

Vliv množství síťovacího činidla na vlastnosti ozařovaného PA

Lucie Schindlerová

Bakalářská práce
2008/2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lucie SCHINDLEROVÁ**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vliv množství sířovacího činidla na vlastnosti ozářeného PA**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerži na dané téma
2. Připravte zkušební tělíska vstřikováním
3. Provedte ozáření zkušebních tělísek
4. Provedte mechanické zkoušky
5. Vyhodnoťte naměřené výsledky zkoušek

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] **MAYER-KUCKUK, T.:** Fyzika atomového jádra, Praha: STNL, 1979

[2] **HORÁK, Z. — KRUPKA, F.:** Fyzika svazek 2, Praha: STNL, 1976

[3] **RYBNÍKÁŘ, F.:** Analýza a zkoumání plastických hmot, Praha: SNTL, 1965

[4] **RYBNÍKÁŘ, F.:** Makromolekulární chemie I, Brno: VUT, 1988, skripta

[5] **DROBNÝ, J. G.:** Radiation Technology for Polymers, Boca Raton: CRC Press, 2003

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Holík

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

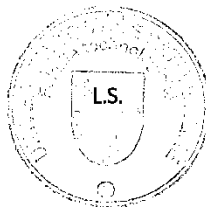
20. února 2009

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2009

Ve Zlíně dne 16. února 2009

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá studiem vlivu množství síťovacího činidla na vlastnosti ozářeného polyamidu 6.

V teoretické části práce se seznámíme se základním rozdělením plastů, jejich vlastnostmi a výrobou a také s radiačním síťováním a základním zkoušením materiálů.

Praktická část bakalářské práce popisuje použité materiály, stroje pro výrobu zkušebních tělísek, měřicí zařízení a vlastní měření. Praktická část dále vyhodnocuje vliv množství síťovacího činidla na mechanické vlastnosti (modul pružnosti a mez pevnosti v tahu) neozářených a ozářených zkušebních tělísek z polyamidu při různých teplotách.

Klíčová slova:

polyamid, ionizační záření, měření mechanických vlastností, radiační síťování, síťovací činidlo

ABSTRACT

The bachelor thesis concentrates on a study of the influence of quantities of cross-linking agent on the mechanical properties of irradiated polyamide 6. The thesis is divided into two parts.

The theoretical part deals with the division, properties and production of plastics and also with the irradiation cross-linking and material tests.

The practical part describes the materials, injection of specimens and the tests themselves. The practical part evaluates of the influence of cross-linking agent on mechanical properties (E-modulus, tensile strength) of irradiated and non-irradiated test specimens of polyamide at different temperatures.

Keywords:

Polyamide, ionizing radiation, mechanic properties measurement, irradiation cross-linking, cross-linking agent

Chtěla bych poděkovat především vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Zdeňkovi Holíkovi za pomoc a cenné rady při psaní mé bakalářské práce, za jeho vstřícnost a odborné vedení v experimentální části této práce.

Také bych chtěla poděkovat Ing. Michalovi Daňkovi za připomínky a poskytnutí studijních materiálů. Dále mé poděkování patří firmě Obzor za zhotovení zkušebních tělísek a firmě BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG za provedení ozáření zkušebních tělísek.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uvedena jako spoluautorka.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně, 28. 05. 2009

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 POLYMERY	10
1.1 PLASTY.....	10
1.2 DĚLENÍ PLASTŮ	10
1.2.1 Dělení z hlediska původu	10
1.2.2 Dělení z hlediska výroby	11
1.2.3 Dělení z hlediska nadmolekulární struktury.....	11
1.2.4 Dělení z hlediska molekulární struktury	12
1.2.5 Dělení z hlediska složení a teplotního chování	13
1.2.6 Dělení z hlediska aplikací	13
1.2.7 Dělení z hlediska polaritý.....	14
1.2.8 Dělení z hlediska chemického složení	14
1.2.9 Dělení z hlediska druhu přísad	15
1.3 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY VÝROBY POLYMERŮ	16
1.3.1 Polymerace	16
1.3.2 Polykondenzace.....	18
1.3.3 Polyadice	18
2 MODIFIKACE POLYMERŮ	19
2.1 FYZIKÁLNÍ MODIFIKACE.....	19
2.2 MECHANICKO-CHEMICKÉ MODIFIKACE	19
2.3 CHEMICKÁ MODIFIKACE.....	19
2.3.1 Polymeranalogické přeměny	20
2.3.2 Síťování polymerů.....	20
3 IONIZAČNÍ ZÁŘENÍ	21
3.1 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ.....	21
3.1.1 Záření gama.....	22
3.2 KORPUSKULÁRNÍ ZÁŘENÍ	22
3.2.1 Záření beta.....	23
3.3 DRUHY ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	23
3.4 SÍŤOVÁNÍ POMOCÍ IONIZAČNÍHO ZÁŘENÍ	24
3.4.1 Síťování pomocí beta záření.....	25
3.4.2 Síťování pomocí gama záření.....	26
3.4.3 Vliv záření na vlastnosti polymerů.....	27
3.4.4 Polymery vhodné k ozařování.....	28
3.4.5 Další využití radiačního záření.....	29
4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY PLASTŮ	30
4.1 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	30
4.2 ZKOUŠKY STATICKÉ KRÁTKODOBÉ.....	30
4.2.1 Tahová zkouška	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	35

6	POUŽITÉ MATERIÁLY	36
6.1	POLYAMID.....	36
7	POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ	39
7.1	TRHACÍ STROJ ZWICK ROELL 1456	39
7.2	VSTŘIKOVACÍ STROJ ENGEL E-MAX 310/100	40
8	VÝROBA A OZAŘOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK.....	43
8.1	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK	43
8.2	OZAŘOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK (SÍŤOVÁNÍ).....	43
8.2.1	Stupeň zesíťování	44
8.2.2	Měrné jednotky techniky ozařování	46
9	ZKOUŽKA TAHEM	47
9.1	STATISTICKÉ VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	48
9.2	ZKOUŠKA TAHEM PŘI POKOJOVÉ TEPLOTĚ $T = 23^{\circ}\text{C}$	49
9.3	ZKOUŠKA TAHEM PŘI POKOJOVÉ TEPLOTĚ 23°C (NEOZÁŘENÉ TĚLÍSKA)	51
9.4	ZKOUŠKA TAHEM PŘI ZVÝŠENÉ TEPLOTĚ $T = 100^{\circ}\text{C}$	53
10	DISKUZE VÝSLEDKŮ TAHOVÉ ZKOUŠKY	55
10.1	DISKUZE VÝSLEDKŮ TAHOVÉ ZKOUŠKY PRO ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA OZÁŘENÁ DÁVKOU 132KGY PŘI 23°C	55
10.2	DISKUZE VÝSLEDKŮ TAHOVÉ ZKOUŠKY PRO NEOZÁŘENÁ ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA PŘI 23°C	57
10.3	DISKUZE VÝSLEDKŮ TAHOVÉ ZKOUŠKY PRO ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA OZÁŘENÁ DÁVKOU 132KGY PŘI 100°C	59
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Lidé mají stále větší nároky a neustále chvátají vpřed. To si vyžaduje tvorbu nových vynálezů a výrobků a to hlavně z nových a kvalitnějších materiálů. Mezi tyto materiály se v poslední době stále více dostávají polymery.

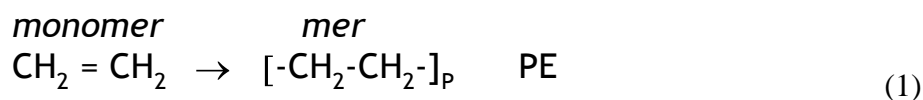
Polymery se používají v mnoha odvětvích lidské činnosti a to ve strojírenském průmyslu- konstrukční prvky, vojenském průmyslu- ochranné pomůcky, potravinářském průmyslu- obaly, textilním průmyslu- vlákna, automobilovém průmyslu a také v lékařství. Je tomu tak proto, že u těchto materiálů lze dosáhnout velmi dobrých mnohdy i lepších mechanických, chemických a tepelných vlastností než u doposud používaných materiálů jako jsou kovy, přírodní textilie, dřevo ap. Další jejich výhodou je snadná zpracovatelnost. Dají se zhotovit různými způsoby jako např. vstřikováním, vytlačováním, válcováním, lisováním, odléváním, máčením atd. Velkou roli také hraje cenová dostupnost a rozvoj technologií, kterými lze zlepšovat jejich vlastnosti a tím i rozšiřovat oblast jejich použití.

Se zlepšováním vlastností můžeme začít už při přípravném zpracování, kdy se mohou do plastů přidávat různé přísady, plniva nebo se z nich odstraňuje voda a podobné nežádoucí látky. Dochází tak k ovlivňování jejich chemické a fyzikální struktury. V posledních letech mezi technologie zlepšování vlastností patří zejména ozářování ionizačním zářením. Touto metodou lze u cenově dostupnějších materiálů dosáhnout vlastností, které vykazují materiály dražší.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERY

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



1.1 Plasty

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

1.2 Dělení plastů

Plasty se dělí z mnoha hledisek.

1.2.1 Dělení z hlediska původu

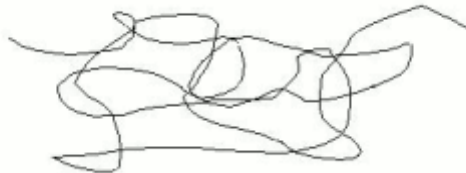
- Přírodní – jsou na bázi celulózy, latexu, kaseinu atd.
- Syntetické – získávají se chemickou výrobou

1.2.2 Dělení z hlediska výroby

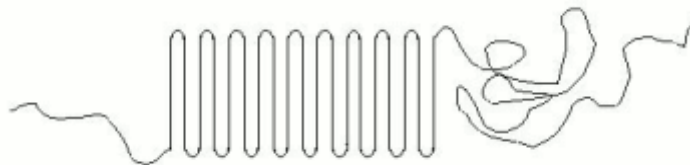
- Polymerizáty – polymery vyrobené polymerací, patří sem např. PE, PP, PS
- Polykondenzáty – polymery vyrobené pomocí polykondenzace, patří sem např. PA66
- Polyadukty - polymery vyrobené polyadicí, patří sem např. EP, UP

1.2.3 Dělení z hlediska nadmolekulární struktury

- Amorfní – za tohoto stavu jsou makromolekuly nahodile uspořádány (viz. Obr. 1) Hlavními vlastnostmi je pevnost, tvrdost, křehkost a jsou průhledné díky nízkému indexu lomu.
- Krystalické – jinak se jim říká semikrystalické a to proto, že nikdy nedosáhnou 100% krystality. Makromolekuly jsou jen částečně pravidelně uspořádány ze 40 – 90% (viz. Obr. 2). Tento stav se značí pomocí stupně krystality. Stupeň krystality je podíl uspořádaných makromolekul, které se nachází mezi amorfní strukturou. Vyznačují se houževnatostí a pevností. Jejich modul pružnosti roste se stupněm krystality. Jsou mléčně zakaleny.



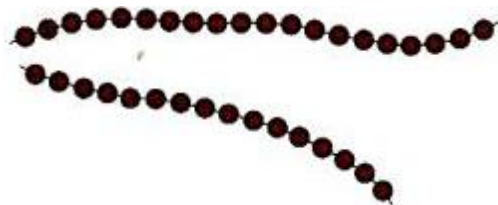
Obr. 1 Amorfní struktura



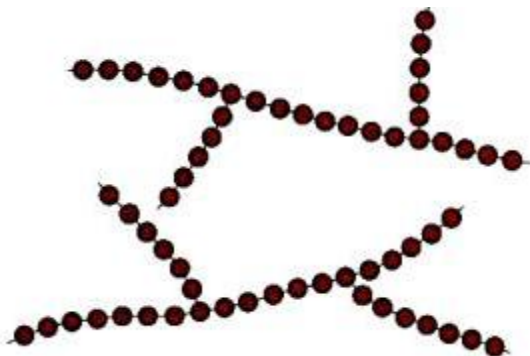
Obr. 2 Semikrystalická struktura

1.2.4 Dělení z hlediska molekulární struktury

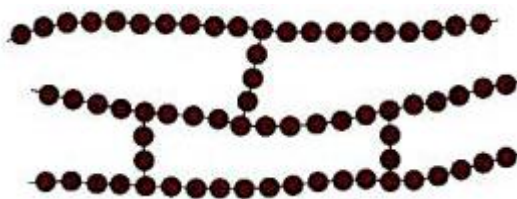
- Lineární – molekuly v řetězci jsou uspořádány lineárně, tzn. vedle sebe (viz obr. 3). Lépe vytvářejí pravidelné prostorové shluky krystalické struktury, proto mají větší krystalický podíl. Dobře se zpracovávají, jsou rozpustné, tavitelné a houževnaté.
- Rozvětvené – ze základního řetězce vycházejí boční větve (viz. Obr. 4). Mají nižší hustotu než lineární polymer, protože se nedokáží k sobě dostatečně přiblížit v důsledku právě bočního větvení. A díky tomu také špatně krystalizují. Vyznačují se špatnými mechanickými vlastnostmi následkem poklesu mezimolekulárních sil. V roztaveném stavu špatně tečou.
- Zesíťované – u těchto polymerů si makromolekuly můžeme představit, jako prostorovou síť makromolekulární řetězce jsou spojeny mezi sebou vazbami (viz. Obr. 5). Takto zesíťovaný polymer nelze tavit. Jsou vysoce tvrdé, tuhé a odolné proti působení vysokých teplot. Špatně odolávají rázovému zatížení.



Obr. 3 Lineární polymery



Obr. 4 Rozvětvené polymery



Obr. 5 Zesíťované polymery

1.2.5 Dělení z hlediska složení a teplotního chování

- Termoplasty – jsou to polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu. Jdou snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (u semikrystalických polymerů) nebo teplotu viskózního toku T_f (amorfní polymery). Tento proces zahřívání a ochlazování se může neomezeně dokola opakovat, protože při zahřátí nedochází ke změnám v chemické struktuře. Patří sem PA, PVC, PS, PP, PE.
- Reaktoplasty – také to jsou polymerní materiály, které při zahřívání měknou a jdou tvářet, ale na rozdíl od termoplastů jen po určitou dobu. Při jejich dalším zahřívání nastane chemická reakce. Dojde k prostorovému zesíťování tzv. vytvrzení. Tento děj nelze vrátit a reaktoplasty nemůžeme tavit ani rozpouštět. Tzn., že není možné opětovné opakování zahřívacího procesu. Nelze je recyklovat. Kdybychom je vystavili dalším tepelným účinkům, nastala by jejich degradace. Patří sem UF, EP a polyesterové hmoty.
- Elastomery – polymerní materiály, které rovněž po začátečním zahřívání začínají měknout a jdou tvářet, ale také jen po omezenou dobu. Při dalším zahřívání dojde k chemické reakci. Dojde k prostorovému zesíťování. U elastomerů se jedná o vulkanizaci. Výjimkou jsou elastomery, jejichž složení je na bázi termoplastů. Probíhá zde jen fyzikální děj.

1.2.6 Dělení z hlediska aplikací

- Standardní použití – jsou součástí běžného života, např. fólie, PVC podlahy atd. Mezi ně patří polyolefiny jako polyetylén, polypropylén (PE, PP), polystyrénové hmoty (PS), polyvinylchlorid (PVC), fenoformaldehydové a močovinoformaldehydové hmoty (PF, UF) aj.

- Konstrukční plasty – využívají se u namáhavějších součástí např. ozubená kola z polyamidu (PA), ve stavebnictví jako tyče a profily z polyoximetylenu (POM), polymethylmetakrylát (PMMA) aj.
- High-tech plasty – jsou to plasty, které odolávají vysokým teplotám, chemickým vlivům a velkému namáhání. Používají se převážně v letectví, kosmickém, v chemickém a také v automobilovém průmyslu. Patří sem např. polybenzenimid (PBI), polyetherimid (PEI), polysulfon (PSU), polyfenylénsulfid (PPS), tetrafluoretylén (PTFE), polyimidy (PI).

1.2.7 Dělení z hlediska polarity

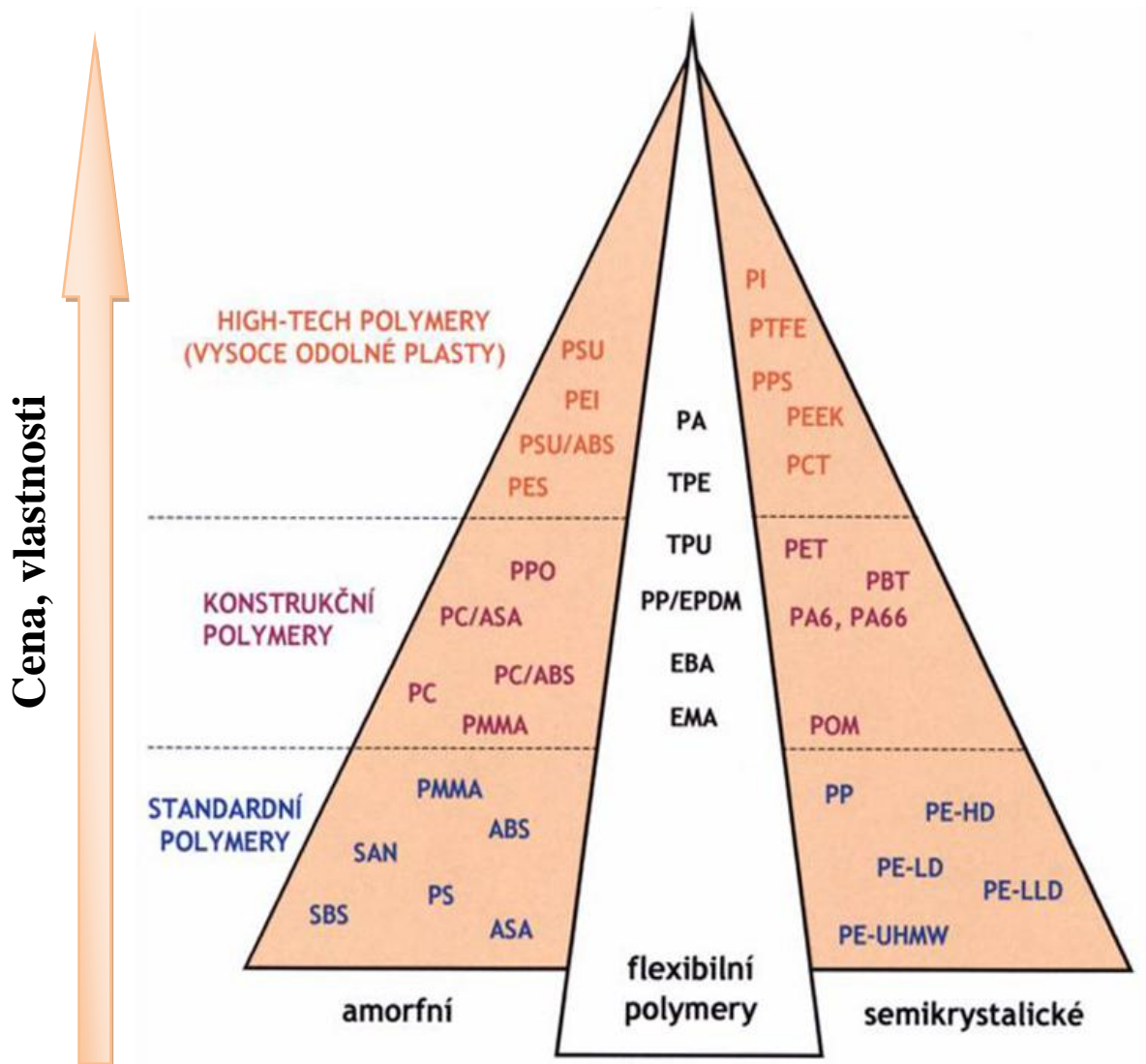
- Polární – mají trvalý dipól a mezi polární plasty patří PA, některé pryskyřice, apod.
- Nepochární – nemají trvalý dipól a patří sem PE, PP, PS, apod.

1.2.8 Dělení z hlediska chemického složení

- polyolefiny
- polystyrény
- chlorplasty
- fluoroplasty
- polyestery
- akryláty
- vinilové polymery
- polyamidy
- polyuretany
- silikony
- deriváty celulózy

1.2.9 Dělení z hlediska druhu přísad

- Neplněné plasty – množství přísad nijak neovlivňuje jeho vlastnosti
- Plněné plasty – přísady ovlivňují vlastnosti fyzikální a mechanické. Přísadou mohou být barviva, změkčovadla, stabilizátory, maziva, iniciátory, nadouvadla, tvrdidla, retardéry hoření apod. [2]



Obr. 6 Rozdělení polymerů dle jejich aplikace a nadmolekulární struktury

1.3 Základní způsoby výroby polymerů

Mezi chemické reakce, při nichž vznikají polymery, patří:

- Polymerace
- Polyadice
- Polykondenzace

1.3.1 Polymerace

Chemická řetězová reakce velkého počtu molekul monomeru, při níž dochází ke spojování těchto molekul monomerů v dlouhé makromolekulární řetězce. V této chemické reakci nedochází ke vzniku vedlejších produktů a polymer má stejné složení jako výchozí monomer. Polymerace má 3 stádia:

- Iniclace
- Propagace
- Terminace

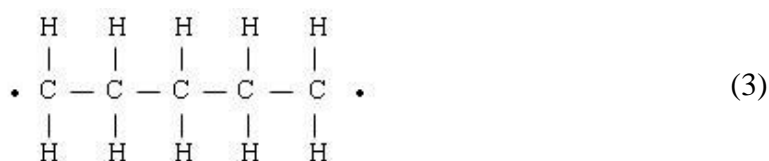
Iniclace

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



Propagace

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



Terminace

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

**Bloková polymerace**

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

Roztoková polymerace

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

Emulzní polymerace

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

Suspenzní polymerace

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

1.3.2 Polykondenzace

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

1.3.3 Polyadice

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

2 MODIFIKACE POLYMERŮ

Jedná se o záměrnou přeměnu polymeru za účelem vzniku nového polymeru, který má jiné vlastnosti.

Používané modifikace jsou:

- Fyzikální modifikace
- Mechanicko-chemické modifikace
- Chemické modifikace

2.1 Fyzikální modifikace

Vzniká mechanickým smícháním dvou nebo více polymerů.

2.2 Mechanicko-chemické modifikace

Mechanickou cestou (např. hnětením, mícháním) vznikají reaktivní úseky polymerních řetězců, které se buď propojí, nebo zreagují s přítomným monomerem, který je schopný polymerace.

2.3 Chemická modifikace

Chemická struktura polymeru se mění působením účinných chemických látek nebo reakčního prostředí.

Dělí se na:

- Polymeranalogické přeměny
- Síťování

2.3.1 Polymeranalogické přeměny

Jsou to reakce, které probíhají za zachování střední molekulové hmotnosti polymeru. Provádí se zejména u látek se stabilním hlavním řetězcem.

2.3.2 Síťování polymerů

Pod tímto pojmem si můžeme představit reakci nízko- nebo vysokomolekulárních látek neboli vzájemné spojování řetězců polymeru. Při tom vzniká trojrozměrná struktura tzv. prostorová síť- neboli gel. Protože makromolekulární řetězce jsou ohromně dlouhé, stačí přidat jen velmi malé množství síťovacího činidla, aby molekulová hmotnost polymeru vrostla. Takto zesíťovaný polymer je netavitelný, nerozpustný (v rozpouštědle pouze bobtnají) a ztrácí termoplasticitu. Naopak získávají tvarovou stálost za zvýšených teplot a mají vyšší odolnost vůči chemikáliím. Velkou roli hraje také hustota zesíťování. Čím je tato hustota větší, tím obtížněji do něj pronikají nízkomolekulární látky. K zesíťování dochází různými způsoby:

- Polykondenzací nebo polyadící tří a více funkčních monomerů
- Kopolymerací monomerů, z nichž má alespoň jeden vyšší funkčnost než 2
- Zabudováním příčných vazeb mezi lineární nebo rozvětvené makromolekulární řetězce
- Vzájemnou reakcí makromolekulárních řetězců s vhodnými reaktivními skupinami
- Pomocí ionizačního záření [3]

3 IONIZAČNÍ ZÁŘENÍ

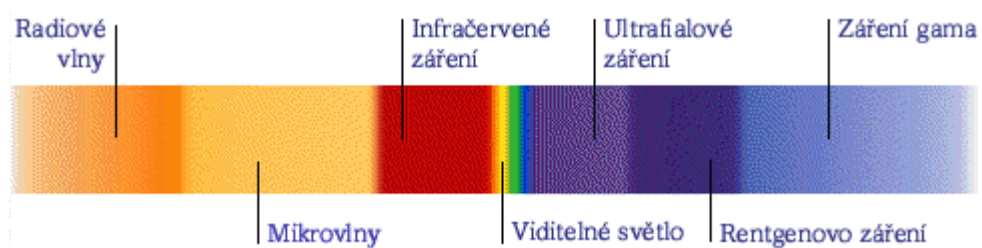
Pod tímto pojmem je třeba chápat různé formy šíření energie prostorem a to i vakuem a látkovém prostředí. Ionizační záření způsobuje ionizaci látky, kterou prochází a to přímo nebo prostřednictvím sekundárního záření. Ionizace molekul je nejčastějším jevem provázejícím pohlcení záření hmotou. K vytvoření jednoho páru iontů průměrně potřebujeme 35 eV. Při průchodu hmotou ztrácí ionizační záření svoji energii. Stejně množství energie přejde na vybuzení neutrální molekuly.

Dělí se na:

- Elektromagnetické
- Korpuskulární

3.1 Elektromagnetické záření

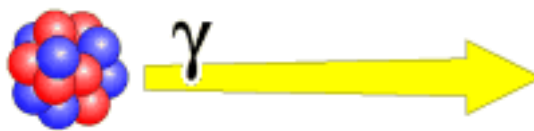
Elektromagnetické záření je ve formě vlnění, kam patří především světelné záření ve všech formách, tzn. v závislosti na jim odpovídajícím vlnovým délkám. Mezi toto záření patří záření gama γ , rentgenové záření, optické záření, sluneční záření, relikvinní (zbytkové) záření, brzdové záření, Červenkové záření, luminiscenční záření (vyzařování látky) a rádiové vlny.



Obr. 7 Spektra elektromagnetického záření

3.1.1 Záření gama

Záření gama patří k zvláštním druhům záření, lze na něj nahlížet z hlediska vlnového, ale i korpuskulárního. Je to elektromagnetické záření obvykle jaderného původu. Vzniká při radioaktivním rozpadu řady radionuklidů, často současně se zářením alfa a beta. Při průchodu prostředím uvolňuje elektricky nabitě částice, a aby byly schopny ionizovat, dodává jim potřebnou energii. Dosah gama záření je ve vzduchu několik set metrů a v kompaktních materiálech jako je např. zemina, beton, hornina, je tento dosah jen několik centimetrů.



Obr. 8 Gama záření [8]

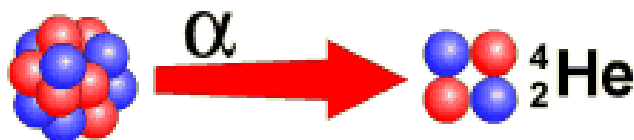
3.2 Korpuskulární záření

Jedná se o přenos energie pomocí uspořádaného pohybu částic, vystupujících ze zdroje záření a letících velkou rychlostí. Patří sem záření beta β (proud rychle letících elektronů viz Obr. 10), záření alfa α (proud héliových jader viz Obr. 9), záření fotonů, vznikajících při radioaktivním rozpadu.

Podle hmotnosti se dělí na korpuskulární záření lehké a těžké.

Lehké korpuskulární záření je představováno elektrony β^- a pozitrony β^+ . Zdrojem pozitronů je především kosmické záření.

Mezi těžké korpuskulární záření patří záření neutrony, protony, deuterony, popřípadě atomová jádra.



Obr. 9 Korpuskulární záření alfa [8]

3.2.1 Záření beta

Záření beta je tvořeno rychlými elektrony. Vzniká při přeměně mnoha přírodních i umělých radionuklidů. Částice beta jsou v porovnání s částicemi alfa mnohem lehčí, a proto se pohybují při stejné energii rychleji. Při průchodu prostředím daleko méně ionizují. S tím souvisí i výrazně větší dosah záření beta. Ve vzduchu to činí až několik metrů, ve vodě nebo tkáni jednotky až desítky milimetrů a u těžších materiálů desetiny až jednotky milimetrů.



Obr. 10 Záření beta [8]

3.3 Druhy zdrojů ionizujícího záření

Zdrojem ionizujícího záření jsou přirozeně radioaktivní látky, uměle vyrobené radionuklidy a speciální zařízení jako rentgenky, urychlovače nabitých částic, jaderné reaktory apod.

Radioaktivní zářiče lze dělit do tří skupin:

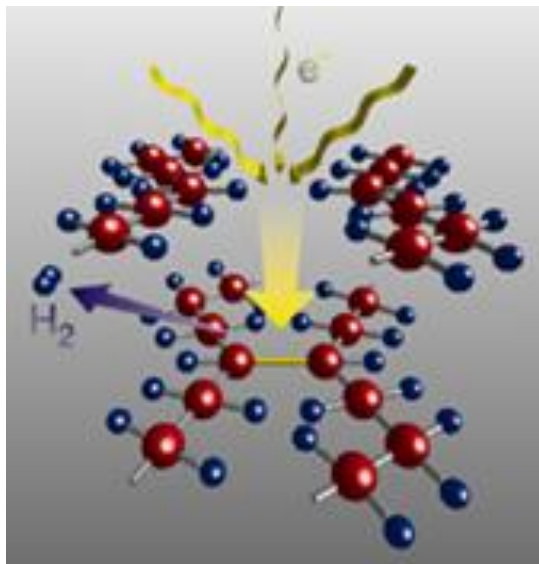
- Uzavřené radioaktivní zářiče
- Otevřené radionuklidy
- Radioaktivní aerosole [5]

3.4 Síťování pomocí ionizačního záření

Při ozařování dochází ke spojení chemickou reakcí navzájem reagujících volných radikálů, které se uvolňují, když materiál absorbuje energii ze záření (viz Obr. 11).

U některých plastů dochází k zesíťování právě pomocí ozařování, ale může taky dojít k jejich degradaci. Radiační síťování probíhá za pokojových teplot bez použití jakýchkoliv dalších přísad kromě síťovacího činidla. Pokud bychom jej u některých polymerů nepřidali, polymer by nezasíťoval, ale došlo by k jeho degradaci a tím i ke ztrátě jeho tepelných a mechanických vlastností. Výhodou je, že se k ozařování přistupuje až po zpracovatelských procesech, tzn., že se ozařují už hotové výrobky. Ty se nemusejí nijak zvlášť připravovat, ale ozařují se zabalené, tak jak přijdou od zákazníka. Další předností tohoto způsobu síťování je tzv. změna variace ozařovaných parametrů tzn., že lze měnit stupeň zesíťování a tím měnit vlastnosti materiálu. Také lze měnit stupeň zesíťování pomocí stínících přípravků. Lze tak v různých částech výrobků dosáhnout rozdílných vlastností.

Radiačním síťováním jsou měněny a zlepšovány vlastnosti a to hlavně tažnost a pružnost při dlouhém tepelném a mechanickém zatížení. U termoplastů dojde k tomu, že za určitých teplot mají vlastnosti elastomerů. To se projevuje hlavně nad teplotou tání a tím může termoplast odolávat vyšším teplotám než běžný neozářený termoplastický díl. [4]



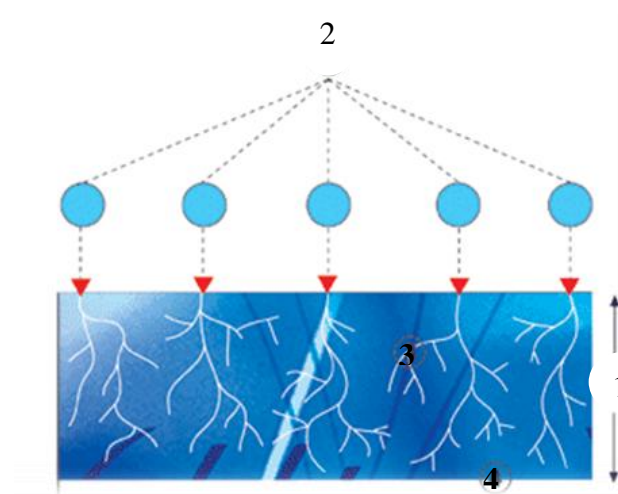
Obr. 11 Radiační zesíťování[4]

3.4.1 Sítování pomocí beta záření

Toto sítování probíhá v zařízeních s urychlovači elektronů. Základní princip elektronového urychlovače je srovnatelný s Braunovou elektronkou nebo rentgenkou. Žhavicí katoda emituje elektrony, které jsou urychlovány v elektromagnetickém poli. Rychlost elektronů je pak závislá na střídavém napětí mezi žhavicí katodou a anodou.

Pracuje se zde s vysokými intenzitami dávek ozáření, ale s omezenou hloubkou vniknutí závislou na energii (viz. Obr. 12). Užitečná hloubka vniknutí je nastavitelná volbou energie elektronů. Také se využívá ozáření ze dvou stran, které je hospodárnější.

Elektronové beta záření se používá pro sítování většiny polymerních materiálů, protože potřebují vysoké dávky záření, které jsou v urychlovačích elektronů dodány během několika sekund.



1 hloubka vniknutí elektronů, 2 primární elektrony

3 sekundární elektrony, 4 ozářený materiál

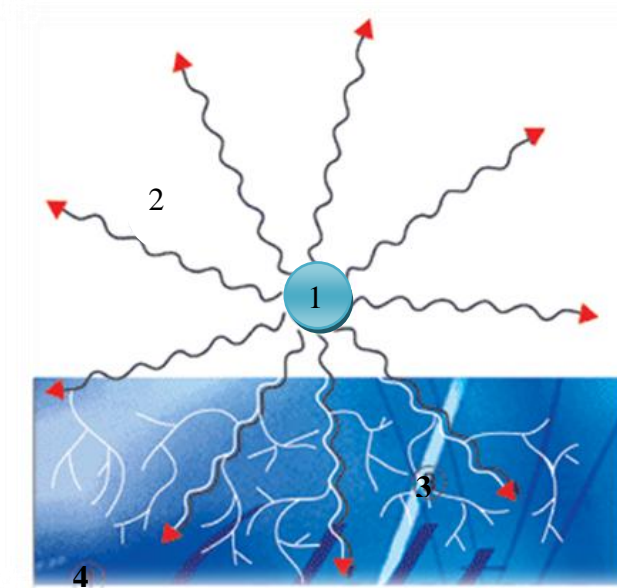
Obr. 12 Průnik beta záření [4]

3.4.2 Sít'ování pomocí gama záření

Záření gama má vysokou schopnost průniku už při nízké intenzitě záření. Výkon dávky ozáření je závislý na instalované celkové aktivitě zdroje záření. Jako zdroj záření se u průmyslových zařízení se zářením gama používá radionuklid kobaltu (Co^{60}), který emituje záření gama se střední energií cca 1,3 MeV a vysokou hloubkou průniku. Celkové dávky ozáření se dosahuje opakovaným objížděním palet kolem zdroje záření. Doba ozařování činí v závislosti na požadované dávce až několik hodin.

U gama záření nelze samostatný zdroj tohoto záření vypnout. Proto jsou zdroje Co^{60} ponořeny do vodní nádrže. Sloupec vody nad zdrojem záření dokonale plní funkci clony.

Gama záření se používá pro sít'ování složitých objemových tvarových dílů, ale hlavní oblastí použití je v současnosti radiační sterilizace.



1 zapouzdřený zdroj záření Co^{60} , 2 γ - kvanta

3 sekundární elektrony, 4 ozářený materiál

Obr. 13 Průnik gama záření [4]

3.4.3 Vliv záření na vlastnosti polymerů

Vlivem radiačního síťování dochází ke změně mnoha vlastností plastů:

Mechanické vlastnosti:

- nárůst Youngova modulu pružnosti
- zvýšení pevnosti
- snížení poměrného prodloužení při přetržení
- redukcí studeného toku
- zlepšení meze únavy (při střídavém ohybu)
- zvýšení pevnosti studených spojů
- nárůst tvrdosti
- zlepšení ošetrivzdornosti
- zlepšení chování při dlouhodobém zatížení vnitřním tlakem

Tepelné vlastnosti:

- zlepšení tvarové stálosti za tepla
- cílené nastavení teplotní roztažnosti
- zlepšení trvalé deformace při zatížení tlakem (tahem)
- vyšší odolnost proti stárnutí
- zvýšení tepelné odolnosti
- zvýšení odolnosti proti působení žhavým drátem

Chemické vlastnosti:

- snížení rozpustnosti
- zlepšení odolnosti proti bobtnání
- zvýšení odolnosti proti trhlinám způsobeným pnutím
- zlepšení odolnosti proti hydrolýze
- zvýšená olejuvzdornost [4]

3.4.4 Polymery vhodné k ozařování

Polymery vhodné k ozařování jsou uvedeny v následující tabulce.

	Termoplasty	Elastomery
Polyolefiny	CSM chlorosulfonovaný polyetylen	ACM polyakrylátový kaučuk
	EPDM etylenpropylendienový kaučuk	BR polybutadienový kaučuk
	EEA kopolymer etylenu s akrylátem	CR chloropren
	EPM etylenpropylenový kaučuk	CSM chlorosulfonovaný polyetylen
	EVA kopolymer etylenu s vinylacetátem	FPM fluor kaučuk
	PE polyetylen (LDPE, HDPE, LLDPE)	IR polyizoprenový kaučuk
	PE-C chlorovaný polyetylen	NBR butadien akrylonitrilový kaučuk
	PP polypropylen (*)	NR přírodní kaučuk
Polyestery	PBT polybutylentereftalát (*)	SBR butadien styrenový kaučuk
	UP nenasycená polyesterová pryskyřice	SBS styren-butadien-styrenový kopolymer (*)
		SI silikon
Halogenované polymery	CSM chlorosulfonovaný polyetylen	Termoplastické elastomery
	ETFE kopolymer etylenu s tetrafluoretylenem	FPM fluor kaučuk
	FPM fluor kaučuk	TPE-E polyesterový termoplastický elastomer (*)
	PVC polvinylchlorid (*)	TPE-O polyolefinický termoplastický elastomer
	PVDF polyvinylfluorid	TPE-S polystyrenový termoplastický elastomer
Další polymery	PA polyamid (PA 6, PA 66, PA 11, PA 12) (*)	TPE-U polyuretanový termoplastický elastomer (*)
	PVAL polyvinyl-alkohol	TPE-V zesíťovaný polyolefinický termoplastický elastomer

Tab. 1 Polymery k sítování

(*) potřebný přídavek sítovacího činidla [4]

3.4.5 Další využití radiačního záření

- iontové implantace
- modifikace povrchů
- sterilizace (potraviny, nástroje)
- polymerace, degradace polymerů
- likvidace škodlivého hmyzu
- lékařství - produkce izotopů
- radiolýza

4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY PLASTŮ

4.1 Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa se připravují dvojím způsobem:

1. Přimo ze zkušebního materiálu jejich vulkanizací, lisováním, vstřikováním nebo vytvrzováním ve formách, které jsou stejného tvaru jako zkušební tělesa. Také se dají vysekávat ze vzorku.
2. Připravují se z hotových výrobků nebo také polotovarů, z kterých se vyřezávají, vysekávají nebo se dají připravit obráběním.

Zkušební tělesa by se předem neměla vystavovat fyzikálně chemickým, mechanickým a tepelným namáháním, aby nedošlo k ovlivnění a znehodnocení výsledků zkoušek. Výjimkou jsou pak tělesa, která se těmito podmínkám vystavují záměrně pro zkoušky stárnutí, tepelné odolnosti, koroze aj. Před tím, než se přistoupí k samotnému zkoušení těles, by se měly tyto zkušební tělesa nechat odležet, aby dosáhly rovnovážného stavu. Spočívá to v tom, že se zkušební tělesa nechávají po nějakou dobu odležet v klimatických prostorách za podmínek smluvní teploty a při relativní vlhkosti. Takovéto přípravě vzorku se říká kondicování. [6]

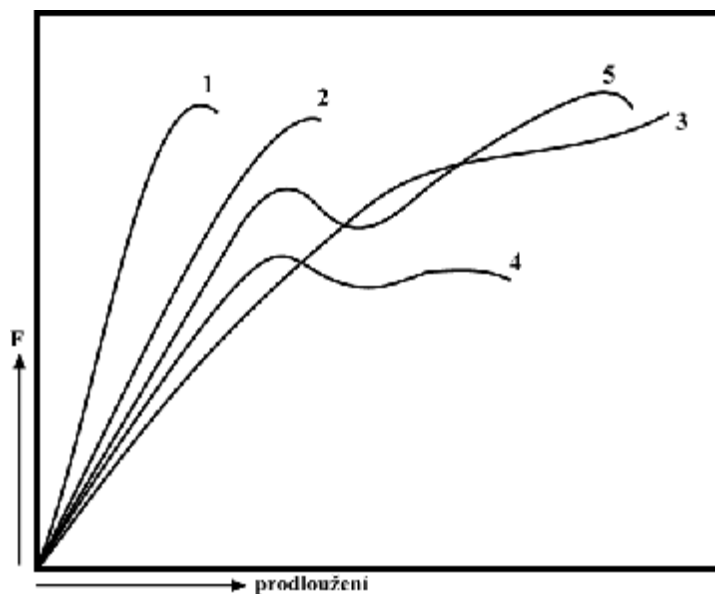
4.2 Zkoušky statické krátkodobé

- Tahové zkoušky
- Tlakové zkoušky
- Ohybové zkoušky
- Smykové a torsní zkoušky
- Zkoušky tvrdosti

4.2.1 Tahová zkouška

Tato zkouška byla jednou z prvních zkoušek, podle které se hodnotila pevnost materiálu. Provádí se podle norem ČSN EN ISO 527-1, 527-2. Na zkušební těleso se působí silou, stále se zvětšující, až dojde k úplné deformaci materiálu, tedy k jeho přetržení. Tato zkouška se provádí na trhacím stroji, kde jsou tělesa namáhány jednoosým tahem. Pevnost v tahu je vyjadřována silou, která se vztahuje na jednotkový průřez zkušebního tělesa neboli napětím potřebným k přetržení materiálu.

Snímáním napětí a deformací u tahové zkoušky jsou získávány údaje, které se graficky zaznamenávají, a tím dostaneme pracovní diagramy, kde tahová křivka poskytuje širší a přesnější informace o deformačním chování materiálu za různých podmínek, při kterých je materiál zkoušen.[6]



Obr. 14 Typy pracovních diagramů polymerů

Pracovní diagram každé látky je specifický, lze jej zařadit mezi pět typů (viz. Obr. 14).

- Typ 1 zahrnuje plasty s malou průtažností (termosety, PS, PMMA)
- Typ 2 charakterizuje houževnatější plastické hmoty. Zkušební těleso se přetrhne, jakmile překročí mez úměrnosti (neměkčené PVC).
- Typ 3 se vyznačuje velkým prodloužením. Pracovní křivka nemá vyznačenu mez kluzu (měkčené PVC).
- Typ 4 se vyznačuje horní a dolní mezní průtažností neboli kluzu (PP, PE)

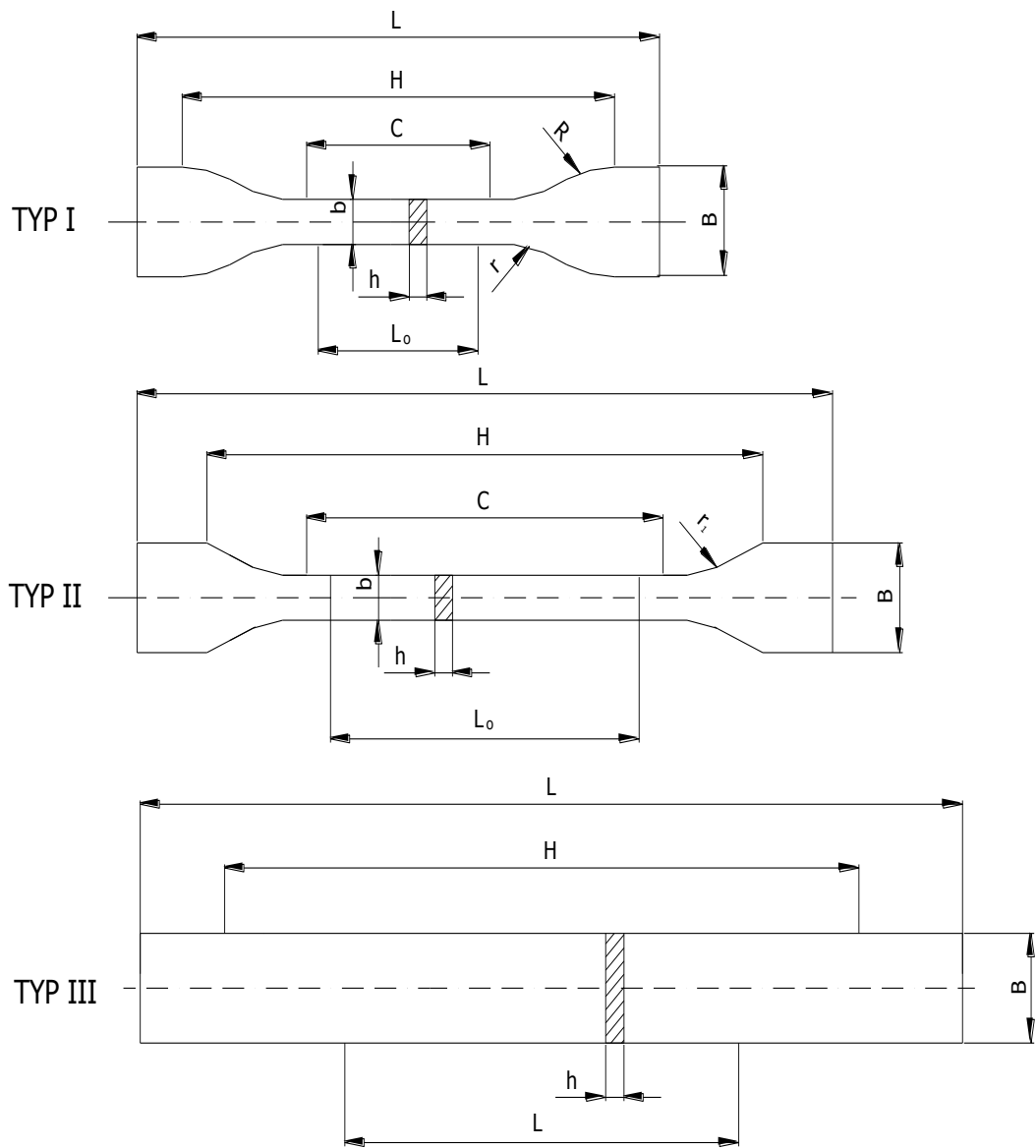
- Typ 5 má začátek podobný typu 4 a další průběh typu 3. Takto se chovají polymery, jejichž mechanické vlastnosti se prodloužením zlepšují (PA) [7]

Zkušební tělesa

Pro tahové zkoušky se používá dvou typů zkušebních tělísek. Tvaru oboustranné lopatky a tvaru kroužků. Lopatky se používají pro všechny typy polymerů, kroužky pouze u kaučukových vulkanizátů. Jejich rozměry jsou dané normou.

Rozměry	Zkušební tělísko		
	Typ I	Typ II	Typ III
celková délka L	75	150	250
šířka upínací hlavy B	12,5±1	20±0,5	25±0,5
délka pracovní části C	25±1	80±0,5	/
šířka pracovní části b	4±1	10±0,5	/
menší poloměr zakřivení r	8±0,5	/	/
větší poloměr zakřivení R	12,5±1	/	/
počáteční měrná délka L_0	20±0,5	50±0,5	50±1
vzdálenost mezi značkami H	50±2	110±5	170±5
poloměr zakřivení r_1	/	20-25	/
tloušťka h	4±0,2	4±0,2	4±0,2

Tab. 2 Rozměry zkušebních tělísek



Obr. 15 Tvary zkušebních těles

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je zjistit vliv množství síťovacího činidla (v množství 1-6%) na mechanické vlastnosti polyamidu, ozařovaného beta zářením.

Polyamid jako zkušební materiál musí být nejprve namíchán se síťovacím činidlem v daných poměrech a následně zpracován vystříknutím na požadovaná normalizovaná zkušební tělíska pro tahovou zkoušku. Vše bude provedeno firmou Obzor. Vyrobená zkušební tělíska se nechají ozářit dávkou 132kGy ve firmě BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG. Tato ozářená, ale i neozářená zkušební tělíska se pak budou zkoušet na trhacím stroji ZWICK.

V závěru se provede vyhodnocení a také vzájemné porovnání výsledků ozářených a neozářených tělísek s různým procentuálním množstvím síťovacího činidla.

6 POUŽITÉ MATERIÁLY

6.1 Polyamid

Polyamidy jsou lineární polymery, charakterizované hlavním polymerním řetězcem, v němž se pravidelně opakují $-CO-NH-$ skupiny s větším počtem $-CH_2-$ skupin. Jejich pravidelné uspořádání dává dobrý předpoklad pro vysoký stupeň krystalizace.

Tyto polymery se vyznačují vynikajícími mechanickými vlastnostmi a to hlavně pevností v tahu a ohybu, velkou tvrdostí a především také odolností proti otěru.

Dají se vyrábět několika způsoby:

1. Polykondenzací diaminů s dikarboxylovými kyselinami nebo s dichloridy dikarboxylových kyselin
2. Polykondenzací ω -aminokarboxylových kyselin
3. Polymerací cyklických aminů (laktamů)

Čísla za označením polyamidu PA charakterizují výchozí polymery podle počtu uhlíkových atomů v jejich molekulách.

PA 6 spojuje všechny vlastnosti níže:

- Výborná tuhost a pevnost
- Vysoká chemická odolnost
- Vysoká tepelná a mechanická pevnost
- Dobrá rozměrová stabilita
- Vysoká kvalita povrchu
- Odolnost v tahu
- Vynikající bilance u elektrických vlastností
- Snadné zpracování
- Nízká absorpce vody

Použití:

- Automobilový průmysl
- Elektronický průmysl (viz Obr. 16)
- Spotřební průmysl
- Textilní sub průmysl
- Strojní průmysl
- Konstrukční sub-dodavatelé
- Kancelářský nábytek a doplňky
- Ruční a strojní doprava
- Potravinářský průmysl
- Lékařský průmysl



Obr. 16 Zásuvky z PA6 [10]

Použitým materiálem je EPLAMID 6 GFR30 FRV0 NATURAL od společnosti EPSAN PLASTIK SAN. VE TIC. LTD. STI.

Jde o přírodní polyamid 6 plněný skelnými vlákny, do kterého byl také přidán retardér hoření. Jeho vlastnosti jsou popsány níže (viz Tab. 3.)[10]

Materiálové vlastnosti přírodního PA6		
Fyzikální vlastnosti	hustota	1,50 – 1,52 g/cm ³
	popelnatost	28 – 32 %
	tvrdost	80 - 85 D
Mechanické vlastnosti	modul pružnosti v tahu	8500–9000 N/mm ²
	síla při přetržení	145 -155 N/mm ²
	poměrné prodloužení	3-4%
	vrubová houževnatost (izod)	14-15 KJ/m ²
Tepelné vlastnosti	bod tavení	215- 225 °C
	HDT/A (1,8 MPa)	210 °C
	VICAT/B (50 N)	210 °C
Hořlavost	samozhašivost (1,6 mm)	VO
	žhavý drát (2 mm)	960 °C

Tab. 3 Materiálové vlastnosti přírodního PA6

7 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

7.1 Trhací stroj ZWICK ROELL 1456

Parametry stroje	
Výška stroje	2012mm
Šířka stroje	630mm
Šířka pracovního prostoru	420mm
Hmotnost	150kg
Max. posuvová rychlost	750mm/min
Max. zkušební síla	20kN

Tab. 4 parametry trhacího stroje ZWICK ROELL 1456

Na tomto stroji lze provádět nejen zkoušku tahovou, ale i ohybovou a tlakovou. Daný stroj je také vybaven speciální tepelnou komorou (viz Obr. 17), v níž lze materiál ohřívat nebo také ochlazovat do minusových teplot pomocí připojení dusíku. Nedílnou součástí stroje je také PC s programem Test Xpert pro ovládání samotného stroje a vyhodnocování výsledků probíhajících zkoušek.



Obr. 17 Zwick roell s komorou

7.2 Vstříkovací stroj ENGEL E-MAX 310/100

Tento stroj slouží pro zpracování termoplastů. Je vybaven sloupkovou uzavírací jednotkou. Tu tvoří pohony s elektrickými servomotory s dvojčinným kloubovým systémem. Servopohon uzavíracího systému zajišťuje krátké časy cyklu při současném minimálním vzniku hluku. Díky lineárnímu vedení pohyblivé desky je zabezpečena paralelita upínacích desek a šetrný provoz formy. Sloupky uzávěru neslouží jako vedení pohyblivé desky a nejsou tudíž opatřeny mazivem. Servoelektrický vyhazovač je integrován do pohyblivé desky. Nastavení výšky formy je umožněno pomocí planetového kola. Uzavírací síla a síla ochrany formy je měřena vysoce přesnými senzory. Dále je vybaven deskovým vyhazovačem s centrální spojkou a 1x hydraulickým tahačem jader na pohyblivé upínací desce s uzavíracím ventilem a odlehčením tlaku.

Vstříkovací jednotka je elektrický kompaktní agregát in-line, vychýlitelný do strany (seitlich ausschwenkbar). Má servoelektrický pohon vstříku s integrovaným odměřováním dráhy s vysokým rozlišením, jenž zaručuje vysokou a konstantní přesnost a vysoký výkon vstříkování. Měření tlaku taveniny je realizováno měřicí membránou mimo pracovní prostor. Pohon dávkování a přítlak jsou rovněž osazeny servomotory. Vstříkovací válec, šneky a uzávěrky jsou měnitelné s hydraulickými stroji od firmy Engel. Možnosti volby průměru, geometrie a materiálu umožňují provozovat přesnou kombinaci podle potřeby. Chlazení hrdla násypky je řízeno. Dobrý přístup umožňuje krátké časy přestavení stroje.

U plastikační jednotky je možnost výběru průměru, materiálu a geometrie, což umožňuje přesný výběr pro konkrétní použití. Vstříkovací válec M3 je použitelný do 350°C. Je vytápěný pomocí keramických topných pásů a je odolný proti otěru a korozi, stejně jako šnek, který je navíc opatřen zpětnou uzávěrkou Rb9 pro zpracování termoplastů.

Celý stroj je řízen Microcomputerem LC200 A01 s vizualizací ve formě Windows na bázi barevného dotykového monitoru TFT 12". Ukládání dat je nastaveno na paměťový kolíček. Je zde i grafický editor průběhu.

Napájecí napětí je 3x 400V+N+PE/50HZ. Skříň rozvaděče je prachotěsná s integrovaným výměníkem tepla (do teploty okolí max. 40 °C). Rozhraní bezpotenciálových kontaktů je volně programovatelné (4x digitální výstup, 4x digitální vstup). Je zde také rozhraní pro jištění vyhazovače a servisní elektrická zásuvka 230 V

umístěná na levé straně rozvaděče. Kombinace zásuvek 2ks 230V/16A a 2ks 3v400V/16A, umístěné na uzavírací jednotce.

Parametry stroje	
Uzavírací jednotka	
Uzavírací síla	1000kN/100t
Světlost mezi sloupky	460x410mm
Dráha otevření	350mm
Min. a max. výška formy	150-450mm
Max. hmotnost formy	570kg
Upínací desky	650x600mm
Plastifikační jednotka	
Průměr šneku	35mm
Délka šneku	20L/D
Max. vstříkovaný objem	154cm ³
Max. vstříkovací tlak	2000bar
Vstříkované množství	211cm ³ /s
Plastifikační výkon standart. šneku PS	18,9g/s
Tryska	otevřená o poloměru 35mm

Tab. 5 Parametry vstříkovacího stroje ENGEL E-MAX 310/100



Obr. 18 Vstřikovací stroj ENGEL E-MAX 310/100[12]

8 VÝROBA A OZAŘOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK

8.1 Výroba zkušebních tělísek

Zkušební tělíska byla zhotovena firmou Obzor podle parametrů pro daný materiál. Při výrobě směsi pro vystříknutí bylo do polyamidu přimícháno síťovací činidlo masterbatch betalink od firmy PTS Plastic Technologie Service. Zkušební tělíska byla vstříkována na stroji ENGEL E-MAX 310/100 (viz. Obr. 18), jehož parametry jsou uvedeny v předchozí kapitole 7.2 (viz Tab. 5).[11]



Obr. 19 Zkušební tělísko pro tahovou zkoušku zhotovené firmou Obzor

8.2 Ozařování zkušebních tělísek (síťování)

Aby došlo k požadovanému zesíťování polyamidu, musel se nechat ozářit. To bylo provedeno firmou BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG, sídlící v Německu.

Zkušební tělíska byla uložena a rozmístěna na několik palet (viz Obr. 20) tak, aby došlo k rovnoměrnému ozáření každého tělíska. K ozáření byl použitý elektronový urychlovač s energií beta záření o velikosti 10MeV. Zkušební tělíska byla vystavena dávce záření 132kGy. Tato dávka ozáření nám byla doporučena firmou BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG jako nejvhodnější pro polyamid 6.



Obr. 20 Uložení zkušebních tělísek

Ozařování se uskutečňovalo v několika okruzích, protože není možné materiál vystavit ihned velké dávce záření. Kdybychom tak učinili, byl by materiál vystaven příliš velké energii a došlo by k jeho znehodnocení vlivem vysokého zahřívání.

8.2.1 Stupeň zesíťování

Pomocí této zkoušky se zjišťuje, do jaké míry materiál zesíťoval. Tuto zkoušku provedla firma BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG.

Postup měření stupně zesíťování neboli gel content byl proveden v souladu s normou EN ISO 579.

Nejprve byl navážen a následně rozdrcen na malé částičky jeden gram materiálu. Výsledné částičky byly namočeny do 150 ml roztoku kyseliny mravenčí (HCOOH) a povařeny přibližně po dobu 6 hodin. Dále byly částičky vytaženy a sušeny ve vakuu při teplotě 100°C po dobu 3 hodin nebo po dobu potřebnou k získání konstantní váhy.

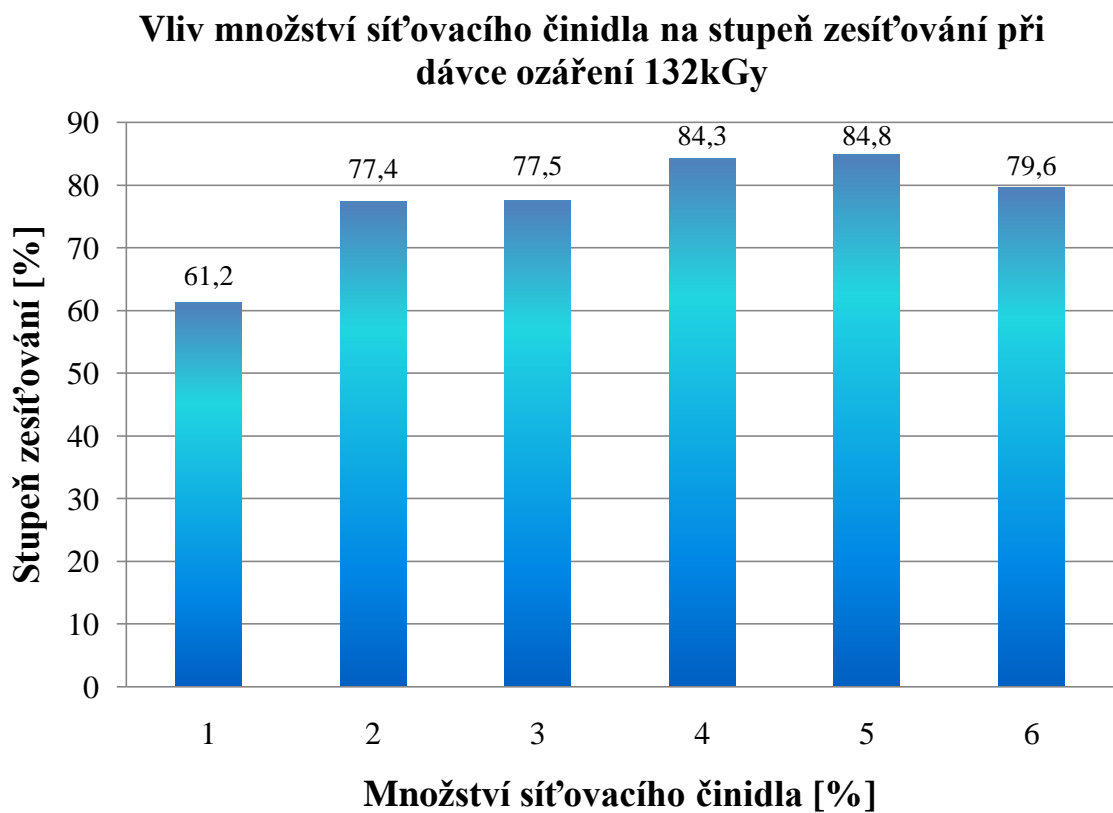
Pro vyhodnocení stupně zesíťování byl použit vzorec:

$$\text{Stupeň zesíťování (gel content)} = \frac{\text{konečná váha}}{\text{počáteční váha}} \times 100$$

Na stupni zesíťování závisí vlastnosti materiálu, jako jsou například pevnost, modul pružnosti nebo tvrdost.

Stupeň zesíťování při dávce ozáření 132kGy	
Množství síťovacího činidla v (%)	Stupeň zesíťování v (%)
1	61,2
2	77,4
3	77,5
4	84,3
5	84,8
6	79,6

Tab. 6 Stupeň zesíťování



Obr. 21 Stupeň zesíťování

8.2.2 Měrné jednotky techniky ozařování

U radiačního sítování, určuje v první řadě dávka ozáření požadované změny vlastností, tzn. množství absorbované energie záření na měrnou jednotku hmoty.

Dávka intenzity záření (dosis) = *absorbované energii záření / hmotnost*

Jednotka intenzity je gray [Gy], dříve to byl rad.

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

$$10\text{kGy} = 1\text{Mrad}$$

Energie záření absorbovaná výrobkem za časovou jednotku a vztažená na hmotnost je dávková intenzita záření.

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

Penetrace (hloubka pronikání) vysoce energetických elektronů popřípadě gama záření je závislá na jejich energii. Měrná jednotka energie je joule [J], dříve [eV].

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

Výkon zdroje radioaktivního záření je charakterizován jeho aktivitou. Jednotka pro aktivitu je Becquerel [Bq], dříve: Curie [Ci].

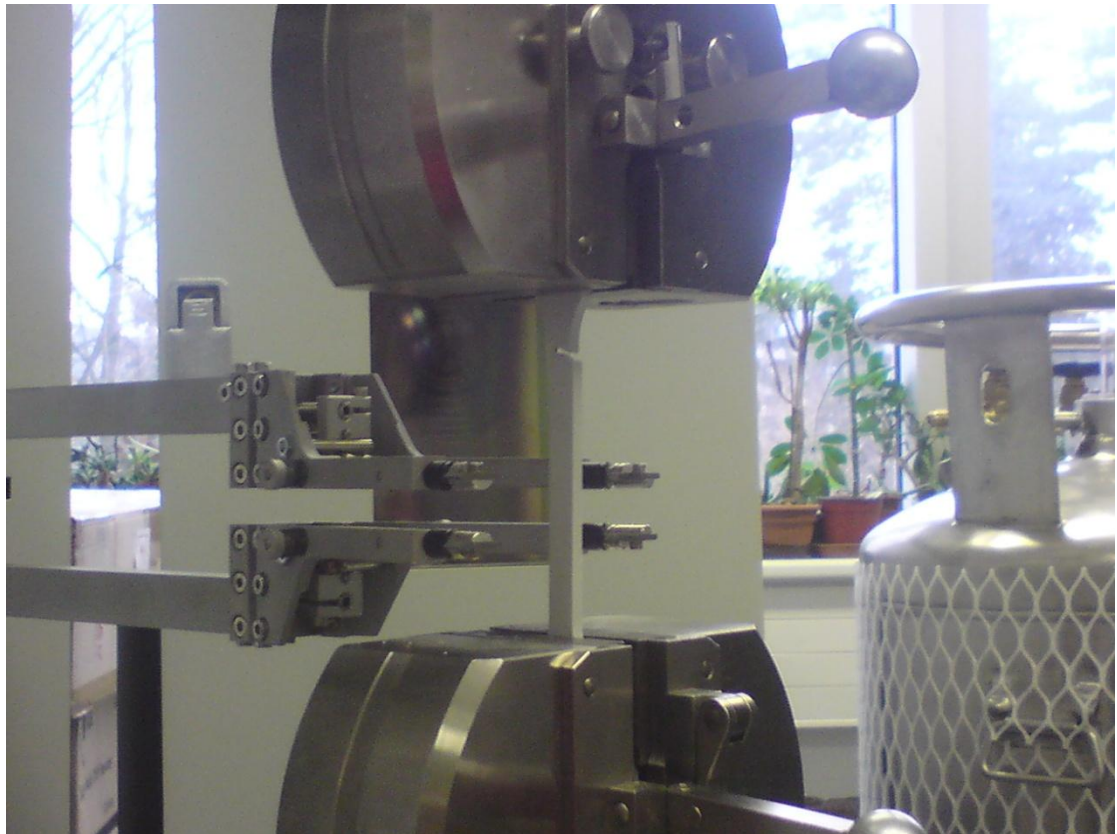
$$1\text{Bq} = 1 \text{ rozpad/s}$$

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

[4]

9 ZKOUŽKA TAHEM

Tahová zkouška byla provedena na stroji Zwick Roell 1456. Nejprve byla zkušební tělíska upnuta do čelistí stroje a následně namáhána jednoosým tahem (viz Obr. 22). Ten probíhal ve dvou fázích. V první fázi byl posuv čelistí $1\text{mm}/\text{min}$ pro určení modulu pružnosti v tahu a v druhé fázi probíhal posuv rychlostí $10\text{mm}/\text{min}$.



Obr. 22 Zkušební tělíska po přetržení

Pro tahovou zkoušku při teplotě 100°C se připojila speciální komora na vyhřívání (viz Obr. 17). Aby se u tělísek dosáhlo požadované teploty, nechala se několik minut vyhřát v komoře a poté se mohlo přejít k samotné tahové zkoušce.

9.1 Statistické vyhodnocování výsledků

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

- Aritmetický průměr „ \bar{x} “: z n naměřených výsledků se udělá suma dělena jejich počtem

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

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

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

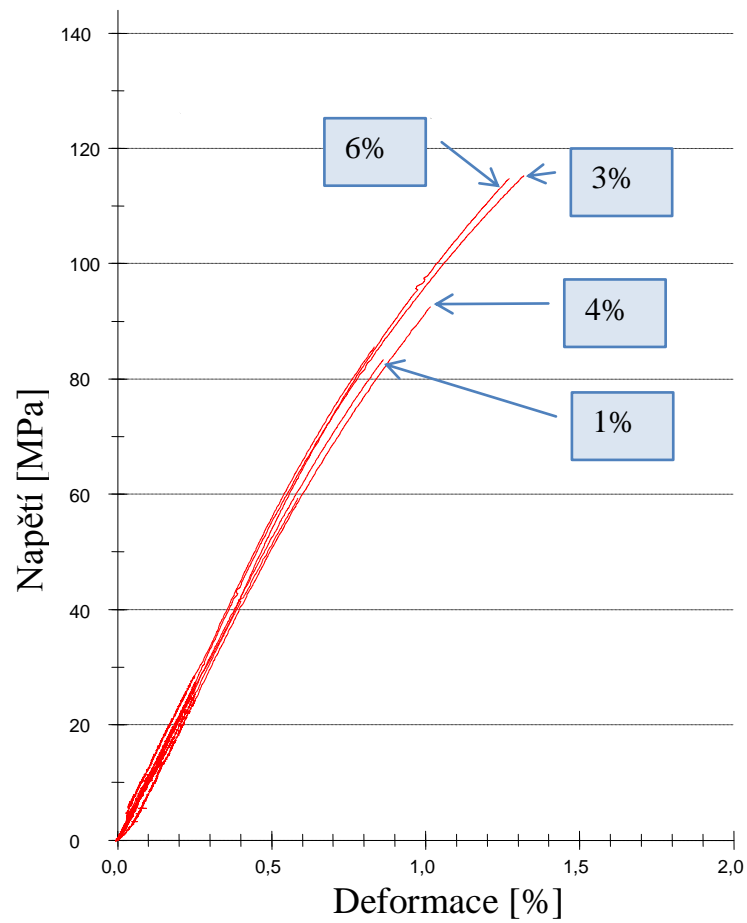
- Směrodatná odchylka „ s “, je absolutní hodnota druhé odmocniny rozptylu „ s^2 “.

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

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

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

9.2 Zkouška tahem při pokojové teplotě $T = 23^{\circ}\text{C}$

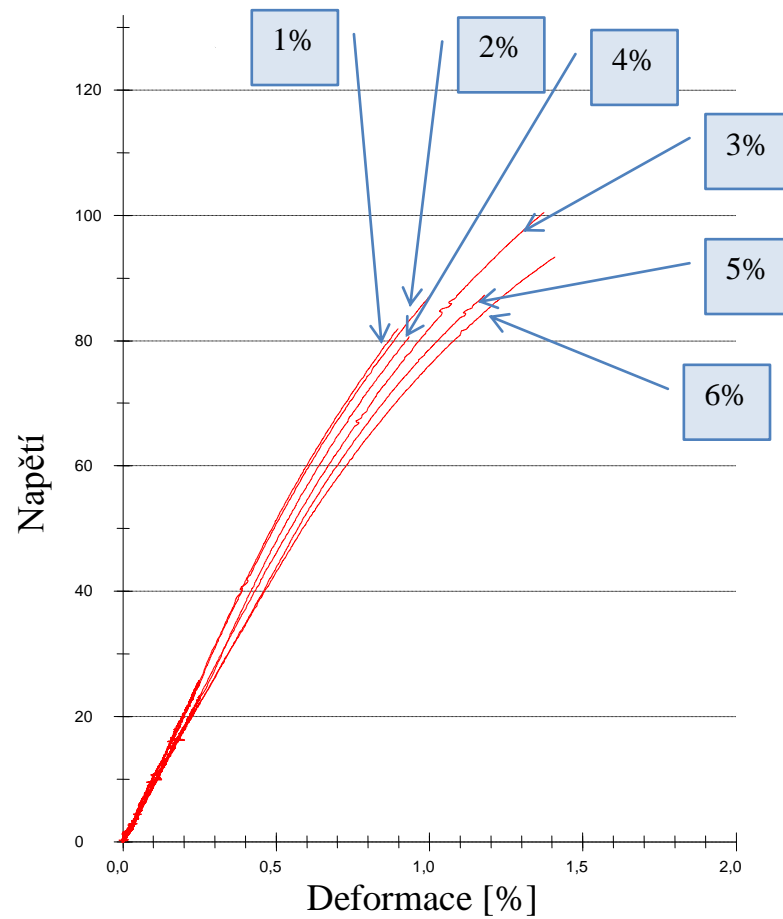


Obr. 23 Porovnání grafů závislosti napětí na deformaci pro různé množství síťovacího činidla při 23°C

Dávka ozáření 132kGy při 23°C							
Množství síťovacího činidla		1%	2%	3%	4%	5%	6%
E[MPa]	\bar{x}	10864	10647	10642	10699	10535	10513
	s	350,06	1810,01	776,30	460,88	658,72	340,20
	σ	110,70	572,38	245,49	145,74	208,31	107,58
σ_p[MPa]	\bar{x}	124,60	124,94	125,57	124,31	125,29	124,63
	s	1,80	2,68	3,33	2,91	2,08	2,76
	σ	0,57	0,85	1,05	0,92	0,66	0,87
σ_B[MPa]	\bar{x}	124,59	124,59	125,57	123,96	125,21	124,30
	s	1,78	2,81	3,33	2,87	1,99	3,40
	σ	0,56	0,89	1,05	0,91	0,63	1,08
ε_{sm} [mm]	\bar{x}	0,33	0,32	0,31	0,32	0,33	0,32
	s	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
	σ	0,003	0,006	0,006	0,006	0,003	0,006
ε_{Fmax} [%]	\bar{x}	1,66	1,60	1,57	1,59	1,63	1,59
	s	0,06	0,10	0,08	0,09	0,06	0,08
	σ	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03

Tab. 7 Hodnoty tahové zkoušky při 23°C

9.3 Zkouška tahem při pokojové teplotě 23°C (neozářené tělíska)

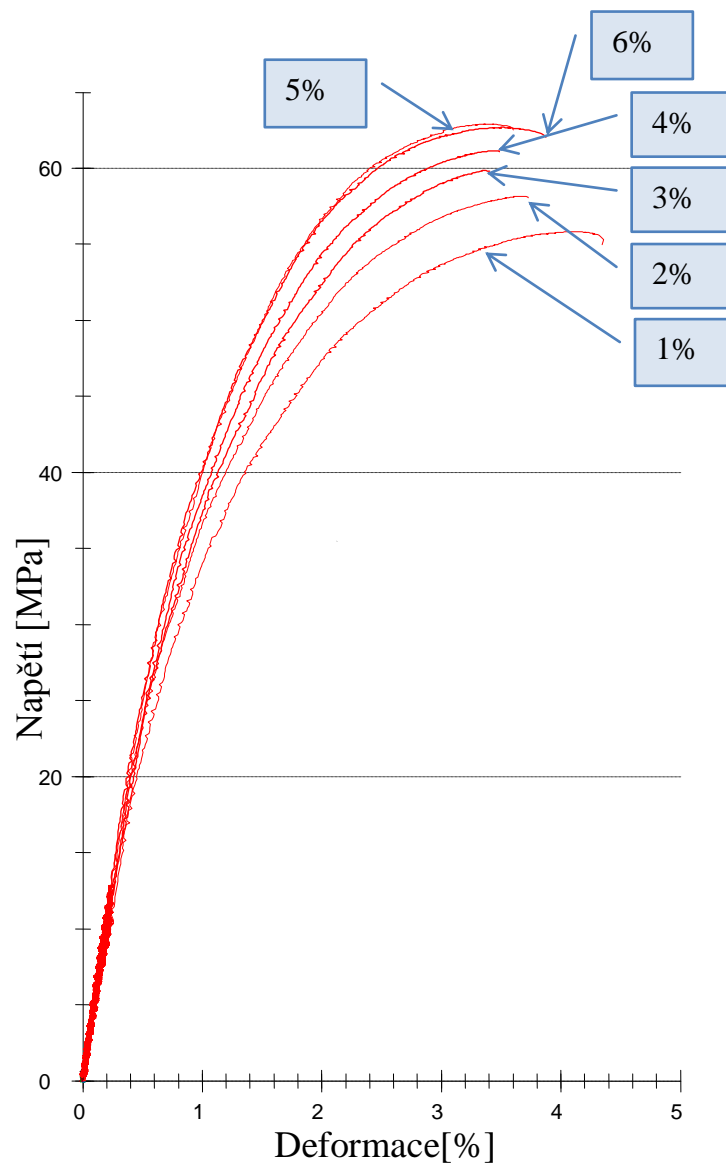


Obr. 24 Porovnání grafů závislosti napětí na deformaci pro různé množství síťovacího činidla při 23°C (neozářené)

Neozářený PA při 23°C								
Množství síťovacího činidla		0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
E[MPa]	\bar{x}	11143	10594	10197	9779	9247	8845	8842
	s	811,91	674,26	578,07	426,80	618,56	437,55	512,06
	σ	256,75	213,22	182,80	134,97	195,61	138,37	161,93
σ_p[MPa]	\bar{x}	115,12	114,91	113,44	110,50	104,08	101,07	98,58
	s	4,04	1,42	1,04	1,53	4,70	3,65	3,15
	σ	1,28	0,45	0,33	0,48	1,49	1,15	1,00
σ_B[MPa]	\bar{x}	114,92	114,91	113,44	110,49	103,94	100,93	97,83
	s	4,16	1,42	1,03	1,52	4,84	3,77	3,83
	σ	1,32	0,45	0,33	0,48	1,53	1,19	1,21
$\varepsilon_{\sigma m}$ [mm]	\bar{x}	0,3	0,33	0,34	0,35	0,35	0,34	0,34
	s	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03
	σ	0,006	0,006	0,006	0,003	0,006	0,006	0,009
ε_{Fmax} [%]	\bar{x}	1,49	1,65	1,69	1,73	1,71	1,66	1,68
	s	0,12	0,10	0,09	0,07	0,10	0,08	0,12
	σ	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04

Tab. 8 Hodnoty tahové zkoušky při 23°C (neozářené)

9.4 Zkouška tahem při zvýšené teplotě $T = 100^{\circ}\text{C}$



Obr. 25 Porovnání grafů závislosti napětí na deformaci pro různé množství síťovacího činidla při 100°C

Dávka ozáření 132kGy při 100°C							
Množství síťovacího činidla		1%	2%	3%	4%	5%	6%
E[MPa]	\bar{x}	4017	4517	4820	5024	5051	5278
	s	471,18	683,07	204,98	91,76	293,72	237
	σ	11,73	15,12	4,25	1,83	5,81	4,49
σ_p[MPa]	\bar{x}	57,28	59,23	60,45	62,19	62,93	62,41
	s	1,07	0,73	0,75	0,91	0,81	0,66
	σ	1,88	1,24	1,23	1,46	1,29	1,06
σ_B[MPa]	\bar{x}	56,79	58,46	60,08	61,92	62,45	62,23
	s	1,15	1,08	0,91	0,9	0,96	0,61
	σ	2,03	1,85	1,51	1,46	1,54	0,97
$\varepsilon_{\sigma m}$ [mm]	\bar{x}	0,88	0,84	0,76	0,74	0,69	0,64
	s	0,04	0,06	0,06	0,04	0,05	0,08
	σ	4,59	7,14	7,38	5,2	7,11	11,86
ε_{Fmax} [%]	\bar{x}	4,19	3,95	3,68	3,56	3,33	3,11
	s	0,15	0,21	0,19	0,13	0,17	0,3
	σ	3,59	5,36	5,07	3,56	5,16	9,59

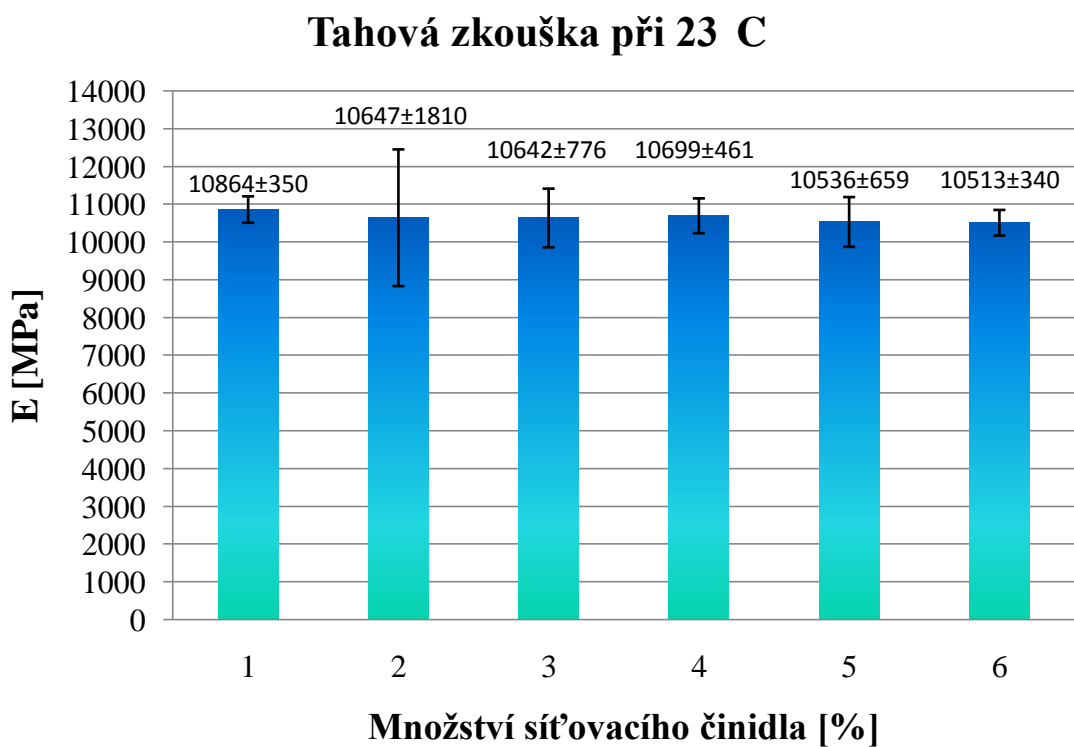
Tab. 9 Hodnoty tahové zkoušky při 100°C

10 DISKUZE VÝSLEDKŮ TAHOVÉ ZKOUŠKY

V následující kapitole se budeme zabývat hodnocením naměřených dat tahové zkoušky neozářených tělísek při 23°C, ozářených tělísek dávkou 132kGy při 23°C a 100°C.

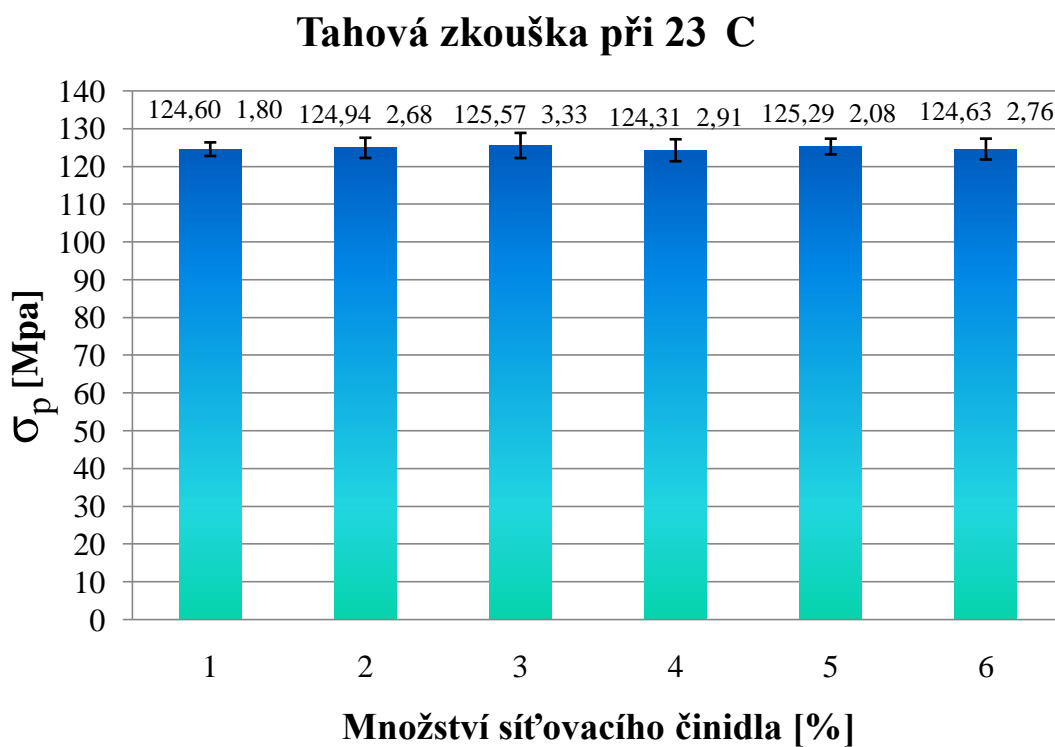
10.1 Diskuze výsledků tahové zkoušky pro zkušební tělíska ozářená dávkou 132kGy při 23°C

Při porovnání modulu pružnosti v tahu (viz Obr. 26) pro různé množství síťovacího činidla je patrné, že modul pružnosti se při zvyšujícím se množství síťovacího činidla nijak výrazně nemění.



Obr. 26 Porovnání modulu pružnosti v tahu pro různé množství síťovacího činidla při 23°C

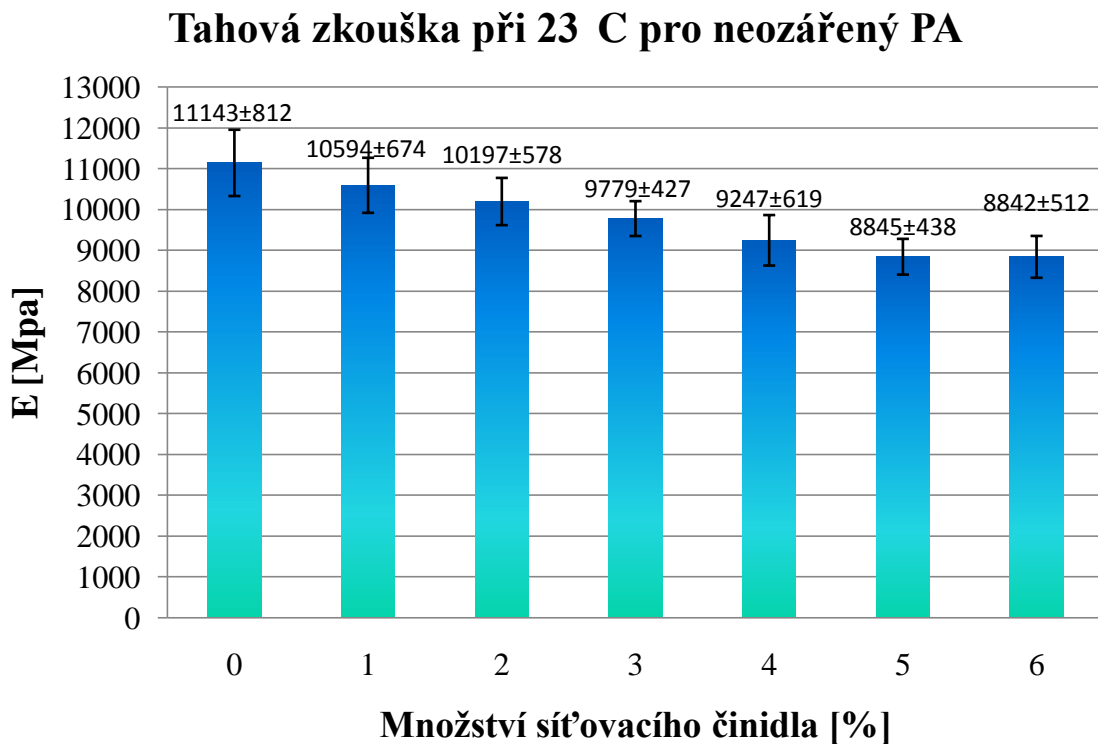
V následujícím grafu pro mez pevnosti v tahu (viz Obr. 27) je situace obdobná jako v případě u modulu pružnosti v tahu, mez pevnosti v tahu se při zvyšování množství síťovacího činidla také nijak výrazně nemění.



Obr. 27 Porovnání meze pevnosti v tahu pro různé množství síťovacího činidla při 23°C

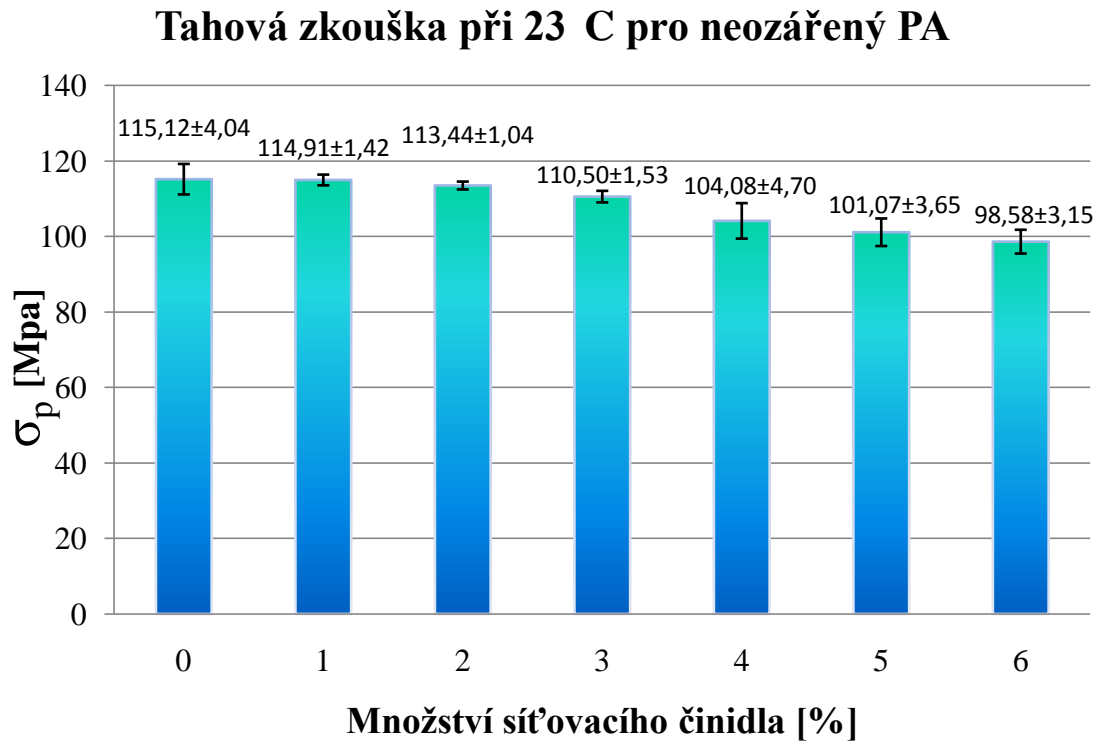
10.2 Diskuze výsledků tahové zkoušky pro neozářená zkušební tělíska při 23°C

Z obrázku (Obr. 28) je vidět, jak modul pružnosti v tahu s rostoucím množstvím síťovacího činidla klesá. Nejvyšší pokles modulu pružnosti je u zkušebních tělísek s 6% síťovacího činidla, kde hodnota byla o **21%** nižší než u tělísek bez síťovacího činidla.



Obr. 28 Porovnání modulu pružnosti v tahu pro různé množství síťovacího činidla při 23°C (neozářené)

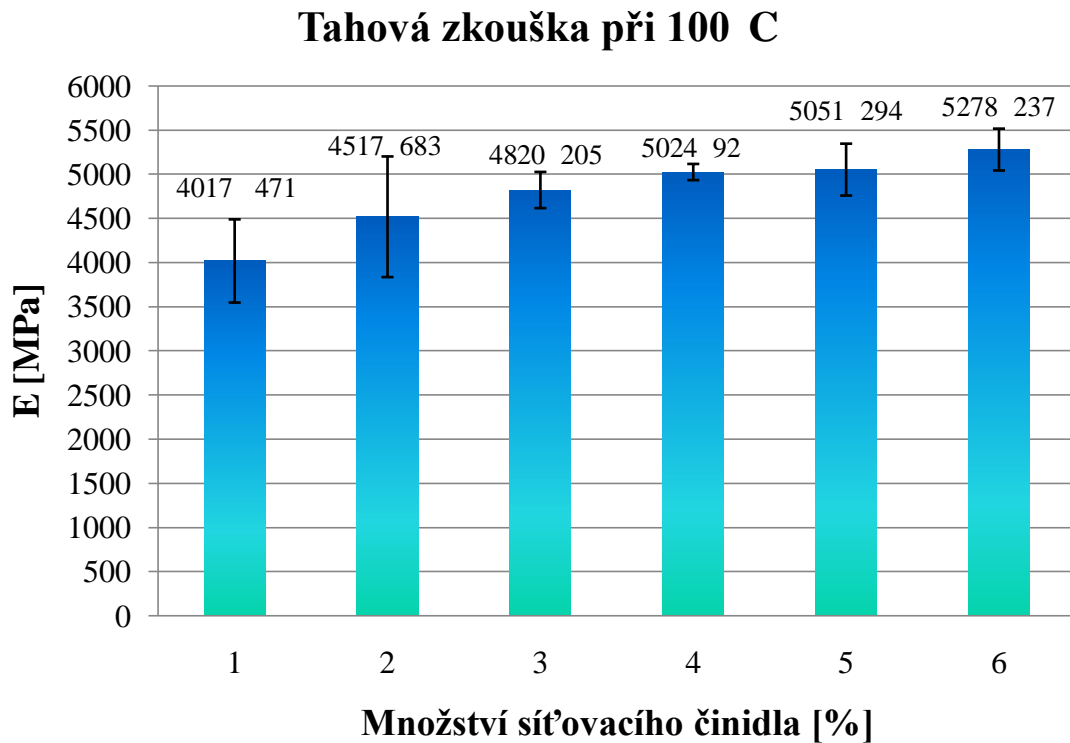
Na dalším obrázku (viz Obr. 29) mez pevnosti v tahu vykazuje klesající trend se zvyšujícím se množstvím síťovacího činidla. Nejvyšší pokles nastal v případě zkušebních tělísek obsahujících 6% síťovacího činidla, kde hodnota byla o **14%** nižší než u tělísek bez síťovacího činidla.



Obr. 29 Porovnání meze pevnosti v tahu pro různé množství síťovacího činidla při 23°C (neozářené)

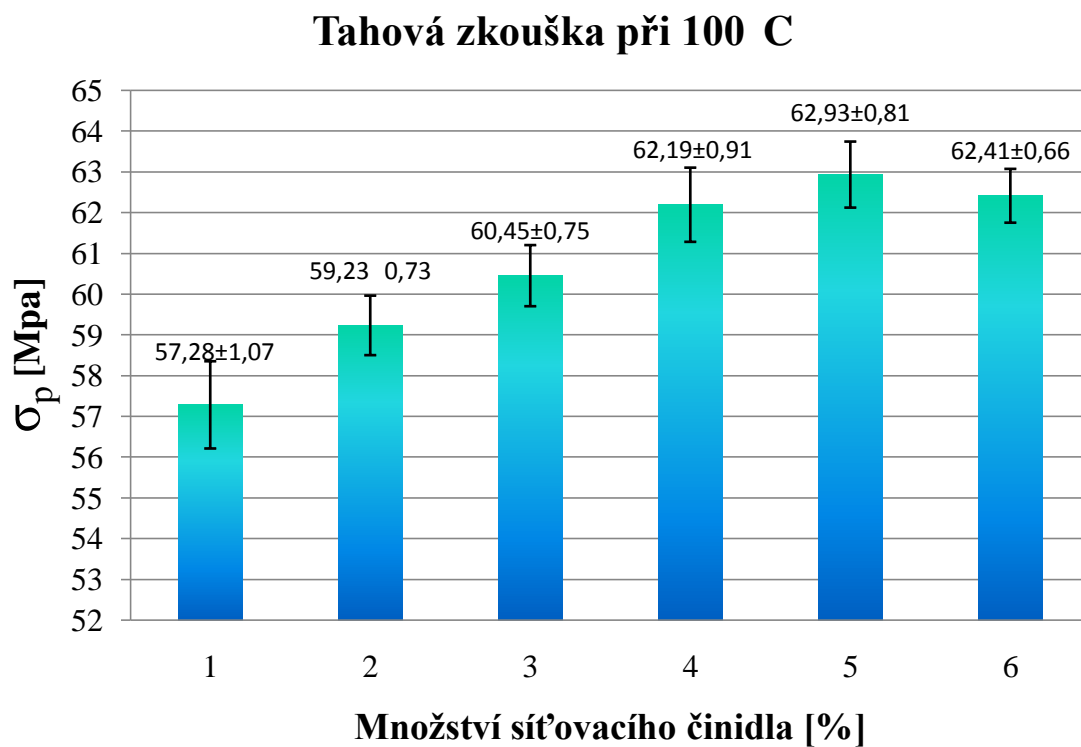
10.3 Diskuze výsledků tahové zkoušky pro zkušební tělíska ozářená dávkou 132kGy při 100°C

V následujícím grafu pro 100°C (viz Obr. 30) můžeme vyčíst, že hodnoty modulu pružnosti v tahu stoupají se zvyšujícím se množstvím síťovacího činidla. Nejvyšší nárůst modulu pružnosti byl zaznamenán u tělísek s 6% síťovacího činidla.



Obr. 30 Porovnání modulu pružnosti v tahu pro různé množství síťovacího činidla při 100°C

Také hodnoty meze pevnosti v tahu v následujícím grafu (viz Obr. 31) se vyznačují stoupajícím trendem se zvyšujícím se množstvím síťovacího činidla, kde nejvyšší nárůst byl zaznamenán v případě zkušebních tělísek s 5% síťovacího činidla.



Obr. 31 Porovnání meze pevnosti v tahu pro různé množství síťovacího činidla při 100°C

ZÁVĚR

Náplní této bakalářská práce bylo zkoumání vlivu množství síťovacího činidla na mechanické vlastnosti polyamidu 6, ozařovaného beta zářením o dávce 132kGy. Byla prováděna tahová zkouška u ozářených i neozářených zkušebních tělísek, při různých dávkách síťovacího činidla a při pokojové a zvýšené teplotě.

Z provedených měření ozářených polyamidových tělísek při pokojové teplotě vyplývá, že mechanické vlastnosti (mez pevnosti a modul pružnosti v tahu) se se zvyšujícím se množstvím síťovacího činidla výrazněji nemění. Z toho vyplývá, že nemá smysl přidávat vyšší množství síťovacího činidla než 1%.

Jiná situace je v případě výsledků tahové zkoušky prováděné při 100°C. Zde se naopak potvrdilo, že se mechanické vlastnosti zlepšují s narůstajícím množstvím síťovacího činidla. Také můžeme říct, že nejvhodnějším množstvím síťovacího činidla přidávaného do polyamidu jsou 4%, protože s dalším zvyšováním jeho množství, dále mechanické vlastnosti nerostou. Potvrdil se tak fakt, který je zaveden v technické praxi, kde se nejčastěji používá množství síťovacího činidla 4-5%.

Bylo provedeno také měření neozářených tělísek, u kterých se zjistilo, že přidáváním síťovacího činidla mechanické vlastnosti klesají. Je tedy zbytečné přidávat síťovací činidlo bez následného ozařování.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RYBNÍKÁŘ, F. *Makromolekulární chemie I, Brno VUT*. 1987.
- [2] www.ksp.tul.cz
- [3] Ducháček V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. 2006.
ISBN 80-7080-617-6
- [4] www.bgs.de
- [5] FUKÁTKO, T. *Detekce a měření různých druhů záření*. 1st ed., Praha technická literatura BEN 2007. ISBN 97-80-7300-193-3.
- [6] SCHATZ, M.; VONDRÁČEK, P. *Zkoušení polymerů*. VŠCHT Praha 1988.
- [7] LUTONSKÝ, Z. *Vliv teploty na mechanické chování polymerů a kompozitů*.
Zlín: UTB Zlín, 2007. 118 p.
- [8] www.simopt.cz
- [9] www.obzor.cz
- [10] www.epsan.com.tr
- [11] www.pts-marketing.de
- [12] www.engelglobal.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PA	Polyamid	
PVC	Polyvinylchlorid	
PE	Polyetylen	
PP	Polypropylen	
PS	Polystyren	
EP	Epoxidové pryskyřice	
POM	Polyoxymetylen	
PMMA	Polymethylmetakrylát	
PBI	Polybenzenimid	
PEI	Polyetenimid	
PSU	Polysulfol	
PPS	Polyfenylensulfid	
PTFE	Polytetrafluoretylen	
PI	Polyimid	
PF	Formaldehydové pryskyřice	
UF	Močovinoformaldehydové pryskyřice	
Co60	Raionuklid kobaltu	
T_m	Teplota tání	[°C]
T_f	Teplota toku	[°C]
L	Celková délka zkušebních tělísek	[mm]
B	Šířka upínací hlavy	[mm]
C	Délka pracovní části	[mm]
r	Malý poloměr zakřivení	[mm]
R	Velký poloměr zakřivení	[mm]

b	Šířka pracovní části	[mm]
r_1	Poloměr zakřivení	[mm]
L_0	Počáteční měřená délka	[mm]
h	Tloušťka zkušební vzorku	[mm]
H	Vzdálenost mezi značkami označující umístění hrany čelistí na zkušebním tělese	[mm]
\bar{x}	Aritmetický průměr	
s^2	Rozptyl	
s	Směrodatná odchylka	
σ	Střední kvadratická chyba aritmetického průměru	
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
σ_p	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
σ_b	Mez pevnosti při přetržení	[MPa]
$\varepsilon_{\sigma m}$	Poměrná deformace při maximálním napětí	[%]
ε_{Fmax}	Poměrná deformace při maximální síle	[mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Amorfni struktura	11
Obr. 2 Semikrystalicka struktura	11
Obr. 3 Linearni polymery	12
Obr. 4 Rozvetvené polymery	12
Obr. 5 Zesit'ované polymery	13
Obr. 6 Rozdeleni polymeru dle jejich aplikace a nadmolekulární struktury	15
Obr. 7 Spektra elektromagnetického záření	21
Obr. 8 Gama záření [8]	22
Obr. 9 Korpuskulární záření alfa [8]	22
Obr. 10 Záření beta [8]	23
Obr. 11 Radiační zesit'ování[4]	24
Obr. 12 Průnik beta záření [4]	25
Obr. 13 Průnik gama záření [4]	26
Obr. 14 Typy pracovních diagramů polymerů	31
Obr. 15 Tvary zkušebních těles	33
Obr. 16 Zásuvky z PA6 [10]	37
Obr. 17 Zwick roell s komorou	39
Obr. 18 Vstřikovací stroj ENGEL E-MAX 310/100[12]	42
Obr. 19 Zkušební tělísko pro tahovou zkoušku zhotovené firmou Obzor	43
Obr. 20 Uložení zkušebních tělísek	44
Obr. 21 Stupeň zesit'ování	45
Obr. 22 Zkušební tělísko po přetržení	47
Obr. 23 Porovnání grafů závislosti napětí na deformaci pro různé množství sít'ovacího činidla při 23°C	49
Obr. 24 Porovnání grafů závislosti napětí na deformaci pro různé množství sít'ovacího činidla při 23°C (neozářené)	51
Obr. 25 Porovnání grafů závislosti napětí na deformaci pro různé množství sít'ovacího činidla při 100°C	53
Obr. 26 Porovnání modulu pružnosti v tahu pro různé množství sít'ovacího činidla při 23°C	55
Obr. 27 Porovnání meze pevnosti v tahu pro různé množství sít'ovacího činidla při 23°C	56

Obr. 28 Porovnání modulu pružnosti v tahu pro různé množství síťovacího činidla při 23°C (neozářené).....	57
Obr. 29 Porovnání meze pevnosti v tahu pro různé množství síťovacího činidla při 23°C (neozářené).....	58
Obr. 30 Porovnání modulu pružnosti v tahu pro různé množství síťovacího činidla při 100°C.....	59
Obr. 31 Porovnání meze pevnosti v tahu pro různé množství síťovacího činidla při 100°C.....	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Polymery k síťování	28
Tab. 2 Rozměry zkušebních tělísek	32
Tab. 3 Materiálové vlastnosti přírodního PA6.....	38
Tab. 4 parametry trhacího stroje ZWICK ROELL 1456	39
Tab. 5 Parametry vstřikovacího stroje ENGEL E-MAX 310/100.....	41
Tab. 6 Stupeň zesíťování	45
Tab. 7 Hodnoty tahové zkoušky při 23°C.....	50
Tab. 8 Hodnoty tahové zkoušky při 23°C (neozářené).....	52
Tab. 9 Hodnoty tahové zkoušky při 100°C.....	54

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Formulář jednotlivých dávek záření

Příloha P II: Dodací list 1/2

Příloha P III: Dodací list 2/2

Příloha P IV: Certifikát 1/2

Příloha P V: Certifikát 2/2

Příloha P VI: Materiálový list PA6

PŘÍLOHA P I: FORMULÁŘ JEDNOTLIVÝCH DÁVEK ZÁŘENÍ

BGS Saal Single Dose Sheet (Aer'ODE Vers.4.4.1j) (Current data)

Sheet ID: S2009/03/06-01	RMS of fitting: 3.05 %
Operator: Schmaus	C5 =
Mode: Measure (Indiv. BGD)	C4 =
Entry/Order N°:	C3 = 26.63570157015
Calibration ID: C2009/01/09-00	C2 = -41.99689158889
Batch (Type): 1086 (FWT 60-510)	C1 = 37.20595972934
W. L. (nm): 510	C0 = -5.012992859541
Range-L (kGy): 2	Measure T ? No
Range-H (kGy): 70	Mean T(μm): 50.5
Ref. mean BGD: 0.0	Control mode: Beep-beep
Curr. mean BGD: 12714	Standard T:
Ref. UCTY (%): 5.0	Temperature (°C):
Mode of fitting R=f(Log(D))	

Note:

Sample-N*	BGD	ABS	[A-B]/T (1/cm)	Dose (kGy)	UCTY (kGy, k=2)	Measurement time
14027	0.064	0.313	49.306	34.13	4.08	20090306@07h53m07
14028	0.058	0.315	50.891	35.43	4.21	20090306@07h53m22
14029	0.059	0.316	50.891	35.43	4.21	20090306@07h53m37
14030	0.058	0.302	48.316	33.32	3.97	20090306@07h53m47
14031	0.062	0.314	49.900	34.62	4.13	20090306@07h54m04
14032	0.063	0.310	48.910	33.81	4.04	20090306@07h54m16

PŘÍLOHA PII: DODACÍ LIST 1/2

BGS

IDEEN PLUS ENERGIE

BGS Industriestraße 9 93342 Saal

BGS Werk Saal
Industriestrasse 9
93342 Saal/DonauTelefon +49 (9441) 1777-0
Telefax +49 (9441) 1777-44Internet: www.bgs.eu
E-Mail: info@bgs.eu**Original**
Kunden-Nr. : 339999
Datum : 06.03.2009 / sg
Seite : 1 von 2**Lieferschein-Nr.: 29300493**

BGS-Auftrags-Nr.: 293.00365.01

Ihre Bestell-Nr.: Herr Danek

Artikel:

Charge: TPE/PA 200 Stück
Prüfstäbe

Artikel:

Liefermenge:	200	Stück
--------------	-----	-------

BGS-Auftrags-Nr.: 293.00365.02

Ihre Bestell-Nr.: Herr Danek

Artikel:

Charge: PA / jTPE 200 Stück
Prüfstäbe

Artikel:

Liefermenge:	200	Stück
--------------	-----	-------

BGS-Auftrags-Nr.: 293.00365.03

Ihre Bestell-Nr.: Herr Danek

Artikel:

Charge: PA / TPE 200 Stück
Prüfstäbe

Artikel:

Liefermenge:	200	Stück
--------------	-----	-------

BGS-Auftrags-Nr.: 293.00365.04

Ihre Bestell-Nr.: Herr Danek

Artikel:

Charge: LDPE Pulver 1 Stück
Charge: TPE 200 Stück
Prüfstäbe

Artikel:

Liefermenge:	201	Stück
--------------	-----	-------

BGS Beta-Gamma-Service GmbH & Co. KG · Sitz Wiehl · Registergericht Köln HRA 16938 · USt.-IdNr.: DE 122 533 721
Persönlich haftender Gesellschafter BGS Beteiligungs GmbH · Sitz Wiehl · Registergericht Köln HRB 38648 · Geschäftsführer: Dr. Andreas OstrowickiVolksbank Oberberg eG
Kto. 6 433 014 · BLZ 384 621 35
IBAN Nr. DE 54 38462135 0006433014
BIC Nr. GENODE33WILDeutsche Bank Gummersbach
Kto. 0 123 430 · BLZ 384 700 91
IBAN Nr. DE 61 38470091 0012343000
BIC Nr. DEUTDE33HANCommerzbank Gummersbach
Kto. 7 865 777 · BLZ 384 400 16
IBAN Nr. DE 96 38440016 0786577700
BIC Nr. COBADE33HAN

PŘÍLOHA PIII: DODACÍ LIST 2/2

BGS

Lieferschein-Nr. : 29300493
Seite : 2 von 2

BGS-Auftrags-Nr.: 293.00365.05

Ihre Bestell-Nr.: Herr Danek

Artikel:

Charge: TPE 200 Stück
Prüfstäbe

Artikel:

Liefermenge:	200	Stück
--------------	-----	-------

Gesamt mengen: Karton(s)

Die Ladungssicherung wurde nach den anerkannten Regeln der Technik VDI 2700 f.f. vom Fahrer durchgeführt und vom Ver lader geprüft

Datum	Name	Unterschrift (Fahrer)
Datum	Name	Unterschrift (Ver lader)

Ware und dazugehörige Papiere ordnungsgemäß erhalten

Spedition	Uhrzeit	Kfz-Kennzeichen
Datum	Name	Unterschrift

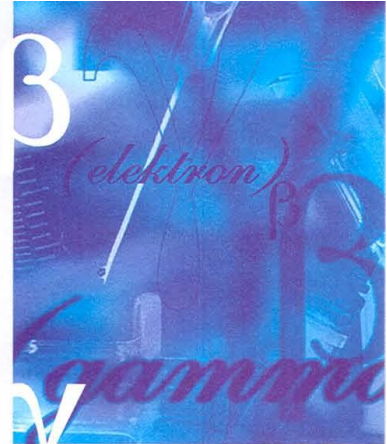
PŘÍLOHA PIV: CERTIFIKÁT 1/2



EN ISO 9001
:IN ISO 13485

Zertifikat

BGS Industriestraße 9 93342 Saal
BGS Werk Saal
Industriestrasse 9
93342 Saal/Donau



Customer-no. : 339999
Date : 06.03.2009
Page : 1 of 2

Certificate-no.: 9000474

BGS-order-no.: 293.00365.01

Your order.: Herr Danek...

Batch: TPE/PA
Prüfstäbe

200 piece(s)

Type of irradiation: Electrons
Energy [MeV]: 10,00
Min. dose [kGy]: 66,00
Irradiation date: 05.03.2009

BGS-order-no.: 293.00365.02

Your order.: Herr Danek...

Batch: PA / jTPE
Prüfstäbe

200 piece(s)

Type of irradiation: Electrons
Energy [MeV]: 10,00
Min. dose [kGy]: 99,00
Irradiation date: 05.03.2009

BGS-order-no.: 293.00365.03

Your order.: Herr Danek...

Batch: PA / TPE
Prüfstäbe

200 piece(s)

Type of irradiation: Electrons
Energy [MeV]: 10,00
Min. dose [kGy]: 132,00
Irradiation date: 05.03.2009

BGS-order-no.: 293.00365.04


Your order.: Herr Danek...

Batch: LDPE Pulver
Batch: TPE
Prüfstäbe

1 piece(s)
200 piece(s)

Type of irradiation: Electrons
Energy [MeV]: 10,00
Min. dose [kGy]: 165,00
Irradiation date: 06.03.2009

PŘÍLOHA PV: CERTIFIKÁT 2/2

	<h1>Zertifikat</h1>	
EN ISO 9001 EN ISO 13485		Certificate-no.: 9000474 Page : 2 of 2
BGS-order-no.: 293.00365.05 Your order.: Herr Danek... Batch: TPE Prüfstäbe		200 piece(s)
Type of irradiation: Energy [MeV]: Min. dose [kGy]: Irradiation date:	Electrons 10,00 200,00 06.03.2009	
		Bestrahlungszertifikat · Certificate of irradiation · Bestrahlungszertifikat BGS IDEEN PLUS ENERGIE BGS IDEEN PLUS ENERGIE BGS IDEEN PLUS ENERGIE BGS IDEEN PLUS ENERGIE

PŘÍLOHA PVI: MATERIÁLOVÝ LIST PA6



EPSAN
PLASTİK SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.
Demirtaş Org. San. Böl. A. O. Söğmez cd.
No:16 16369 BURSA/TURKIYE
Tel: +90 224 2612020 Fax: +90 224 2612718

EPLAMID / EPLON
POLIAMID 6 VE 66
POLYAMIDE 6 & 66
www.epsan.com.tr

TEKNİK BİLGİ / DATA SHEET

Ürün Adı / Product Name

: EPLAMID 6 GFR30 FRV0 NATURAL

Ürün Kodu / Product Code

: EPM3GV000D001

Malzeme Bilgisi / Material Information

*** This material has been highly heat stabilized for hot-runner system.
: Bu ürün Poliamid 6 Naturel cam elyaf takviyeli, alev geciktirici katkılı malzemedir ve enjeksiyon kalıplama için uygundur.
: Eplamid 6 Natural is glass fiber reinforced and flame retardant additive polyamide 6 and is suitable for injection moulding.

FİZİKSEL TESTLER / PHYSICAL TESTS

	STANDART/STANDARD	DEĞERLER/VALUES
YOĞUNLUK / DENSITY	ISO 1183	1,50-1,52 g/cm ³
KATKI ORANI / ASH CONTENT	ISO 3451	28-32 %
R. VİSKOZİTE / R. VISCOSITY	ISO 307	-
SERTLİK / HARDNESS (SHORE D)	ISO 868	80-85 D

MEKANİK TESTLER / MECHANICAL TESTS

	STANDART/STANDARD	DEĞERLER/VALUES
ESNEKLİK MODÜLÜ / TENSILE MODULUS	ISO 527	8500-9000 N/mm ²
KÖPMA MUKAVEMETİ / STRENGTH AT BREAK	ISO 527	145-155 N/mm ²
KÖPMA DAKİ UZAMA / ELONGATION AT BREAK	ISO 527	3-4 %
İZOD DARBE (ÇENTİKLİ) / İZOD IMPACT (NOTCHED)	ISO 180/1A	13-15 kJ/m ²

İSİ TESTLERİ / THERMAL TESTS

	STANDART/STANDARD	DEĞERLER/VALUES
ERİME NOKTASI / MELTING POINT	ISO 3146	215-225 °C
HDT/A (1,8 MPa)	ISO 75	210 °C
VICAT/B (50 N)	ISO 306	210 °C

YANMA TESTLERİ / FLAMMABILITY

	STANDART/STANDARD	DEĞERLER/VALUES
YANMA TESTİ / FLAME RETARDENCY (1,6 mm)	UL-94	VO
KIZGIN TEL TESTİ / GLOW WIRE - GWIT (2 mm)	TS EN 60695	960 °C

TEST KOŞULLARI / TEST CONDITIONS

Laboratuvar koşulları 23 ±2°C, 45-55 % RH dir. Bu ortamda kuru olarak (DAM olarak) yapılmıştır.
Laboratory conditions are 23 ±2°C and 45-55 % RH. Also tests are made dry as molded (DAM).

ÇALIŞMA KOŞULLARI / PROCESSING CONDITIONS

Malzeme enjeksiyon çalışma sıcaklığı 250°C' dir. Hammaddenin kurutma sıcaklığı 80°C olup ortalama kurutma süresi 2-4 saattir.
Recommended injection moulding temperature is 250°C. Drying temperature of raw material is 80°C and average drying time is 2-4 hours.

ONAY / APPROVAL

Bir Teknik Bültende belirtilen bilgiler güvenli bir şekilde test edilerek verilmiştir fakat EPSAN Plastik farklı şartlar altında elde edilebilecek değerlerden sorumlu tutulamaz.
Ürünümüzün kullanımında ve sizin tarafınızdan üretilen ürünler bizim kontrolümüz dışında olduğu için sorumluluk tamamen size aittir. Eplamid ve Eplon Epsan Plastik Ltd. Sti' nin patentli ürünüdür.
The information in this datasheet is given in good faith but without warranty. These data do not release you from the obligation to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Eplamid and Eplon are registered name of Epsan Plastik Ltd. Sti.

KK-004/R04

HAZ.TAR.:20.08.2003

REV.TAR.:01.12.2006