvolených teplotách.</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 9. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] u neozářeného vzorku PA 66 GF 30 při námi zvolených teplotách.</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 10. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 11. Zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 12. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] u vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 13. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] u vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 14. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 15. Zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 16. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] u vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 17. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 18. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 7T GF 56 při námi zvolených teplotách.</i>	<i>49</i>

Tab. 19. Zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku u neozářeného PA 7T GF 56 při námi zvolených teplotách.	49
Tab. 20. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku u neozářeného PA 7T GF 56 při námi zvolených teplotách.	50
Tab. 21. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] vzorku u neozářeného PA 7T GF 56 při námi zvolených teplotách.	51
Tab. 22. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.	52
Tab. 23. Zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.	52
Tab. 24. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.	53
Tab. 25. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 66 kGy při námi zvolených teplotách.	54
Tab. 26. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.	55
Tab. 27. Zpracované výsledky síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.	55
Tab. 28. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.	56
Tab. 29. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného 132 kGy při námi zvolených teplotách.	57
Tab. 30. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).	58
Tab. 31. Zpracované hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).	58
Tab. 32. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).	59
Tab. 33. Zpracované výsledky vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 66 GF 30 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).	60
Tab. 34. Naměřené hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).	61

<i>Tab. 35. Zpracované hodnoty síly [F], která byla potřebná k přeražení vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 36. Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 37. Zpracované hodnoty vrubové houževnatosti [KCU] vzorku PA 7T GF 56 ozářeného v rozmezí (0 - 132 kGy).</i>	<i>63</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI *MATERIÁLOVÝ LIST PA 66 GF 30*

Příloha PII *MATERIÁLOVÝ LIST PA 7T GF 56*

PŘÍLOHA PI: MATERIÁLOVÝ LIST PA 66 GF 30



PTS-MARKETING

TECHNISCHE INFORMATION

>V-PTS-CREAMID-A3H7.2G6 * M0129A schwarz

PA66 30% GF, hochwärmestab.

30.03.2011

Umseitige Messwerte sind gemessen vor der Strahlenvernetzung

>V-PTS-CREAMID-A3H7.2G6*0129A/20 ist ein hochwärmestabilisiertes, strahlenvernetzbares PA6.6 mit 30% Glasfaserverstärkung (2-Phasenwerkstoff).

Das Basispolymer ist ein spezielles PA6.6 mit funktionellen Gruppen, wodurch der Vernetzungsverstärker (BETALINK) an das Polymer angekoppelt wird. Die Vernetzungswerte (Gel-Werte/Ameisensäure) sind ca. 5% besser als bei Standard PA6.6

Dieser Werkstoff enthält ein spezielles Paket von BETALINK und Antioxidantien, welches für die Strahlenvernetzung entwickelt wurden und für Automobilteile mit hoher Heißluftbelastung (H7.2-Stabilisierung) verwendet wird.

Mit einer Dosis von 100 kGy kann das Formteil in einen vernetzten Zustand umgewandelt werden. Die Chemikalienbeständigkeit wird drastisch verbessert. Das strahlenvernetzte Formteil hat kein thermoplastisches Verhalten mehr.

Gel-Wert in Ameisensäure nach der Bestrahlung mit 100 kGy (BETA) ca. 70-78%.

PTS-Vernetzungstest: T=350°C, Durchmesser 2mm, Last 10N
Ergebnis: kein Eindringen messbar

Brenngeschwindigkeit: 4mm/min (nach 185s und 12mm Flamme von selbst erloschen)

Verarbeitungshinweis:

Schmelztemperatur	: 258 °C	
Verarbeitungstemperatur	: 265 °C - 290 °C	
	Einzug	Düse
Temperaturprofil fallend	: V----->	
ab 2.Zone	280 / 290 / 285 / 280 / 275 / °C +-10°	
Formtemperatur	: 60 °C - 90 °C	
Vortrocknung	: 2h/80°C Trockenluftofen	
max. Granulatfeuchte	: 0,15%	

Lagerbedingungen: max. 1 Jahr kühl und dunkel lagern.

Trocknen von feucht gewordenem Granulat 4-8 h bei 80°C im Trockenluftofen hat keinen Einfluß auf die Vernetzbarkeit.
SOMOS-Trockner mit Kondensatabscheider in der Rückluft haben sich besonders bewährt.

Die PTS-Information stützt sich auf sorgfältige Untersuchungen und darf als zuverlässig gelten. Dennoch soll sie nur unverbindlich beraten.



Plastic Technologie Service
Marketing- & Vertriebs-GmbH
Hautschenmühle 3
D-91587 Adelshofen
Fon +49-(0)9865-821
Fax +49-(0)9865-720
info@pts-marketing.de
www.pts-marketing.de

PTS-MARKETING TECHNISCHE INFORMATION

>V-PTS-CREAMID-A3H7.2G6 * M0129A schwarz
PA66 30% GF, hochwärmestab.

30.03.2011

Eigenschaften		Einheit	Norm	Werte
PHYSIKALISCH				
Dichte		g/cm ³	ISO 1183	1,37
Verarbeitungsschwindung (Platte 61*61*2) [l/q]		%	ISO 294-4	0,3/0,5
Wasseraufnahme (24 h)		%	ISO 62	0,6
Wasseraufnahme (Sättigung)		%	ISO 62	5,0
MECHANISCH				
Izod-Kerbschlagzähigkeit	+23/-30°C	kJ/m ²	ISO 180/A	8
Charpy-Kerbschlagzähigkeit	+23/-30°C	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	8
Charpy-Schlagzähigkeit	+23/-30°C	kJ/m ²	ISO 179-1/1eU	56
Streckspannung (50mm/min)		MPa	ISO 527-1/-2	170
Zug-Modul (1mm/min)		MPa	ISO 527-1/-2	10000
Reißdehnung		%	ISO 527-1/-2	2
Biegefestigkeit		MPa	ISO 178	260
Biege-Modul +23 °C		MPa	ISO 178	8500
Biege-Modul +90 °C		MPa	ISO 178	5500
THERMISCH				
Vicat-Erweichungstemperatur (VST)	50°C/h 9,8 N	°C	ISO 306	255
Vicat-Erweichungstemperatur (VST)	50°C/h 49 N	°C	ISO 306	
Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT)	0,45 MPa	°C	ISO 75-1/-2	245
Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT)	1,81 MPa	°C	ISO 75-1/-2	
Kugeldruckprüfung	125 °C		DIN EN 60695-10-2	i.O.
Kugeldruckprüfung	165 °C		DIN EN 60695-10-2	i.O.
Alterungstemp.	nach 20 000 h	°C	IEC 60216	
ELEKTRISCH				
Kriechstromfestigkeit	Lösung A/B	V	IEC 60112	
Durchschlagfestigkeit	(2 mm)	kV/mm	ASTM D149	
BRANDVERHALTEN				
UL94	(0,8/1,6/3,2)mm	Klasse	UL 94	
Glühdrahtprüfung 2mm	(550/650/750/850/960 °C)		DIN EN 60695-2-13	
Sauerstoffindex LOI		%	ISO 4589	

Werte: trocken: Probekörper "as molded" versiegelt 24h, 23°C

Werte(): kond.: ISO 291 / ISO 1110 oder: bei V-PTS-CREAMID/CREAMON vor der Strahlenvernetzung

Druckdatum: 26.03.2012

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST PA 7T GF 56



PTS-MARKETING

TECHNISCHE INFORMATION

>V-DURAMID-TH7G12.0SZB * 9207 e-schwarz
PA-teilarom.,GF56%, HI,aest, UV

25.08.2011

Strahlenvernetzbares V-DURAMID-TH7G12.0S*9207

Umseitige Werte strahlenvernetzt.

Dieser Hochleistungsthermoplast mit 56 % Glasfaser ist ein teil-aromatisches Spezialpolyamid mit sehr geringem Verzug, hoher Schlag- und Kerbschlagzähigkeit, hervorragender Oberfläche und Ultraflow - Eigenschaften.

Der Werkstoff ist uv-stabilisiert und strahlenvernetzbar eingestellt.

Dosis: 66kGy, Gel-Wert (Ameisensäure)= ca. 70 %

Verarbeitungshinweise:

Schmelztemperatur : 270°C (nach Vernetzung: nicht schmelzbar)

Verarbeitungshinweis:

Verarbeitungstemperatur : V----->
1.Heizzone Düse
290° 285° 280° 275°
Temperaturprofil fallend

Verarbeitungstemperatur: 280°C - 300°C

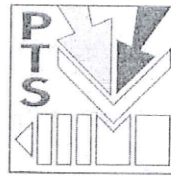
Werkzeugtemperatur : 80°C - 120°C

Vortrocknung:

Das in feuchtigkeitsdichten Mehrschichtpapiersäcken mit Aluminium Einlage angelieferte Granulat kann ohne besondere Vorbehandlung verarbeitet werden.

Offene Gebinde oder feucht gewordenes Material bitte vortrocknen im Trockenlufttrockner bei 80°C / 2-5h.

Maximaler Feuchtigkeitsgehalt bei der Verarbeitung: 0,12%



Plastic Technologie Service
Marketing- & Vertriebs-GmbH
Hautschennstraße 3
D-91587 Adelshofen
Fon +49-(0)9865-821
Fax +49-(0)9865-720
info@pts-marketing.de
www.pts-marketing.de

PTS-MARKETING

TECHNISCHE INFORMATION

>V-DURAMID-TH7G12.0SZB * 9207 e-schwarz PA-teillarom., GF56%, HI,aest, UV

25.08.2011

Eigenschaften		Einheit	Norm	Werte
PHYSIKALISCH				
Dichte		g/cm ³	ISO 1183	1,63
Verarbeitungsschwindigkeit (Platte 61*61*2) [l/q]		%	ISO 294-4	0,3/0,45
Wasseraufnahme (24 h)		%	ISO 62	0,3
Wasseraufnahme (Sättigung)		%	ISO 62	2,2
MECHANISCH				
Izod-Kerbschlagzähigkeit	+23/-30°C	kJ/m ²	ISO 180/A	23
Charpy-Kerbschlagzähigkeit	+23/-30°C	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA	25
Charpy-Schlagzähigkeit	+23/-30°C	kJ/m ²	ISO 179-1/1eU	85
Streckspannung (50mm/min)		MPa	ISO 527-1/-2	
Zug-Modul (1mm/min)		MPa	ISO 527-1/-2	19000
Reißdehnung		%	ISO 527-1/-2	2,2
Biegefestigkeit		MPa	ISO 178	290
Biege-Modul +23 °C		MPa	ISO 178	14000
Biege-Modul +80 °C		MPa	ISO 178	
THERMISCH				
Vicat-Erweichungstemperatur (VST)	50°C/h 9,8 N	°C	ISO 306	254
Vicat-Erweichungstemperatur (VST)	50°C/h 49 N	°C	ISO 306	229
Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT)	0,45 MPa	°C	ISO 75-1/-2	249
Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT)	1,81 MPa	°C	ISO 75-1/-2	230
Kugeldruckprüfung	125 °C		DIN EN 60695-10-2	
Kugeldruckprüfung	165 °C		DIN EN 60695-10-2	
Alterungstemp.	nach 20 000 h	°C	IEC 60216	
ELEKTRISCH				
Kriechstromfestigkeit	Lösung A/B	V	IEC 60112	
Durchschlagfestigkeit	(2 mm)	kV/mm	ASTM D149	
BRANDVERHALTEN				
UL 94	(0,8/1,6/3,2)mm	Klasse	UL 94	HB/HB/HB
Gluhdrahtprüfung 2mm	(550/650/750/850/960 °C)		DIN EN 60695-2-13	
Sauerstoffindex LOI		%	ISO 4589	

Werte: trocken: Probekörper "as molded" versiegelt 24h, 23°C

Werte(): kond.: ISO 291 / ISO 1110 oder: bei V-PTS-CREAMID/CREAMON vor der Strahlenvernetzung

Druckdatum: 08.03.2013

Die PTS-Information stützt sich auf sorgfältige Untersuchungen und darf als zuverlässig gelten. Dennoch soll sie nur unverbindlich beraten.