

# Vliv ozařování na vlastnosti termoplastických elastomerů

Bc. Jiří Karafiát

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří KARAFIÁT**

Osobní číslo: **T10744**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Vliv ozařování na vlastnosti termoplastických elastomerů**

Zásady pro vypracování:

- 1) Provedte literární rešerši na dané téma
- 2) Definujte materiál a proveďte přípravu zkušebních tělísek
- 3) Provedte zesířování zkušebních tělísek pomocí ozařování
- 4) Vyhodnocení naměřených výsledků

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Zdeněk Holík**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce:

**18. května 2012**

Ve Zlíně dne 5. dubna 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
děkan





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

Příjmení a jméno: Karafiát Jiří

Obor: Řízení jakosti

## 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 <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> 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 <sup>3)</sup> 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 10.05.2012

.....

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

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

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

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

<sup>2)</sup> 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).

<sup>3)</sup> 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). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá studiem vlivu radiačního záření na mechanické vlastnosti termoplastických elastomerů. Mechanické vlastnosti byly porovnány v závislosti na velikosti dávky intenzity záření. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část popisuje procesy radiačního síťování a zkoušky termoplastických elastomerů. V praktické části je uveden popis použitých zařízení a příprava zkušebních těles pro tahovou zkoušku. V závěru je uvedeno zhodnocení a porovnání naměřených výsledků.

Klíčová slova: termoplastický elastomer, radiační síťování, mechanické vlastnosti

## **ABSTRACT**

Diploma thesis deals with the influence of beta radiation on the mechanical properties of thermoplastic elastomers. Mechanical properties were compared in the influences of dosis. The work is divided into theoretical and practical part. The theoretical part describes the process of radiation cross-linking and testing of thermoplastic elastomers. In the practical part is a description of the equipments and preparation of test specimens for tensile test. The conclusion describes evaluation and comparison of measured results.

Keywords: thermoplastic elastomer, radiation cross-linking, mechanical properties

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Zdeňkovi Holíkovi za odborné vedení, rady a konzultace, které mi pomohli při zpracování teoretické i praktické části. Dále bych chtěl poděkovat i všem ostatním, kteří se podílejí na vypracování mé diplomové práce.

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

Motto

„Dobré rady musíme předávat druhým. Je to ostatně jediné, co se s nimi dá dělat.“

*Oscar Wilde*

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
1 DEFINICE TERMOPLASTICKÝCH ELASTOMERŮ (TPE).....	12
1.1 PRINCIP RADIAČNÍHO SÍŤOVÁNÍ.....	14
1.2 ZLEPŠENÍ VLASTNOSTÍ PŘI RADIAČNÍM SÍŤOVÁNÍ.....	15
<b>2 MATERIÁLY URČENÉ K ZESÍŤOVÁNÍ</b> .....	<b>17</b>
2.1 DŮLEŽITÉ ZMĚNY TPE.....	18
2.2 VLASTNOSTI TPE.....	19
2.2.1 Mechanické vlastnosti.....	19
2.2.2 Fyzikální vlastnosti.....	19
2.2.3 Pevnost sváru.....	20
2.2.4 Reakce na teplo.....	21
2.2.5 Tlakové tváření.....	21
2.2.6 Tepelný tlak.....	22
2.2.7 Odolnost vůči chemikáliím.....	22
2.2.8 Ochrana před plamenem.....	23
2.3 VÝHODY A NEVÝHODY VLASTNOSTÍ TPE.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.4 APLIKACE TPE.....	24
<b>3 ZAŘÍZENÍ PRO RADIAČNÍ SÍŤOVÁNÍ</b> .....	<b>26</b>
3.1 VÝHODY RADIAČNÍCH STŘEDISEK.....	26
3.2 ASPEKTY Z HLEDISKA POUŽITÍ.....	27
3.3 DÁVKA INTENZITY ZÁŘENÍ.....	28
3.4 ASPEKTY Z HLEDISKA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....	29



<b>4 ZKOUŠENÍ MATERIÁLŮ .....</b>	<b>30</b>
4.1 MECHANICKÉ ZKOUŠKY STATICKÉ .....	30
4.1.1 Tahová zkouška .....	30
4.1.2 Průběh tahové zkoušky .....	31
4.1.3 Zkušební tělesa .....	31
4.1.4 Tahová křivka .....	32
4.1.5 Tahové vlastnosti .....	36
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>37</b>
<b>5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>38</b>
<b>6 POUŽITÉ MATERIÁLY.....</b>	<b>39</b>
6.1 MATERIÁL TPE-E ( PTS-UNIFLEX-E25D/M*800 natur ) .....	39
6.1.1 Použití TPE-E .....	39
6.2 MATERIÁL V-TPE-E ( V-PTS-UNIFLEX-E25D/M*M800/20 natur ) .....	40
<b>7 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>41</b>
7.1 VYSOUŠECÍ ZAŘÍZENÍ ARBURG THERMOLIFT 100-2 .....	41
7.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ ARBURG ALLROUNDER 170U 150-30.....	42
7.3 ZKUŠEBNÍ STROJ ALPHA TECHNOLOGIES TENSOMETER 2000.....	44
7.4 SIŤOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK .....	45
<b>8 TAHOVÁ ZKOUŠKA .....</b>	<b>47</b>
8.1 VYHODNOCENÍ HODNOSTI POMOCI STATISTICKÝCH VZTAHŮ .....	48
8.2 TAHOVÉ ZKOUŠKY PRO PTS-UNIFLEX-E25D/M*800 natur (TPE-E).....	48
8.3 TAHOVÉ ZKOUŠKY PRO V-PTS-UNIFLEX-E25D/M*M800/20 natur .....	54
<b>9 POROVNÁNÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>60</b>
9.1 POROVNÁNÍ PEVNOSTI V TAHU A TAŽNOSTI.....	60

---

9.2 POROVNÁNÍ MODULU M50, M100, M200, M300, M500.....	61
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>65</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>66</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SIMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>67</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>68</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>70</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>71</b>

## ÚVOD

Existence lidstva na tomto světě s sebou přináší nejrůznější přirovnání. V minulosti to byla doba kamenná, bronzová či železná. Současnost by se s trochou nadsázky dala nazvat dobou „polymerní“, protože právě zejména plasty tvoří v současnosti nezbytnou část našeho denního života.

Diplomová práce s názvem vliv ozařování na vlastnosti termoplastických elastomerů se zabývá novou skupinou těchto polymerních materiálů. Celkově polymery mají v posledních letech zvyšující se spotřebu díky jejich obrovské škále použitelných vlastností a stále více nahrazují nejrůznější materiály.

Je tedy nezbytně nutné zkoumat vlastnosti polymerních materiálů, které by vedly k náhradě mnohdy drahých konstrukčních materiálů a použití ve více odvětvích průmyslu. Nároky na lepší požadavky plastových výrobků samozřejmě neustále rostou a tyto požadavky nemusí být splňovány pouze odolnými a drahými konstrukčními plasty.

Jednou z metod pro zlepšování vlastností polymerů se věnuje právě tato práce, která se zakládá na modifikaci termoplastických elastomerů pomocí radiačního síťování. Materiál absorbuje energii ze záření a následně vznikají radikály, které vzájemně reagují a vytváří spojení. Díky tomuto procesu dochází k zesíťování jednotlivých řetězců v materiálu a dosažení změn mechanických, tepelných či chemických vlastností. Toto ozařování je řadu let vedeno jako jednoduché a poměrně levné řešení modifikace plastových materiálů.

Jednou z nejfundovanějších společností, zabývajících se právě radiačním síťováním, je německá firma BGS GmbH & Co, KG.

Nejen ozářením ale již při přípravném zpracování polymerů se často přidávají varianty přísad a plniv, které mají také za následek ovlivnění chemických i fyzikálních vlastností materiálu.

Hlavním cílem této diplomové práce je porovnání mechanických vlastností termoplastických elastomerů TPE-E a V-TPE-E, které jsou modifikovány radiačním síťováním o velikostech intenzity dávek 33, 66, 99, 132, 165 a 198kGy. Tyto vzorky budou následně porovnány se vzorky neozářenými.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 Definice termoplastických elastomerů (TPE)

Polymery hrají v současnosti důležitou roli v oblasti materiálů, které mají uplatnění v různých oborech lidské činnosti a přináší s sebou potřebu měření a sledování jejich vlastností. Tímto způsobem vznikla celá technická oblast pro zkoušení polymerů, jejichž cílem je výběr sledovaných veličin pro materiál či výrobek pomocí vypracování příslušných zkušebních metod. [1] Zkušební přístroje a postupy nemohou být identické pro všechny typy polymeru z důvodu rozdílného chemického a strukturního uspořádání, které se velmi liší svými vlastnostmi.

Název TPE značí skupinu materiálů, které se nazývají termoplastické elastomery. Jejich vývoj může být nazýván materiálovou revolucí a dá se říci, že termoplastické elastomery stojí mezi plasty (termoplasty) a elastomery, přičemž kombinují své pozitivní vlastnosti právě termoplastů na jedné straně a elastomerů na straně druhé. [1]

TPE jsou ještě mladá skupina látek spojující výhody termoplastu a vulkanizovaných / síťovaných kaučukových směsí (dále jen pryž nebo vulkanizáty). Vynikající vlastností TPE je termoplastická zpracovatelnost. Tím jsou stanoveny hranice odolnosti formování za tepla a odolnosti vůči chemikáliím, takže nebudou odpírány oblasti použití klasických vulkanizátů. Zde především radiační síťování nabízí možnosti, aby se rozhodujícím způsobem zlepšoval profil vlastností, a to při zachování všech výhod termoplastické zpracovatelnosti. Termoplastické elastomery se zpracovávají jako běžné termoplasty, během ohřevu na teplotu vstřikování se stávají plastickými a výsledná elasticita nastává opět po ochlazení. [1]

Značnou výhodou oproti chemicky zesíťovaných elastomerů, které je nutno vulkanizovat, je především vlastní fyzikální zesíťení. Díky tomu je možno tyto materiály znovu tepelně zpracovávat.

TPE se dají přímo, nebo po malé úpravě zpracovávat běžnými vstřikovacími stroji, příp. vytlačovacími stroji a hotové výrobky vyrobené z TPE mají vlastnosti, které jsou za určitých teplot typické pro vulkanizáty. To vedlo k tomu, že pryž příp. další elastomery byly nahrazovány TPE především v oblastech, kde se technické zboží dá vyrábět levněji vstřikováním a výrobní spektrum elastomerů je využíváno jen částečně. [1]

Hlavním rozdílem mezi termoplastickými elastomery a pryžemi je tedy ve vlastnostech uzlů sítě, které jsou u termoplastických elastomerů fyzikální povahy, zatímco

u vulkanizujících elastomerů povahy chemické. Uzly sítě termoplastického elastomeru tvoří obvykle určité množství nemísitelných termoplastických domén, dispergovaných v kontinuální elastomerní fázi.

Z hlediska zpracování jsou vlastnosti termoplastických elastomerů výhodné, neboť přechod z taveniny do pevného, elastického stavu je rychlý, vratný a nastává pouhým ochlazením taveniny. Běžné elastomery nemohou být recyklovány, neboť síťující vazby vážou celý polymer v jednu makromolekulu a zabraňují tak tomu, aby se materiál roztavil.

V případě TPE jde o nekovalentní nebo sekundární síťové vazby mezi polymery. Při zahřátí se vazby rozpadají, tvrdé bloky měknou a materiál je schopen toku a může tak přecházet vratně do tekutého stavu a naopak. Vlastnosti TPE závisí jak na vlastnostech elastomeru, tak i na poměru tvrdé a měkké fáze. Protože měkké a tvrdé domény mohou být vytvořeny polymery různého složení, struktury, vlastností a různého stupně vzájemné mísitelnosti. [1]

## 1.1 Princip radiačního síťování

S pojmem radiační síťování se stále více setkáváme v mnohých oblastech i mimo sféru techniky. Stále náročnější požadavky různých odvětví průmyslu na lepší vlastnosti plastových dílců nemusí nutně vést k aplikaci drahých konstrukčních termoplastů.

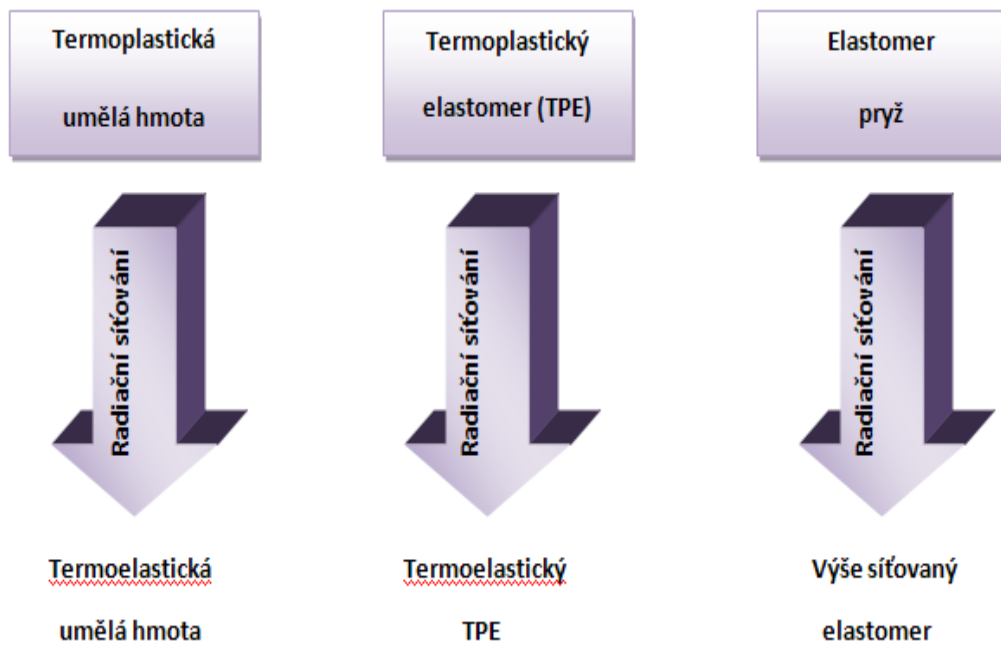
Konstrukční plasty vydrží znatelně větší zatížení, pokud molekuly chemicky propojíme a propůjčíme jim mechanické, tepelné a chemické vlastnosti vysoce odolných konstrukčních termoplastů. Radiační síťování je proces, kde dochází ke spojení vazeb chemickou reakcí navzájem reagujících volných radikálů (rozpadají se vazby C-H), které se uvolňují, když materiál absorbuje množství energie na jednotku hmoty získanou z ionizačního záření. Síť vzniká postupným spojováním dvou volných radikálů mezi sousedními řetězci za vzniku vazeb C-C. Výhodou je, že proces síťování výrobku je proveden až po zpracovatelském procesu (po vstřikování, vytlačování nebo vyfukování).

Radiační síťování se dosahuje ozařováním urychlenými elektrony nebo paprsky gama, přičemž v praxi zřetelně převládá síťování urychlenými elektrony. Urychlování se děje průchodem nabitě částice elektrickým polem o napětí několika milionů voltů, v němž je silovým působením elektrického pole částice urychlena. [8]

Na cestě přes hmotu způsobují urychlené elektrony změny v chemických vazbách za vzniku reakčních oblastí v molekulách polymeru. U mnoha termoplastů je následkem toho prostorové příčné síťování mezi molekulami. Proto se tedy mluví o radiačním síťování. Příčné zesíťování je chemické povahy, a proto je tepelně stabilní.

Existují-li funkční vazby v polymeru, např. terminální dvojné vazby jako TAIC (triallylisokyanurád), jsou TPE snadno reaktivní a dají se snadno zesíťovat. Ve fyzikálně-chemické rozpravě se zřekneme komplikovaných průběhů při radiačním síťování a větší pozornost budeme tak věnovat praktickým efektům. Radiačním síťováním se termoplastické polymery přemění na termoelastické. Profil vlastností se posune směrem k běžné pryži. Následkem toho můžeme dosáhnout řady zlepšení obzvláště vlastností hotového výrobku. [4]

Dostáváme výrobky, které ve srovnání z nesíťovanými TPE vykazují výrazně zvýšenou tvarovou stálost při zvýšených teplotách, zvýšené mechanické pevnosti, chemickou odolnost jako i zřetelně zlepšené hodnoty u dlouhodobých zkoušek. [8]



Obr. 1 Přehled změn u různých druhů polymerů po radičním síťování

## 1.2 Zlepšení vlastností při radičním síťování

- Tvarová stálost za tepla
  - Tepelná roztažnost
  - Zkouška žhavicím drátem
  - Přetvoření tlakem
- Odolnost vůči chemikáliím
  - Odolnost proti botnání
  - Odolnost proti hydrolýze
  - Koroze pod napětím



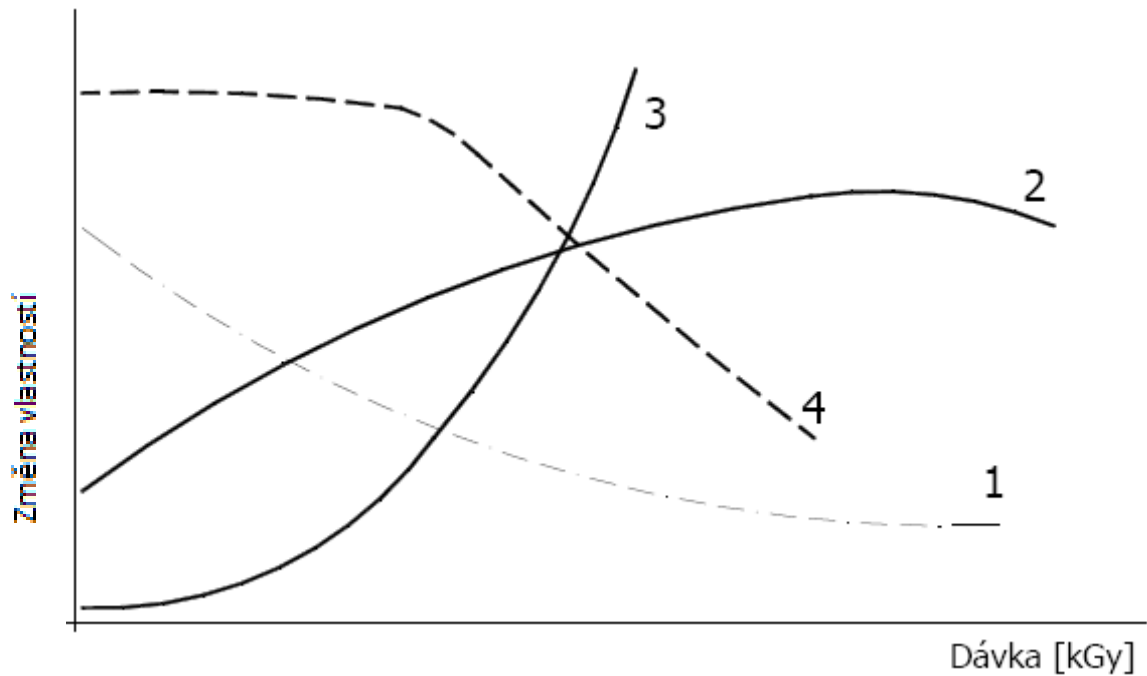
- Mechanické vlastnosti
  - Nárůst Youngova modulu pružnosti
  - Pevnost sváru
  - Sklon k tečení
  - Mez únavy při střídavém napětí v ohybu
  
- Částečně elektrické hodnoty
  - $\tan \delta$
  - Dielektrická konstanta [8]

## 2 MATERIÁLY URČENÉ K ZESÍŤOVÁNÍ

Výběr vhodného materiálu je rozhodující pro požadované úplné vlastnosti výrobků. Využitím technologie radiačního síťování se dají realizovat výrobky s vhodnými technickými výhodami a efektem ekonomického zisku.

Ze skupiny TPE lze síťovat urychlenými elektrony nebo paprsky gama celou řadu materiálů:

- TPE-O, také směsi nebo kopolymery na bázi polyolefinů (PE, EPDM, EVA atd.)
- TPE-S, kopolymery, u nichž komponentou jsou styrenové bloky, jako např. SBS
- TPE-U, termoplastické polyuretany na bázi éteru a esteru
- TPE na bázi termoplastických fluorelastomerů, PVdF a ET-FE
- Chlor obsahující TPE (PVC-směsi)
- jiné TPE (na bázi NR, NBR)
- TPE-E (kopolymerů polyeteresteru)
- TPE-E (např. Hytrel) jsou síťovatelné po úpravě, pro TPE-A (Polyether(ester)-blokových amidů, PEBA) nejsou zatím dostupné žádné hodnoty, přesto se dá v podstatě na základě zkušeností s polyestery a polyamidy očekávat nějaká síťovatelnost
- TPE-V (na bázi vulkanizovaných bloků EPDM) jsou zpravidla méně vhodné, protože už obsahují dalekosáhle provulkanizované oblasti a vykazují pouze malý sklon k příčnému zesíťování. Výjimkou je zde nově vyvinutý polyolefinický TPE-V s vulkanizovanými bloky EPDM, vložený do ložiska PE, u kterého radiačním síťováním docílujeme zřetelného zlepšení vlastností. Rovněž u běžných obchodních značek TPE s vysokým podílem polypropylenu nebo na základě SEBS nebylo doposud dosaženo žádného podstatného zlepšení vlastností
- U některých TPE je potřebná přítomnost nepatrného množství síťovacího činidla ve směsi. U síťovatelných směsí nabízených trhem jsou tato činidla už zapracována, ale dají se přidávat také jako předsměsi. [8]

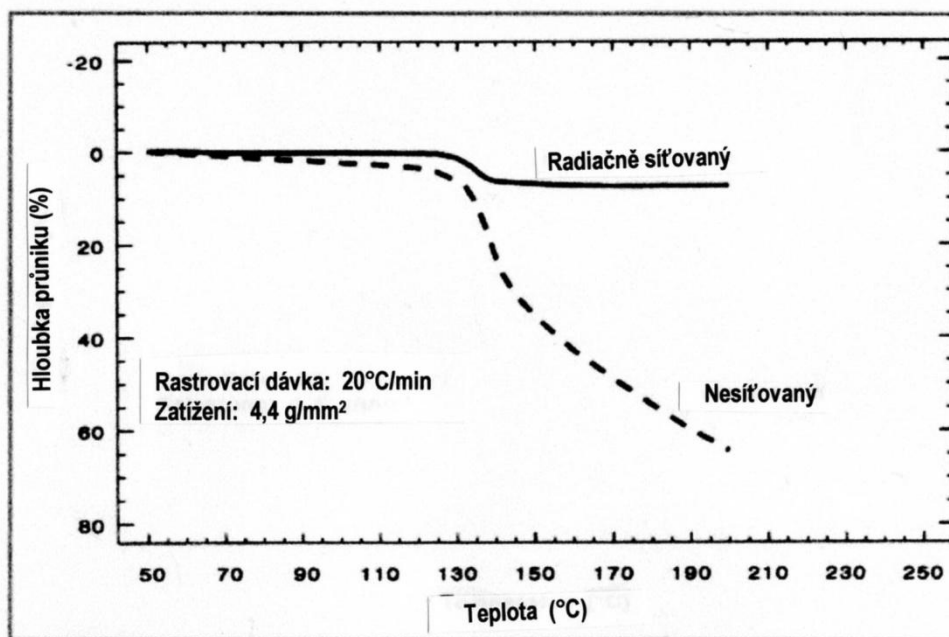


Obr. 2 Obecný graf změny důležitých vlastností u sířovatelných termoplastických elastomerů [8]

1 – tažnost, 2 – pevnost v tahu, 3 – tvarová stálost za tepla, 4 – botnění

## 2.1 Důležité změny TPE

TPE si zachovají radiačním sířováním charakter vulkanizovaných kaučukových směsí, s omezeními, které jsou podmíněny heterogenní strukturou kopolymerů. Následkem toho je, že se po sířování odráží termoelastické chování také v řadě charakteristických parametrů – viz obr. 3.



Obr. 3 Termomechanická analýza (TMA) radiačně zesíťovaného bezhalogenního TPE-V (materiál Dytron XL 7300) [3]

## 2.2 Vlastnosti TPE

### 2.2.1 Mechanické vlastnosti

Pevnost v tahu narůstá u TPE-O na bázi EPDM s rostoucím stupněm zesíťení ze zkušenosti o 20% až 30%, tažnost se ale přitom snižuje. Mezi materiály, u kterých je nárůst mechanických vlastností nejvýraznější, můžeme uvést jako příklad Fluor-TPE, u něhož se pevnost v tahu radiačním síťováním zdvojnásobila, současně narůstá vrubová houževnatost a zlepšují se hodnoty dlouhodobých zkoušek. Na základě zkušeností z radiačního síťování polyolefinů se dá očekávat, že se zřetelnělepší mez únavy při střídavém napětí v ohybu, zkoušky s odpovídajícími TPE, ale stále ještě chybějí. [2]

### 2.2.2 Fyzikální vlastnosti

Fyzikální vlastnosti TPE závisí jak na vlastnostech elastomeru, tak i na poměru mezi obsahem tvrdé a měkké fáze. Zpracovatelnost TPE ovlivňuje také molární hmotnost a stupeň mísitelnosti mezi měkkou a tvrdou fází. Odolnost proti olejům a rozpouštědlům je obvykle lepší, je-li tvrdá fáze krystalická, nebo lze-li do TPE přimíchat polymer schopný krystalizace.

Jako kritérium pro rozdělení TPE se nabízejí právě fyzikální vlastnosti, zejména změna vlastností s teplotou, tvrdost při pokojové teplotě, nebo modul elasticity. Pokud by se přihlíželo k tomu, že hlavní aplikační oblast elastomeru se pohybuje v rozsahu tvrdostí okolo 85 Shore A, ev. 35 Shore D, potom by zde mohla být jedna praxi odpovídající hranice pro rozdělení TPE na takové, které jsou blíže elastomerům a termoplastům. Dále je třeba pamatovat na to, že u tvrdších polymerů se při daném zatížení vyskytují jenom odpovídající malé deformace. Poté by se TPE daly rozdělit do tří skupin:

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

Zatímco první třída ve středním a vyšším rozsahu tvrdosti je blíž elastickým termoplastům než termoplastickým elastomerům, obsahuje druhá třída víceúčelové TPE, které v teplotním rozsahu použití stojí blízko elastomerům. Název třídy technické TPE (také se označují jako konstrukční TPE) pochází z již mezi plasty zavedeného termínu technické plasty, ev. konstrukční plasty. Zavedení tohoto nového pojmu se bere jako ohraničení těchto ztužených produktu oproti měkkým elastomerům s tím, že mohou být užity pro četné konstrukční účely, a to i pro takové, kde nemohou být užity víceúčelové TPE. Díky tomu se dá snížit počet skupin TPE na dvě:

- měkké víceúčelové TPE
- tvrdší technické TPE [2]

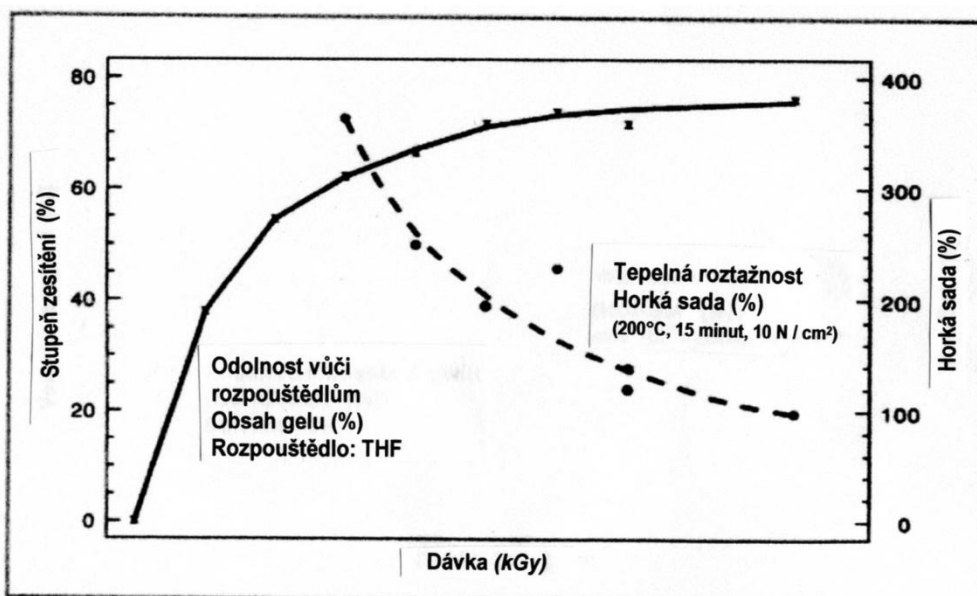
### 2.2.3 Pevnost sváru

V oblasti rozhraní ploch se radiačním sít'ováním nad sebou ležící plochy sváru dále posilují. Následkem toho změříme značný nárůst pevnosti sváru. Zvýšení pevnosti sváru je zvláště silně vyhraněné, když obsažená sít'ovací činidla difundují na rozhraní ploch. Zlepšení pevnosti sváru o 6% až 600% vůči výchozímu nesít'ovanému materiálu vykazuje například TPE na bázi směsi EPDM PP. [2]

### 2.2.4 Reakce na teplo

Mechanické vlastnosti polymerních látek při zvýšených teplotách jsou funkcí stupně zesítnění a dají se jako řada dalších vlastností nastavit radiační dávkou na specifické požadavky výrobku. Zesítněný TPE je termoelastický, není už tedy tavitelný. Má zachovány elastomerní vlastnosti nad původní teplotou tání příp. teplotou skelného přechodu. Termomechanická analýza (TMA) bezhalogení před plamenem chráněné směsi TPE ukazuje, že zatížená penetrační sonda po radiačním síťování už nepronikne skrz materiál ani nad teplotou zpracování vzorku (obr. 3).

Typická zkouška průmyslu kabelů a smršťovacích výrobků, jako je měření tepelné roztažnosti (hot set) při teplotě 200 °C s tahovou silou od 0,1 do 0,2 MPa, vyhoví u většiny radiačně zesítněných TPE (obr. 5).



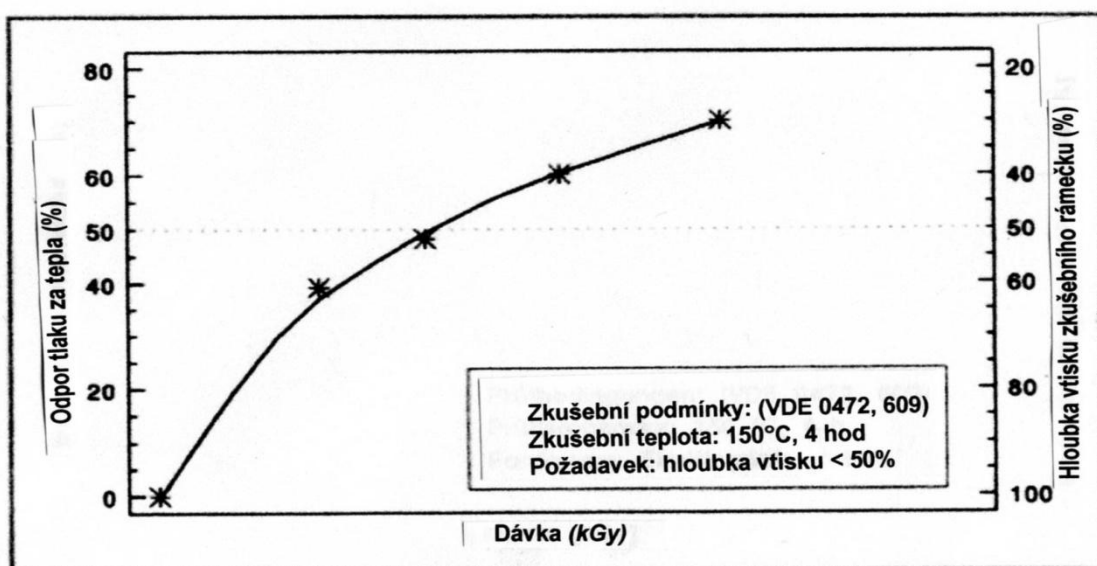
Obr. 4 Síťování vytlačovatelného TPE-U [3]

### 2.2.5 Tlakové tváření

Zbytek tlakové deformace se se stoupajícím stupněm zesítnění zlepšuje. Zlepšení ve spodní oblasti teplot je poměrně malé, protože TPE vykazují zpravidla při pokojové teplotě dobré hodnoty. Intenzita zesítněného TPE je zřetelně znát teprve za vyšších teplot. Měření radiačně zesítněných zkušebních desek TPE ukazuje, že optimalizované směsi na bázi polyolefinů vykazují i při 160 °C ještě použitelné hodnoty tlakové deformace a tím profil vlastností proniká daleko do oblasti klasických elastomerů (obr. č. 5). [2]

### 2.2.6 Tepelný tlak

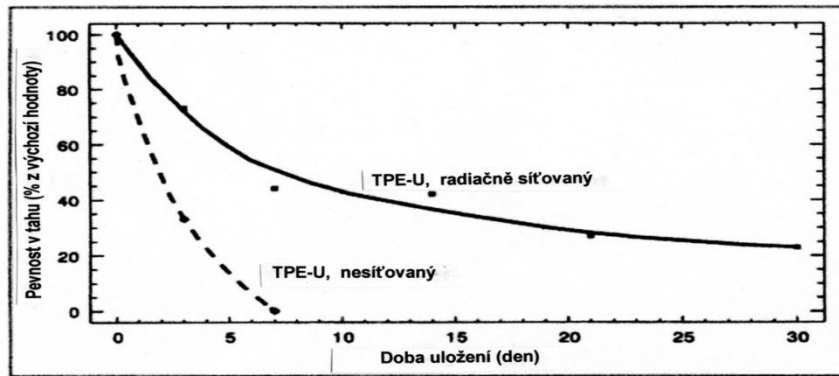
V průmyslu kabelů se k určení krátkodobého tepelného zatížení měří místo tlakové deformace tepelný tlak. Při zkoušce je kovový břit přitlačen na kabel po dobu obvykle 4 hodiny za zvýšené teploty (např. při 160°C). Hloubka vtisku do izolace nebo do pláště nesmí překročit 50%. TPE-U, které obvykle mají potíž této zkoušce vyhovět při 100°C až 120°C, po radiačním zesíťování splní tento požadavek dokonce ještě při 150°C až 160°C (obr. č. 5). [2]



Obr. 5 Odolnost vůči tvarování za tepla (VDE 0472 609) radiačně síťovaného termoplastického polyuretanu [3]

### 2.2.7 Odolnost vůči chemikáliím

Běžným měřítkem stupně zesíťování je obsah gelu. Přitom se určuje podíl nerozpustného polymeru v rozpouštědle. Nezesíťovaný polymer se zpravidla 100% rozpustí, tj. obsah gelu je nulový. S obsahem gelu koreluje botnavost, odolnost vůči hydrolýze (obr. č. 6) a tedy i odolnost vůči tvorbě trhlinek způsobených pnutím, které se radiačním síťováním TPE dají výrazně zlepšit. Objemy botnání zesíťovaného TPE po uložení v olejích ASTM byly zčásti sníženy při faktoru 2 až 3. Sníženým botnáním při současném nárůstu pevností se dají oblasti využití TPE ještě dále rozšiřovat. [10]

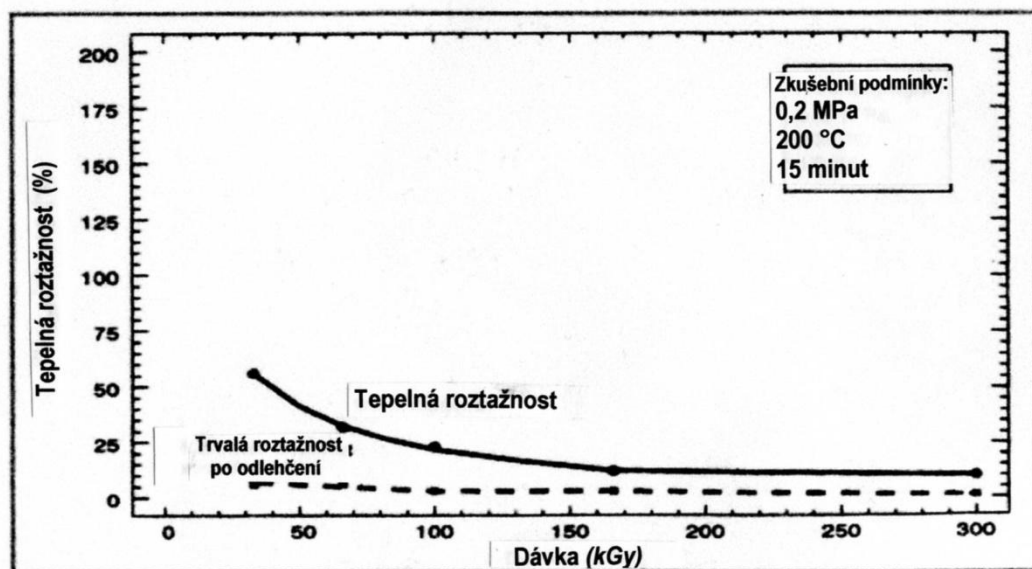


Obr. 6 Odolnost vůči hydrolyze TPE-U ve vřící vodě [3]

### 2.2.8 Ochrana před plamenem

U zesíťovaného TPE je sklon k odkapávání v případě požáru znemožněn nebo alespoň značně redukován. Proto radiační síťování nachází využití v ochraně před plamenem TPE dle normy UL94-V0 a V1. Radiační síťování probíhá pod zpracovatelskou teplotou, čímž je zaručena tvarová stálost v průběhu síťování a odpadá aktivace ochrany před plamenem během procesu síťování.

Chování hoření ve smyslu termooxidačních pochodů příp. chemického rozkladu otevřeným plamenem (LOI) je zvoleným výběrem materiálu a v něm obsaženou ochranou před plamenem, určenou přísadami a antioxidanty a místy zesíťování příznivě ovlivněn. [3]



Obr. 7 Odolnost ochrany před plamenem (VDE 0472 609) radiačně síťovaného polyuretanu (TPE-V) [3]



### 2.3 Výhody a nevýhody vlastností TPE

Termoplastické elastomery mají řadu výhod oproti běžným pryžím, patří mezi ně:

- Oproti běžným pryžím mají TPE jednoduché zpracování podobné termoplastům, což umožňuje nižší náklady na výrobu
- Náklady na výrobu se snižují i díky rychlosti výrobního cyklu, u běžné pryže je nutná vulkanizace lisováním, která trvá několik minut, u TPE trvá výrobní cyklus několik sekund
- U běžných pryží se většinou přetoky rovnají odpadu, u TPE je možné opětovné zpracování bez změny vlastností výrobku.
- Nižší spotřeba energie při výrobě
- TPE je výhodnější i z důvodu lepší kontroly kvality a přesnějších tolerancí při výrobě vstřikováním [6]

Termoplastické elastomery mají i nevýhody oproti pryžím, a jsou to:

- Vysoké náklady na výrobní zařízení, pokud se inovuje zařízení, které bylo přizpůsobeno na výrobu pryží
- Nutnost začlenění sušáren do procesu zpracování TPE, u zpracování pryží to není nutné
- Zatím se vyrábí omezený počet TPE s nízkou tvrdostí ( 35 Shore A), většina TPE má Shore 65 A
- TPE vyžaduje pro své zpracování vstřikováním vysoké teploty a tlaky, oproti pryží, která vyžaduje nižší tlaky a nižší teploty [6]

### 2.4 Aplikace TPE

Díky své vysoké houževnatosti byly některé typy TPE použity k náhradě termoplastů. Jednou z prvních oblastí, kde se staly TPE komerčně důležité, je náhrada vulkanizovaných kaučuků. V této aplikaci jsou i značné ekonomické výhody, jako vyloučení přípravy směsi kaučuků s dalšími (vulkanizačními) přísadami, také vyhnutí se

drahému procesu vulkanizace, která je poměrně pomalá a probíhá prakticky vždy za vyšších teplot.

Naopak přeměna TPE z kapaliny ke kaučukovitému výrobku je rychlé a probíhá za chlazení. Tato schopnost TPE dává výrobě možnost produkovat výrobky podobně pryži užitím rychlých postupů výroby vyvinutých pro plastikářský průmysl, např. vstřikováním a podobně. Odpad může být většinou recyklován. Bohužel měkké TPE mají malou odolnost k rozpouštědlům a olejům, proto mohou být použity jen v oblastech, kde nejsou tyto vlastnosti tak důležité a dále jako adheziva a polymerní modifikátory. Tvrdší produkty, založené např. na polyuretanech, polyesterech a polyamidech, mají větší odolnost k olejům a rozpouštědlům. Proto jsou používány i v takových aplikacích jako jsou brzdové hadice nebo těsnění a další součásti hnacích a řídicích systémů automobilů nebo lokomotiv. [2] Konečné aplikace jsou tedy např.: náhrada klasické pryže (podrážka u bot), adheziva, těsnicí materiály, povlaky, opláštění drátů a kabelů.



Obr. 8 Vybrané produkty TPE

### 3 ZAŘÍZENÍ PRO RADIAČNÍ SÍŤOVÁNÍ

Od konce sedmdesátých let jsou k dispozici efektivní a technicky vyspělá zařízení, která se stala základem pro úspěšné průmyslové využití radiační technologie. V praxi jsou pro radiační síťování nasazovány vedle přístrojů záření gama v první linii výkonné a hospodárné elektronové urychlovače. Taková zařízení nabízejí na jedné straně značné kapacity, na druhé straně mají ale vysoké požadavky na investiční připravenost a know-how k provozu těchto zařízení. Ve skutečnosti je ve světě jen málo firem, které by odpovídající zařízení mohly plně využít k radiačnímu síťování svých výrobků. Pro širokou paletu výrobků je také zapotřebí rozdílné zařízení, aby se vždy použilo ekonomicky nejvýhodnější zařízení, nebo z technických důvodů zařízení s vyšším výkonem energie elektronů. [9]

Jeden urychlovač elektronů radiačního výkonu 4.5 MeV a 150 kW nabízí celkovou kapacitu více než 100000 m<sup>3</sup> za rok pro síťování vstřikovaných výrobků. Pro síťování kabelů a vodičů jsou v radiačních centech k dispozici manipulační systémy s rychlostmi až 1000 m/min. [9]

#### 3.1 Výhody radiačních středisek

Na základě požadavků trhu byla vyvinuta řada zařízení pro radiačně síťovatelné TPE. Zvláště jsou k dostání TPE jako hotové směsi na bázi polyolefinů, styrolu, polyuretanu a fluorelastomerů.

Jejich zpracování se uskutečňuje na stávajícím zařízení, jak je u TPE všeobecně běžné. U některých vytlačovacích strojů je k zpracování TPE potřeba pouze vyměnit šnek, který je dimenzován na větší smykovou sílu.

Síťování se děje na hotovém výrobku v následujícím kroku. Protože oba pracovní kroky jsou časově a prostorově od sebe oddělené, může se vytlačování příp. vstřikování a síťování odděleně optimalizovat a maximální rychlosti procesu tak snižují výrobní náklady. Tato separace postupu síťování má zvláště význam při vytlačování bezhalogenních materiálů chráněných proti plamenu.

Odpady z celého výrobního procesu primárního výrobce, i nesíťované, se mohou v rámci běžné recyklovatelnosti TPE znovu používat.

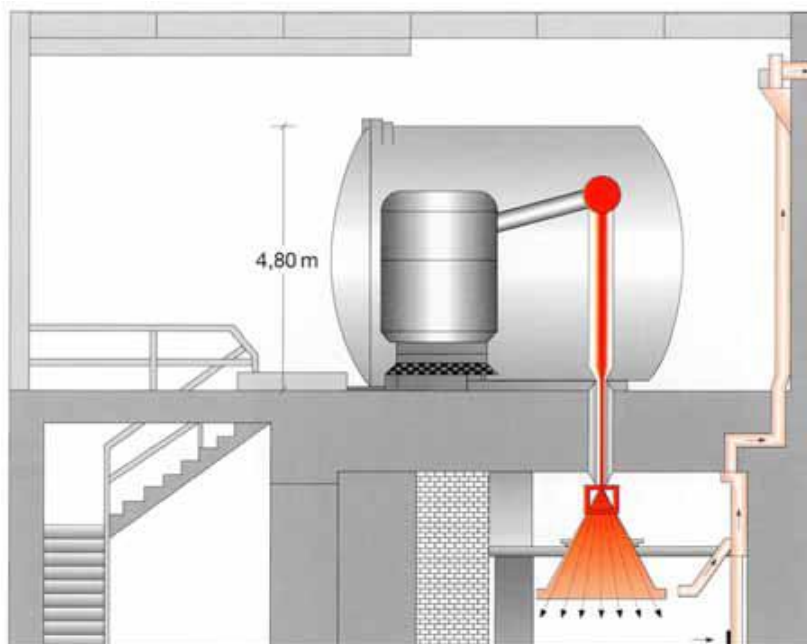
Odpadají tak požadavky na stanovení expozice kroku síťování, vedle toho investiční náklady na zařízení, náklady na provozní dílny, vysoce specializovaný personál, spotřebu energie.

### 3.2 Aspekty z hlediska použití

Radiační síťování se děje, jak už bylo zmíněno, na hotovém výrobku. Zařízení Gamma nabízí tu výhodu, že hloubka proniknutí elektromagnetických vln je mnohem vyšší, než u elektronů. Proto se výrobky síťují jako paletované zboží. Nevýhodou je několikahodinová doba ozařování, aby se dosáhlo požadovaného stupně zesílení.

Elektronovými urychlovači se aplikuje dávka ozáření v několika sekundách, průnik elektronů do materiálu je ovšem menší.

Moderními elektronovými urychlovači se dá vyrobit výkon záření 150 kW při urychlovacím napětí 4.5 MV. Hloubky průniku takových elektronů jsou ovšem pro většinu výtlačků a vstřikovaných dílů plně dostačující. [8]



Obr. 9 Elektronový urychlovač [8]

V deskách TPE hustoty  $1 \text{ g/cm}^3$  se docílí s elektrony 4.5 MeV užitečný průnik cca 15 mm, příp. alespoň 33 mm u oboustranného ozáření (cestu přes vzduch můžeme

zanedbat). Tím je tento postup vhodný pro většinu kabelů, vodičů, smršťovacích produktů, trubek, profilů atd.

Také vstřikované díly zabalené v kartonech jsou radiačně síťovány. Malé díly, které mají průměrnou hustotu  $0,15 \text{ g/cm}^3$ , jsou síťovány v cca 22 cm vysokém, zavřeném kartónovém obalu. Vybalování není potřebné. Přitom je nabízena ozařovací plocha půdorysu do 120 cm x 160 cm, takže je možné síťovat také objemné nebo dlouhé díly. Samozřejmě existují v radiačních střediscích speciální manipulační systémy pro zboží balené v bubnech, v kartonech nebo na paletách. [8]

### 3.3 Dávka intenzity záření

Na rozdíl od čistě chemických postupů síťování ( síťování pomocí silanů, peroxidů ) lze hranice, u kterých se dá nastavit stupeň zesítnění, neobyčejně jednoduše realizovat a kontrolovat.

U daného výrobku je hustota zesítnění určena jedním faktorem: absorbovanou dávkou. Dávka je jazyková zkratka výrazu dávky energie a udává množství absorbované energie na jednotku hmoty. Její jednotka je Gray:

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

Pro úplnost uvádíme přepočtení na dřívější jednotku:

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

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

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

Výkon zdroje radioaktivního záření je charakterizován jeho aktivitou. Jednotka je Becquerell.

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

Nastavení stupně zesítnění přes dávku je možné optimalizovat, v závislosti na druhu výroby podle nejdůležitějších vlastností, tj. podle hledisek technické aplikace.

### 3.4 Aspekty z hlediska životního prostředí

Vedle výhod výrobku a specifických výhod procesu se dostávají do popředí aspekty velmi příznivé k životnímu prostředí, zvláště neobyčejně nízká spotřeba energie radiačního sítování. Nesítované nebo vadné odpady se dají znovu plně použít v rámci recyklovatelnosti termoplastického základního materiálu. Radiační sítování je jako poslední krok z řetězce zpracování termoplastických hmot, přináší ale závažný příspěvek ke snížení odpadů, aniž bychom se museli zříct elastomerních vlastností v hotovém výrobku.

Jestliže TPE byly už jednou radiačně sítovány, uzavírá se analogicky možnost přímé recyklace replastifikací.

Zprávy hovoří o dalším úspěšném použití 10% až 20% nejmeno namletého materiálu u termomechanicky náročných směsí polyolefinů. Rozemleté radiačně sítované výrobky se však dají přimíchávat do nových výrobků bez pozorovatelné ztráty kvality novým sítováním. U materiálů s vysokým obsahem plniva, jak se používá při výrobě kabelů, by neměl být problém využít značně vyšších podílů namletých materiálů.

Radiačně sítované výrobky (materiály) nejsou a z čistě fyzikálních důvodů ani nemohou být po procesu radioaktivní. [10]

## 4 ZKOUŠENÍ MATERIÁLŮ

### 4.1 Mechanické zkoušky statické

Dle účelu a způsobu zkoušení lze mechanické vlastnosti rozdělit následovně:

- a) Mechanické vlastnosti zjišťované *krátkodobým působením statické síly nebo statického napětí*. Zjišťuje se chování materiálu za konkrétních podmínek napětí, deformace, teploty a času. Jednotlivé podmínky se mohou měnit v širokém rozmezí podle účelu zkoušky, s výjimkou doby trvání zkoušky, která se buď nemění vůbec, nebo jen v mezích, které nemají vliv na hodnotu zjišťované vlastnosti. Krátkodobých zkoušek se používá hlavně pro rychlou kontrolu jakosti. Hlavním požadavkem je dobrá reprodukovatelnost výsledku bez zřetele na možnost jejich širšího využití v praxi. [7]
- b) Mechanické vlastnosti zjišťované *dlouhodobým působením statické síly nebo statického napětí*. Zjišťuje se chování materiálu za konkrétních zkušebních podmínek v podstatně delším časovém úseku, než je tomu u zkoušek krátkodobých. Zjišťují se závislosti hodnot zkoušených vlastností na čase. Podmínky zkoušky (napětí, teplota, eventuálně vlhkost) se mohou měnit v širokém rozmezí podle účelu zkoušky. Dlouhodobé zkoušky slouží ke zjišťování inženýrských vlastností, jejichž znalost podmiňuje správnou aplikaci plastických hmot. [7]
- c) Mechanické vlastnosti zjišťované *cyklicky nebo acyklicky měnícím se napětím*. Zkouší se únava materiálu za určitých podmínek časově proměnného namáhání, konstantní teploty eventuálně vlhkosti. Doba trvání zkoušky je buď předepsána, nebo závisí na odolnosti materiálu proti únavě (zkouška do porušení). [7]

#### 4.1.1 Tahová zkouška

Jedna z nejdůležitějších zkoušek materiálu hodnotící jeho pevnost. Při zkoušce tahem je materiál namáhán silou tak, že dojde k jeho porušení. Pevnost v tahu byla dříve vyjadřována silou, vztaženou na jednotkový průřez, tedy napětím, potřebným k přetržení hmoty. Zavedením dokonalých systémů snímání napětí a deformace a jejich grafickým záznamem jsou získávány pracovní diagramy, kde celá tahová křivka poskytuje širší a přesnější informaci o deformačním chování materiálů za různých podmínek zkoušení.

Kdyby byl materiál isotropní, bylo by napětí v celém průřezu zkušební tělesa rozloženo rovnoměrně. V praxi se tento ideální stav nevyskytuje, vlastnosti plastů se v různých místech liší a tahové napětí je rozloženo rovnoměrně. Vznikají tím smyková napětí. [7]

#### 4.1.2 Průběh tahové zkoušky

Zkouškou tahem se protahuje zkušební tělísko upnuté v trhacím stroji neměnnou rychlostí. Během protahování materiálu se zaznamenávají hodnoty síly a prodloužení potřebné k přetržení. Následně nám tyto hodnoty slouží k hodnocení potřebných charakteristik.

**Napětí v tahu** – definováno jako napětí, které je potřebné k protažení zkušební tělesa.

Výpočet je dán podílem síly a plochy, na kterou síla působí.

**Prodloužení** – vzniká působením napětí v tahu. Je to protažení vyjádřené v procentech.

**Pevnost v tahu** – je největší napětí, které snesl zkušební vzorek a je dán podílem největší zátěžné síly a původního průřezu tělesa.

**Tažnost** – zaznamenané tahové napětí v okamžiku přetržení tělesa.

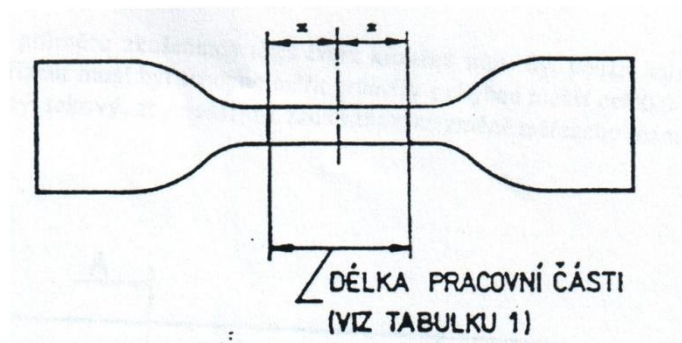
**M50, M100, M200, M300, M500** – vzniklé napětí při protažení tělesa 50%, 100%, 200%, 300%, 500%.

Pro porovnání vlastností měřených vzorků se v této práci zaměřujeme na pevnost v tahu, tažnost a M50, M100, M200, M300, M500

#### 4.1.3 Zkušební tělesa

Zkušební tělesa musí vyhovovat specifickým požadavkům příslušné materiálové normy, případně všeobecným podmínkám ze souboru norem pro jejich přípravu. Pro tahové zkoušky se používají standardní zkušební tělesa z termoplastu ve tvaru oboustranných lopatek, jejichž vlastnosti jsou dobře reprodukovatelné. Jejich tvar a přesné rozměry (mm) udává norma ČSN EN ISO 37. Standardní tloušťka zúžené části musí být  $2,0\text{mm} \pm 0,2\text{ mm}$  pro typy 1, 2 a 3. Tloušťka  $1,0\text{mm} \pm 0,1\text{mm}$  pro typ 4 (viz Tab. 1). Délka pracovní části musí odpovídat tabulce 1. Ostatní rozměry lopatek jsou dány příslušným sekacím nožem. [13]





Obr. 10: Rozměry zkušebního tělesa pro zkoušku tahem [13]

Tab. 1 Rozměry zkušebních těles pro tahovou zkoušku [13]

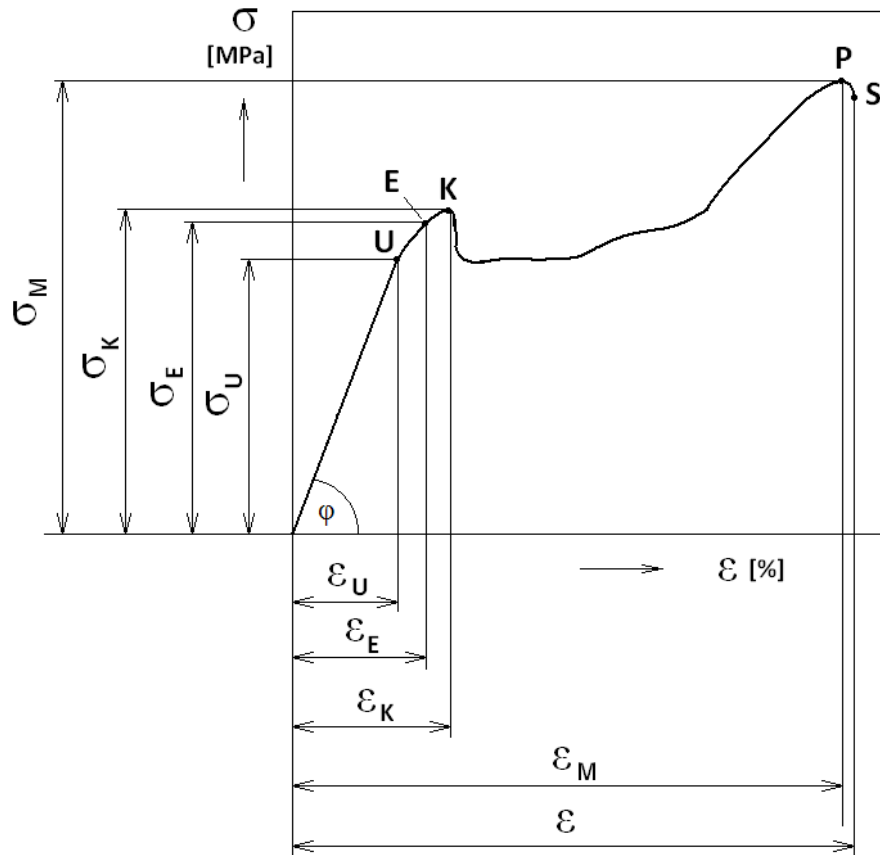
Typ zkušebního tělesa	Délka pracovní části
Typ 1	25,0 ± 0,5mm
Typ 2	20,0 ± 0,5mm
Typ 3	10,0 ± 0,5mm
Typ 4	10,0 ± 0,5mm

#### 4.1.4 Tahová křivka

Základní zkouškou, která stanovuje mechanické parametry materiálu, je tahová zkouška. Na zkušební těleso působí ve směru jeho podélné osy stále se zvětšující síla až do okamžiku, při kterém dojde po určité deformaci k jeho přetržení, tj. destrukci, nebo kdy měřené parametry (zatížení, prodloužení) dosáhnou zvolených hodnot.

Provádí se pomocí trhacího stroje. Podstatou tohoto zařízení jsou dvě čelisti, z nichž jedna, obvykle ta horní, je spojena se siloměrným čidlem a druhá se může od první vzdalovat konstantní rychlostí. Mezi tyto čelisti se upne zkušební těleso, vyrobené přímo vstřikováním do formy, nebo vyseknuté, případně vyfrézované z destičky. [7]

Obecná tahová křivka polymeru, na které se vyskytují možné napěťové a deformační meze.



Obr. 11 Pracovní digram tahové zkoušky [7]

Bod na křivce, kde končí hookovské chování, je *mez úměrnosti*  $\sigma_E$  a vyjadřuje se smluvním napětím:

$$\sigma_E = \frac{F_E}{A_o} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

Zakřivení, vznikající v dalším průběhu křivky, zahrnuje již časově závislou elastickou a plastickou deformaci. Místo, do kterého je ještě tato deformace vratná, je *mezi pružnosti*  $\sigma_r$ :

$$\sigma_r = \frac{F_r}{A_o} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

Z tohoto bodu se po uvolnění napětí vrací deformace po celé křivce do původního bodu.

Zvětšuje-li se napětí nad mez úměrnosti, obvykle hodnota modulu pružnosti klesá. Zatímco napětí stoupá pomalu, deformace se rychleji zvětšuje. Naznačeno úsekem za mezí pružnosti, nastává zde převážně nevratná plastická deformace, hodnota modulu pružnosti je nulová. Tento přechod se nazývá *mez kluzu*  $\sigma_K$ . Projeví-li se na křivce za tímto bodem snížení napětí, je to *horní mez kluzu*  $\sigma_{Kh}$ , zatímco na pokračující křivce místo minimálního napětí je *dolní mez kluzu*  $\sigma_{Kd}$ .

Všechny meze kluzu se vyjadřují smluvním napětím:

$$\sigma_K = \frac{F_K}{A_o} \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

$$\sigma_{Kh} = \frac{F_{Kh}}{A_o} \quad [\text{MPa}] \quad (4)$$

$$\sigma_{Kd} = \frac{F_{Kd}}{A_o} \quad [\text{MPa}] \quad (5)$$

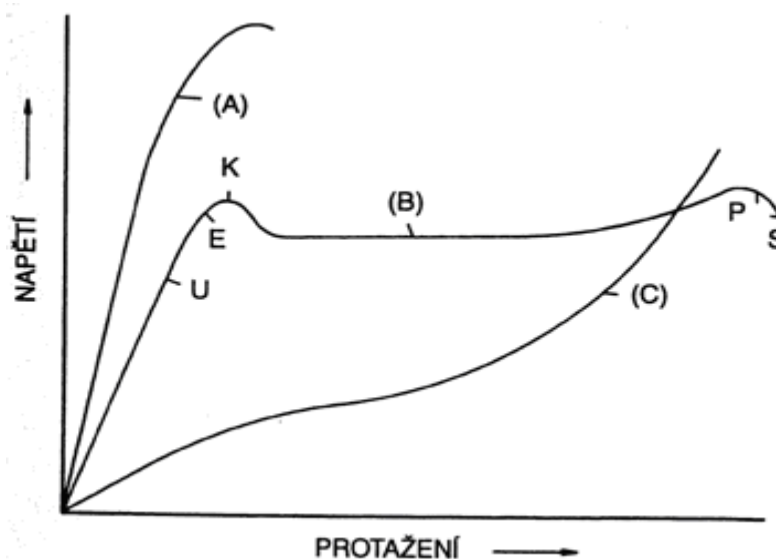
Za dolní mezí kluzu vzrůstá opět napětí do určité maximální hodnoty  $\sigma_{\max}$ , kde se těleso buď přetrhne, nebo nastává za touto mezí porušením soudržnosti další pokles napětí až ke  $\sigma_{destr}$ , kdy dojde k lomu.

Nastává-li destrukce za mezí pružnosti, kdy ještě nedochází k tak velkému protažení materiálu, označujeme tento lom jako *křehký*. Křehký lom vykazuje například bakelit, polystyrén, polymethylmetakrylát aj., předchází-li však velká deformace, jak je tomu u orientovaných polymerů nebo kaučuků, dochází k tzv. *tažnému lomu*, např. u polyamidů, polyesterů, polyetylenu, polypropylenu, měkčeného PVC, pryže apod. [7]

Mez pevnosti v tahu, nazývaná též jako pevnost v tahu, je definována jako napětí potřebné k přetržení, vztažené na původní průřez nebo krátce jako smluvní napětí potřebné k přetržení. Pro výpočet se dosazuje vždy maximální hodnota  $F_{\max}$ , i když k destrukci došlo později při nižším napětí:

$$\sigma = \frac{F_{\max}}{A_o} \quad [\text{MPa}] \quad (6)$$

První křivka (A) vystihuje chování tvrdě elastických, tuhých látek, s vysokou pevností a malou tažností. Jejich lom je *křehký*, jsou méně houževnaté, např. fenolformaldehydové, melaminové, epoxidové a jiné pryskyřice, polystyrén, polymethylmetakrylát, z klasických materiálů sklo a některé lehké kovy.



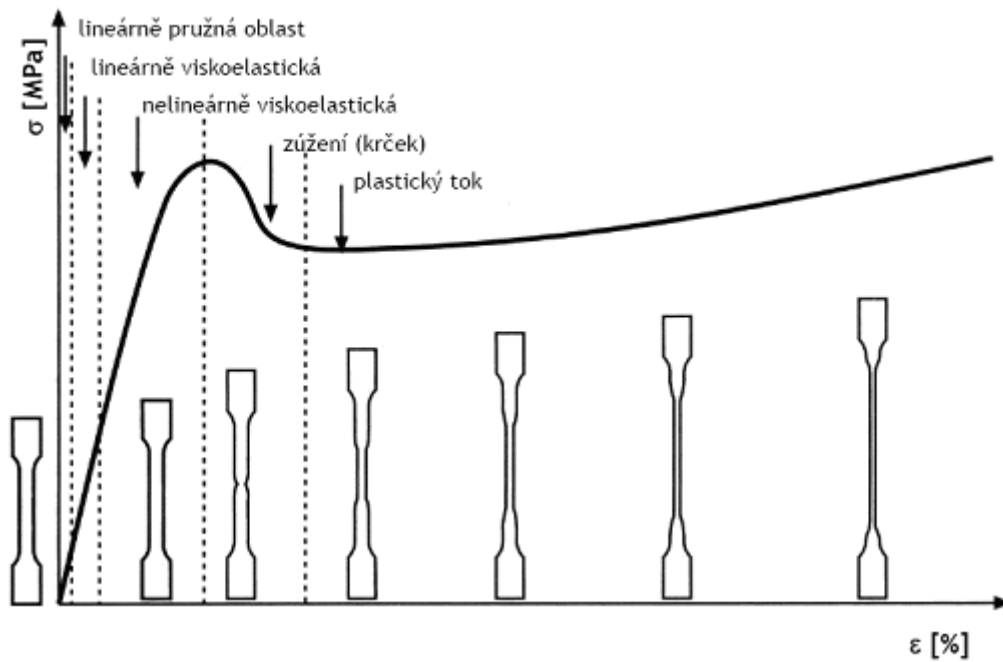
Obr. 12 Tvary tahových křivek různých polymerních materiálů [7]

Druhá křivka (B) znázorňuje chování látek více méně plastických, jsou méně tuhé a přibližně lineárním počátkem a větší plastickou oblastí, ve které se projeví horní mez kluzu. Za ní pak nastává pokles napětí a k lomu dochází zároveň s mezí pevnosti. Jsou to tak měkké materiály, že za horní mezí kluzu nastává snížení napětí a materiál se pak již orientuje a přetrhne až při mnohonásobném protažení. Zde vlastně je horní mez kluzu maximální hodnotou, tedy mezí pevnosti a pro výpočet pevnosti v tahu se dosazuje tato hodnota.

Třetí křivka (C) je typická pro elastomery. Nelineární plynulý průběh, zpočátku velká deformace při malém napětí, ke konci zvýšené napětí s tažným lomem, který je mezí pevnosti v tahu. [7]

#### 4.1.5 Tahové vlastnosti

Tahové vlastnosti zkušebních tělísek



Obr. 11 Deformační křivka [7]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je porovnání mechanických vlastností termoplastických elastomerů TPE-E a V-TPE-E, které jsou modifikovány radiačním sít'ováním o velikostech intenzity dávek 33, 66, 99, 132, 165 a 198kGy. Tyto vzorky budou následně porovnány se vzorky neozářenými.

Materiál byl zpracován vstřikovacím strojem ARBURG 170U ALLROUNDER 150-30 ve formě zkušebních tělísek. Materiály tělísek jsou TPE-E a V-TPE-E, které jsou následně ozářeny dávkami (33, 66, 99, 132, 165 a 198kGy) ve firmě BGS v Německu. Ozářená i neozářená část tělísek jsou podrobena tahové zkoušce a jejich data jsou zaznamenávána. Naměřená data jsou porovnávána s ohledem na ozáření resp. neozáření. Výsledky testů jsou graficky znázorněny a vyhodnoceny.

## 6 POUŽITÉ MATERIÁLY

Pro diplomovou práci byl použit materiál TPE-E (PTS-UNIFLEX-E25D/M\*800 natur) - (bez síťovacího činidla) a V-TPE-E (V-PTS-UNIFLEX-E25D/M\*M800/20 natur) - (se síťovacím činidlem). Materiály obsahují tepelné a zpracovatelské stabilizátory. Typ použitého síťovacího činidla je TAIC (Triallylisocyanurate). Přesné složení použitých přísad není po dohodě s výrobcem přesně publikováno. Tyto materiály byly ozářeny elektronovým beta zářením. V kapitole je uveden stručný popis uvedených materiálů včetně jejich vlastností a použití.

### 6.1 Materiál TPE-E ( PTS-UNIFLEX-E25D/M\*800 natur )

Jedná se o polymerní materiál, který spojuje výhody termoplastu a vulkanizovaných kaučukových směsí. Vynikající vlastností je termoplastická zpracovatelnost a ve srovnání s pryží odpadá proces vulkanizace.

*Tab. 2 Základní vlastnosti použitého TPE-E*

VLASTNOSTI	TESTOVACÍ METODA	JEDNOTKA	HODNOTA
<b>Tvrdość</b>	ISO 868	SHORE A	84
	ISO 868	SHORE D	27
<b>Hustota</b>	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,10
<b>Pevnost v tahu</b>	ISO 527-1/-2	MPa	35
<b>Prodloužení při přetržení</b>	ISO 527-1/-2	%	800
<b>Bod tání</b>	ISO 11357-1/-3	°C	165

#### 6.1.1 Použití TPE-E

V termoplastickém elastomeru TPE-E se pojí houževnatost a elasticnost s vynikající odolností proti rázům, roztržení a ohybové únavě. TPE-E se dodávají se širokým rozmezím hodnot tvrdosti Shore D. Obecně platí, že tvrdší typy se vyznačují zvýšenou tepelnou a chemickou odolností, zatímco měkčí typy mají dobré mechanické vlastnosti za nízkých teplot.



Rozsah vlastností, které lze u TPE-E získat, se odráží v různorodosti aplikací: hadice a hadičky, těsnění, pásy, membrány čerpadel, izolace drátů, háčky, úchyty, fólie, plachty, netkané textilie.

## 6.2 Materiál V-TPE-E ( V-PTS-UNIFLEX-E25D/M\*M800/20 natur )

Vlastnosti materiálu V-TPE-E se od materiálu TPE-E liší pouze přísadou síťovacího činidla. V tomto případě bylo při výrobě polymerní směsi přimícháno síťovací činidlo BETALINK™ (TAIC) v množství 5%. Toto síťovací činidlo bylo přímo určeno výrobcem polymeru.

Tab. 3 Základní vlastnosti použitého V-TPE-E

VLASTNOSTI	TESTOVACÍ METODA	JEDNOTKA	HODNOTA
<b>Tvrdość</b>	ISO 868	SHORE A	87
<b>Hustota</b>	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1,10
<b>Pevnost v tahu</b>	ISO 527-1/-2	MPa	18,5
<b>Prodloužení při přetržení</b>	ISO 527-1/-2	%	500
<b>Bod tání</b>	ISO 11357-1/-3	°C	165

## 7 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

Tato kapitola se zabývá příslušnými stroji a zařízení potřebné k realizaci diplomové práce. Před naplněním zásobníku vstřikovacího stroje bylo potřeba nejprve granulát vysušit. K tomu nám pomohl sušící stroj ARBURG THERMOLIFT 100-2. Samotné vstřikování tělísek bylo provedeno na stroji ARBURG ALLROUNDER 170U 150-30. Následovala mechanická zkouška tahem pomocí zkušebního stroje ALPHA TECHNOLOGIES TENSOMETER 2000.

### 7.1 Vysoušecí zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2

ARBURG THERMOLIFT 100-2 je zařízení, které slouží pro vysušení polymerního materiálu. Ovládání stroje se děje pomocí kontrolního panelu umístěného přímo na stroji. Materiál je vložen např. v textilních vacích a vysoušení probíhá několik hodin za teplot kolem 70-80°C. Následně může být vysušená směs dopravena do zásobníku vstřikovacího stroje. Parametry stroje jsou uvedeny v tabulce č. 3.



*Obr.14 Vysoušecí zařízení Arburg*

Tab. 4 Parametry vysoušecího zařízení Arburg

ARBURG THERMOLIFT 100-2	
Objem zařízení	100L
Objem zařízení s připojeným kontejnerem	200L
Provozní napětí	220/400V
Topný element	4.5kW
Ventilátor	0.95kW
Zdroj sušícího vzduchu	0.74kW
Celková spotřeba energie	5.5kW
Celková spotřeba energie včetně zdroje sušícího vzduchu	6.2kW
Množství sušícího vzduchu	90m <sup>3</sup> /hod

## 7.2 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 170U 150-30

Německá firma Arburg je jedna z největších na výrobu lisovacích a vstřikovacích zařízení. Nabízí vstřikovací stroje na výrobu plastů s různými uzavíracími silami. V oblasti působení zaujímá velkou část průmyslu na výrobu plastových dílů pro motorová vozidla, v elektronickém průmyslu, lékařském odvětví i na poli domácích spotřebičů.

Pro vystříknutí zkušebních tělísek byl použit stroj ARBURG ALLROUNDER 170U 150-30. Tento stroj využívá „chytrý“ ovládací a řídicí systém Selogica, díky němuž se stroj poměrně jednoduše obsluhuje na výklopném digitálním panelu. Tento systém rovněž umožňuje sledovat všechny prováděné cykly.

ALLROUNDER lze dle účelu použití přesně sladit se zadáním nejrůznější kvalitativní úrovně prostřednictvím různých variant a lze tedy nastavit a přizpůsobit dle požadavků zákazníka. Vysoká rychlost vstřikování dokazuje vyšší výkonnost stroje, což bývá určujícím faktorem pro různou oblast působení.



Obr. 15 Vstřikovací stroj Arburg [12]

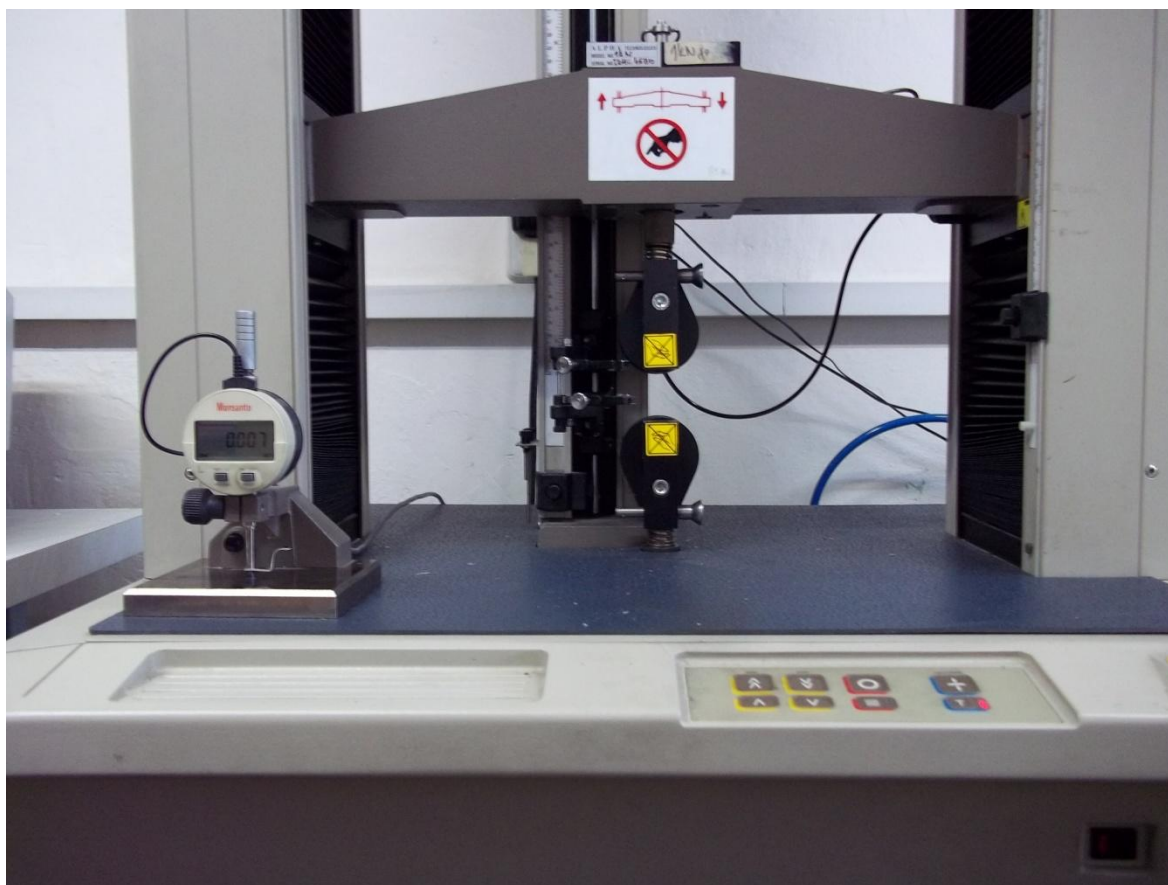
Tab. 5 Parametry vstřikovacího stroje Arburg

<b>ARBURG ALLROUNDER 170U 150-30</b>		
Vstřikovací rychlost	50	mm.s <sup>-1</sup>
Vstřikovací tlak	45	MPa
Doba chlazení	15	s
Teplota formy	30	°C
Dráha dávkování	45	mm
Tlak při přepnutí	45,6	MPa
Bod přepnutí	10	mm
Uzavírací síla	100	kN
Doba plnění	2,2	s
Síla dotlaku	40	MPa
Celkový čas dotlaku	10	s
Doba cyklu	40	s
<b>Teploty pásem plastikační jednotky</b>		
Teplota pod násypkou	30	°C
Teplotní pásmo 1	170	°C
Teplotní pásmo 2	185	°C
Teplotní pásmo 3	200	°C
Teplotní pásmo 4	210	°C

### 7.3 Zkušební stroj ALPHA TECHNOLOGIES TENSOMETER 2000

Zkušebním trhacím strojem byl původně zvolen ZWICK ROELL 1456, který je určen zejména pro plasty a kovy. Po odzkoušení několika vzorků bylo zjištěno, že stroj není vhodný pro zkoušený materiál z důvodu neustálého vyklouzávání tělíska z upevňovacích čelistí i přes důkladné pročištění čelistí a důsledném mechanickém upevnění vzorku. Z tohoto hlediska byl výše uvedený stroj shledán jako nevhodný ke zkoušce.

Po následné konzultaci (doc. Ing. David Maňas, Ph.D., Ing. Zdeněk Holík) a vyhodnocení problému bylo zvoleno jako další varianta pro zkoušku tahem stroj společnosti ALPHA TECHNOLOGIES typ TENSOMETER 2000, který je určen zejména pro zkoušky pryží. Tento stroj se ukázal jako správná volba, jelikož upnutí čelistí má řešení pneumaticky a tím pádem nedocházelo k vyklouznutí vzorku, což vedlo ke správnosti průběhu zkoušky.



Obr. 16 Čelisti stroje Alpha Technologies

## 7.4 Sít'ování zkušebních tělísek

Zkušební tělesa byla ozářena elektronovým beta zářením o energii 10MeV. Samotné ozařování probíhalo v německé firmě BGS Beta-Gama-Servise GmbH & Co, KG v pobočce Saal an der Donau. Dávky intenzity záření byly 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy. Tělíska byla rozložena rovnoměrně na palety, aby se dosáhlo rovnoměrného ozáření (viz. Obr. 17 a 18). Pro dosažení správné dávky ozáření musely palety se vzorky projíždět tolikrát ozařovacím zařízením, dokud nebylo dosaženo požadované hodnoty ozáření, přičemž jeden průjezd radiačním zařízením spočíval v ozáření na dávku 33kGy. Vzorky nemohou být jednorázově ozářeny větší dávkou než právě 33kGy, protože by došlo k znehodnocení materiálu vlivem tepelného namáhání.



*Obr. 17 Tělíska připravená na ozáření*



Obr. 18 Uložená tělíska v krabicích

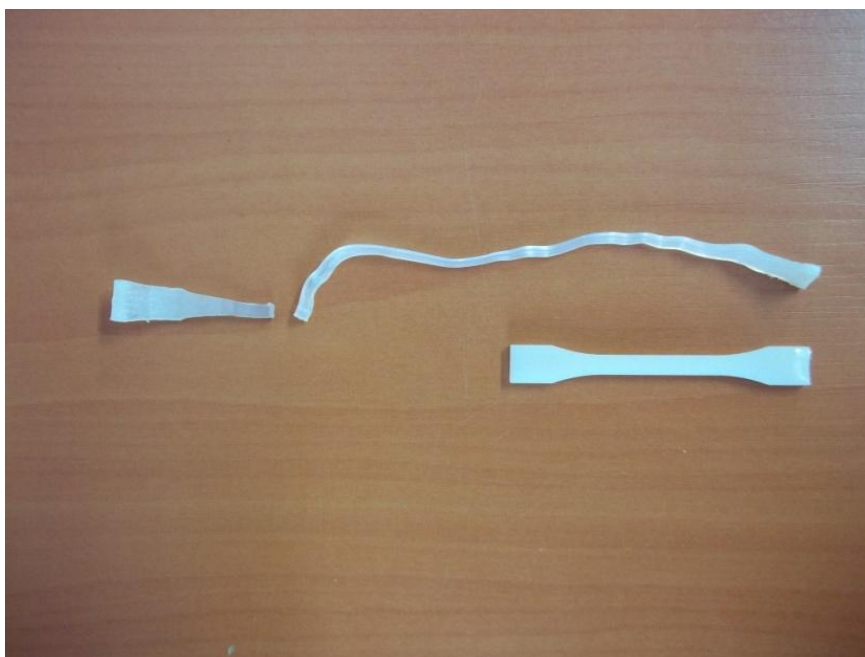
Správnost radiačního ozáření a celkový průběh procesu je doložen certifikátem firmy BGS Beta-Gama-Servise GmbH & Co, který je uveden jako součást přílohy.

## 8 TAHOVÁ ZKOUŠKA

Pro zkoušku tahem byl zvolen stroj firmy ALPHA TECHNOLOGIES, typ TENZOMETER 2000. Jednotná měření probíhala na materiálu TPE a V-TPE v ozářeném resp. neozářeném stavu při pokojové teplotě dle normy ČSN EN ISO 37. Zkušební tělíka, které byly ručně upevněny do pneumatických čelistí, byly namáhány jednoosým tahem ve dvou fázích. Rychlost posuvu byla zvolena na hodnotu 500mm/min.

Trhací stroj je kompatibilně spojen s počítačem, kde vkládáme vstupní data každého měřeného vzorku. Při průběhu zkoušky počítač ukládá zvolené hodnoty a prakticky ihned vykresluje trhací diagram. Po vykonání zkoušky jsou data k dispozici v podobě tabulek pro jednotlivé měřené soubory (série). Pro jednotlivé dávky ozářených tělísek byly použity série o počtu pěti kusů. Ten samý postup splňovaly i tělíka neozářené.

Dle normy ČSN EN ISO 037 musejí být zkoušena minimálně tři zkušební tělesa. [13] Pro lepší přesnost bylo pro mou práci vyhodnoceno těles pět.



*Obr. 19 Vzorek před a po zkoušce*



## 8.1 Vyhodnocení hodnot pomocí statických vztahů

Abychom mohli vyhodnotit výsledky jednotlivých měření, použijeme těchto statistických vztahů:

### Aritmetický průměr

Je statická veličina, která popisuje soubor mnoha hodnot. V běžné praxi se názvem průměr myslí aritmetický průměr.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

### Rozptyl

Je definován jako střední hodnota kvadrátu odchylek od střední hodnoty.

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

### Směrodatná odchylka

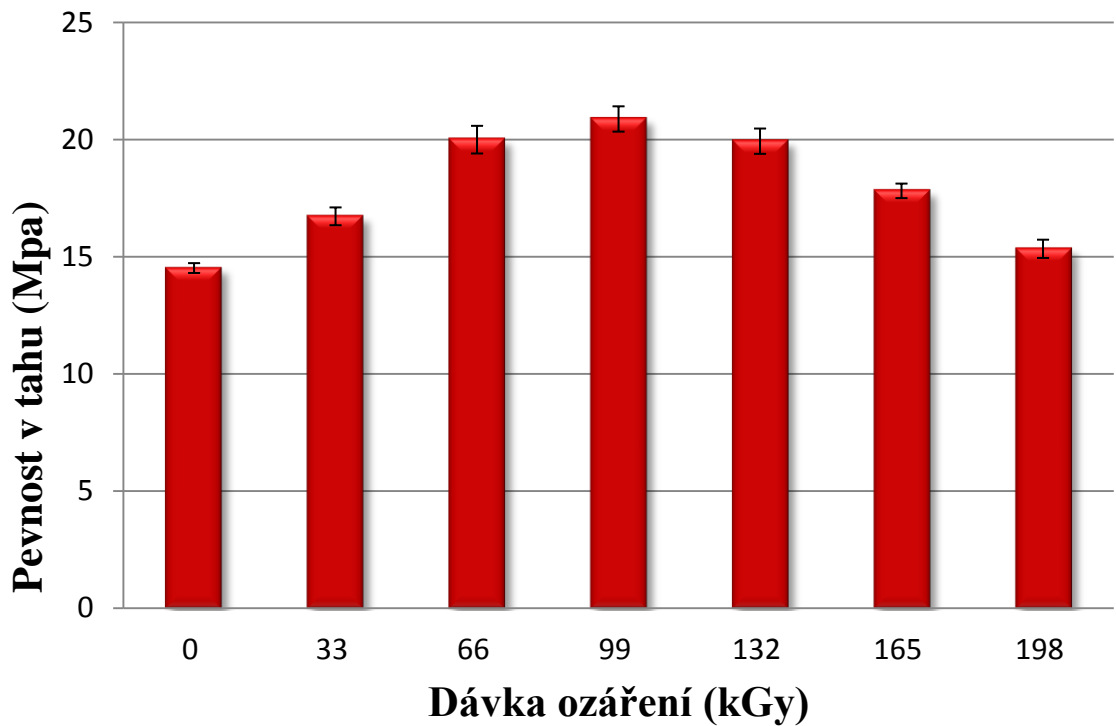
Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru.

$$s = \sqrt{s^2}$$

## 8.2 Tahové zkoušky pro PTS-UNIFLEX-E25D/M\*800 natur (TPE-E)

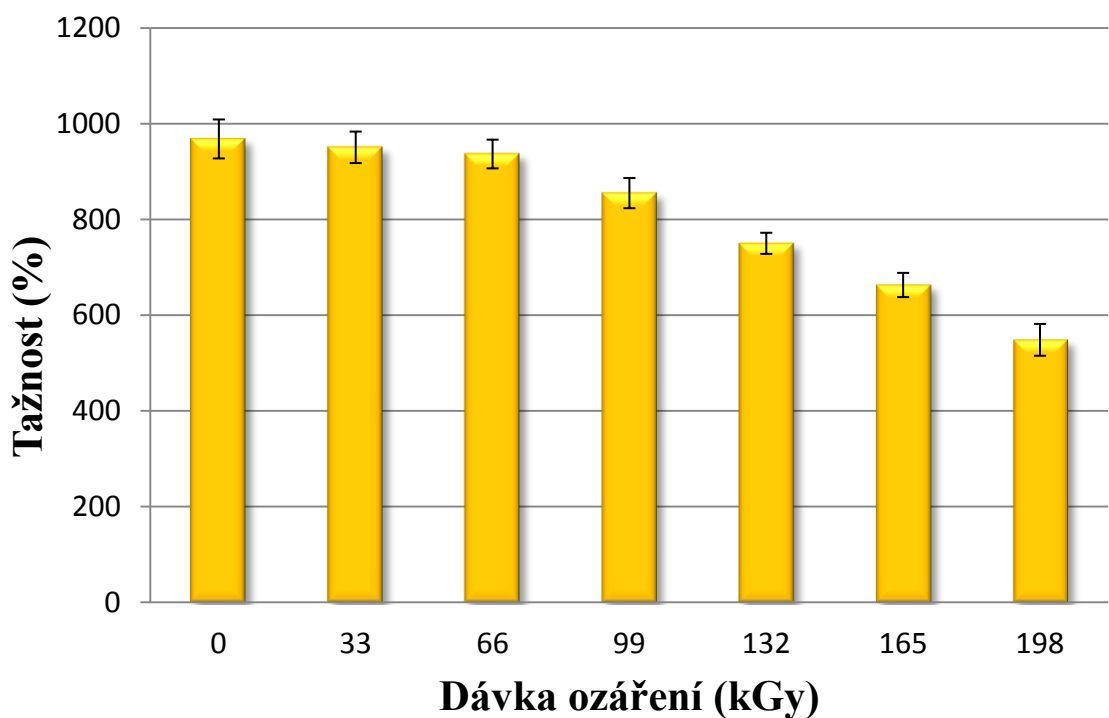
Tab. 6 Tahové zkoušky TPE-E

	0kGy	33kGy	66kGy	99kGy	132kGy	165kGy	198kGy
<b>Pevnost v tahu (MPa)</b>	14,51	16,72	19,99	20,87	19,93	17,81	15,33
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,21	0,38	0,59	0,54	0,54	0,31	0,39
<b>Tažnost (%)</b>	968,3	950,8	936,8	855,1	750,1	663,1	548,5
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	40,7	32,9	30,0	31,5	22,1	25,3	33,3



Obr. 20 Porovnání pevnosti v tahu TPE-E

Z naměřených hodnot vychází, že u dávky ozáření 99 kGy byla změřena největší hodnota pevnosti v tahu 20,87 MPa. Naopak nejmenší hodnota 14,51 MPa byla naměřena u neozářeného tělíska (obr. 20). Ozářením dávkou 99 kGy se tak dosáhlo zvýšení meze pevnosti o 44% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.

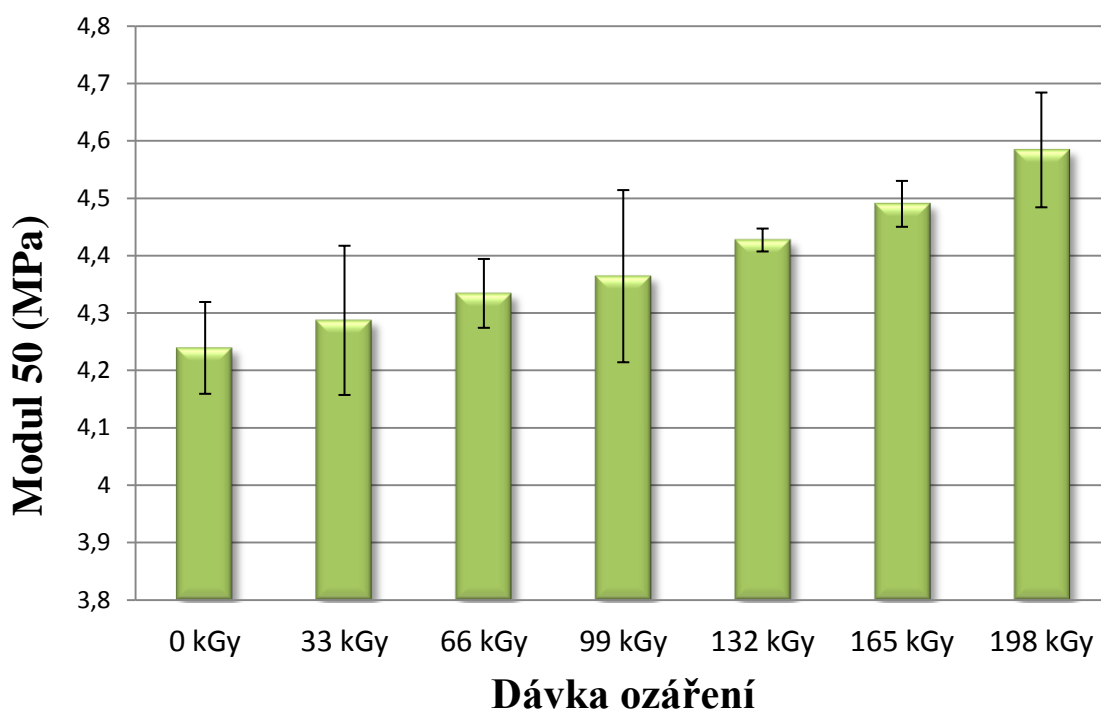


Obr. 21 Porovnání tažnosti TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota tažnosti byla naměřena u neozářeného tělíska, a to 968 MPa. Nejmenší hodnotu tažnosti 548,45 MPa mělo tělíska ozářené dávkou 198 kGy (Obr. 21). Ozařováním se hodnota tažnosti snižuje.

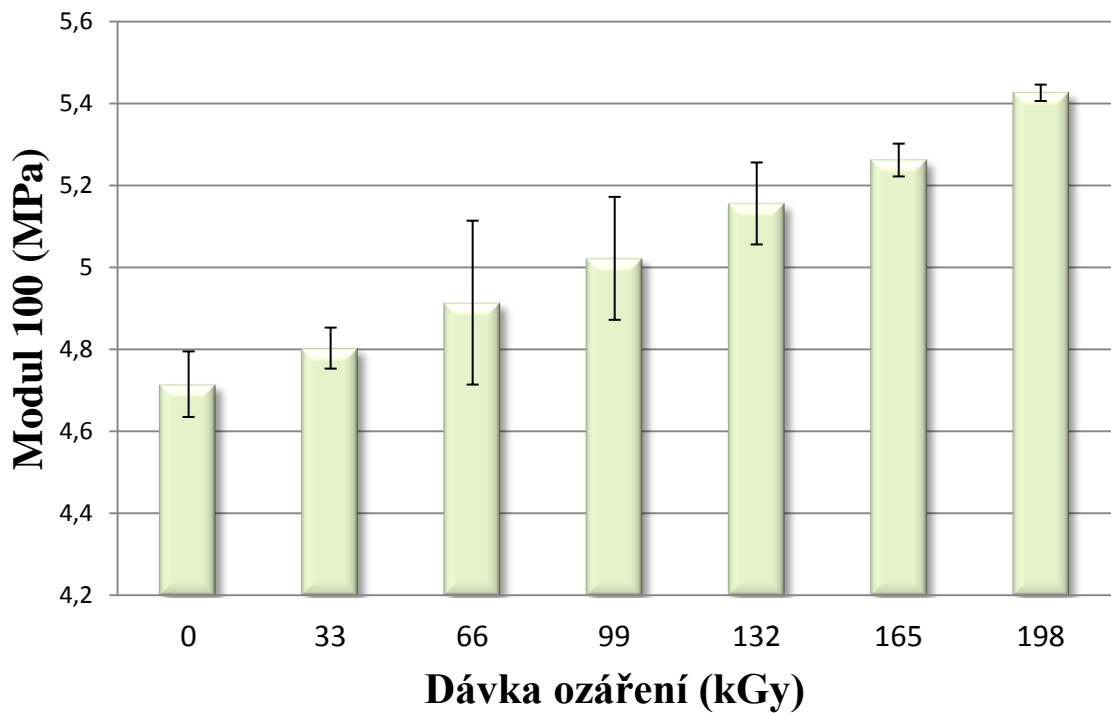
Tab. 7 Modul 50,100,200,300,500, TPE-E

	0kGy	33kGy	66kGy	99kGy	132kGy	165kGy	198kGy
<b>Modul 50 (MPa)</b>	4,23	4,28	4,33	4,364	4,427	4,490	4,584
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,08	0,13	0,06	0,15	0,02	0,04	0,10
<b>Modul 100 (MPa)</b>	4,71	4,80	4,91	5,02	5,15	5,26	5,42
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,08	0,05	0,20	0,15	0,10	0,04	0,02
<b>Modul 200 (MPa)</b>	5,27	5,39	5,55	5,71	5,93	6,10	6,37
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,04	0,10	0,03	0,04	0,04	0,11	0,13
<b>Modul 300 (MPa)</b>	5,99	6,14	6,35	6,56	6,85	7,09	7,51
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,05	0,11	0,02	0,02	0,20	0,04	0,02
<b>Modul 500 (MPa)</b>	8,07	8,35	8,78	9,23	9,96	10,70	12,49
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,10	0,10	0,18	0,15	0,05	0,07	0,09



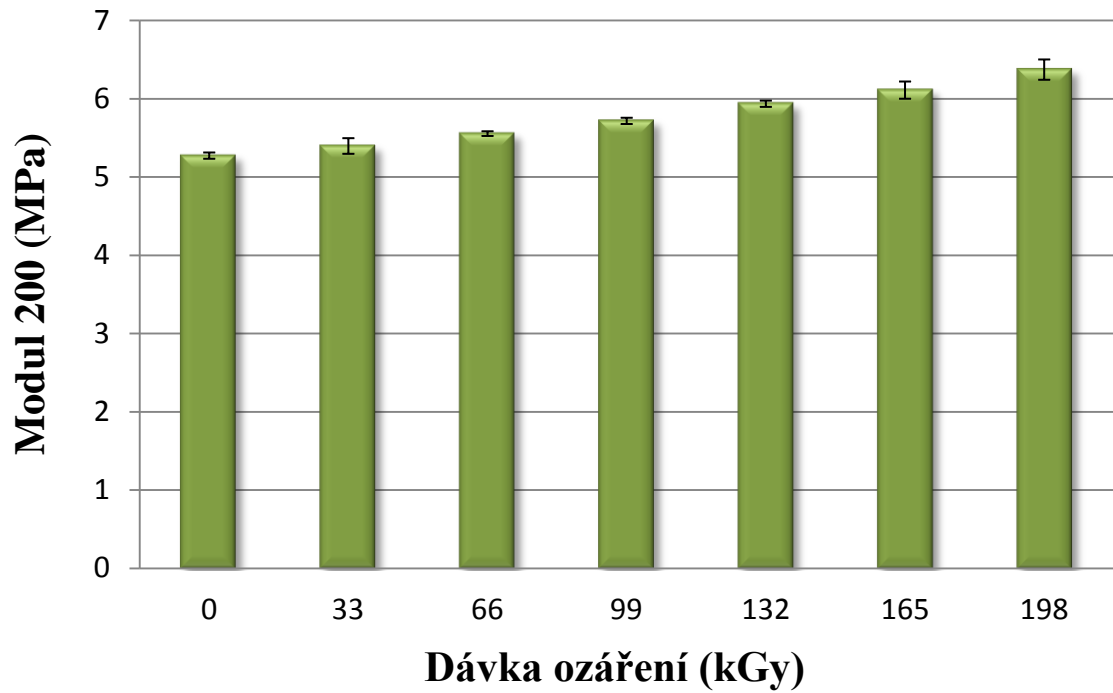
Obr. 22 Porovnání modulu 50, TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota modulu 50 byla u dávky 198 kGy a nejnižší u neozářeného tělíska. Nejvyšší hodnota tedy byla 4,58 MPa a nejnižší 4,23 MPa (Obr. 22). Ozářením dávkou 198 kGy se tak dosáhlo nárustu modulu 50 o 8% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.



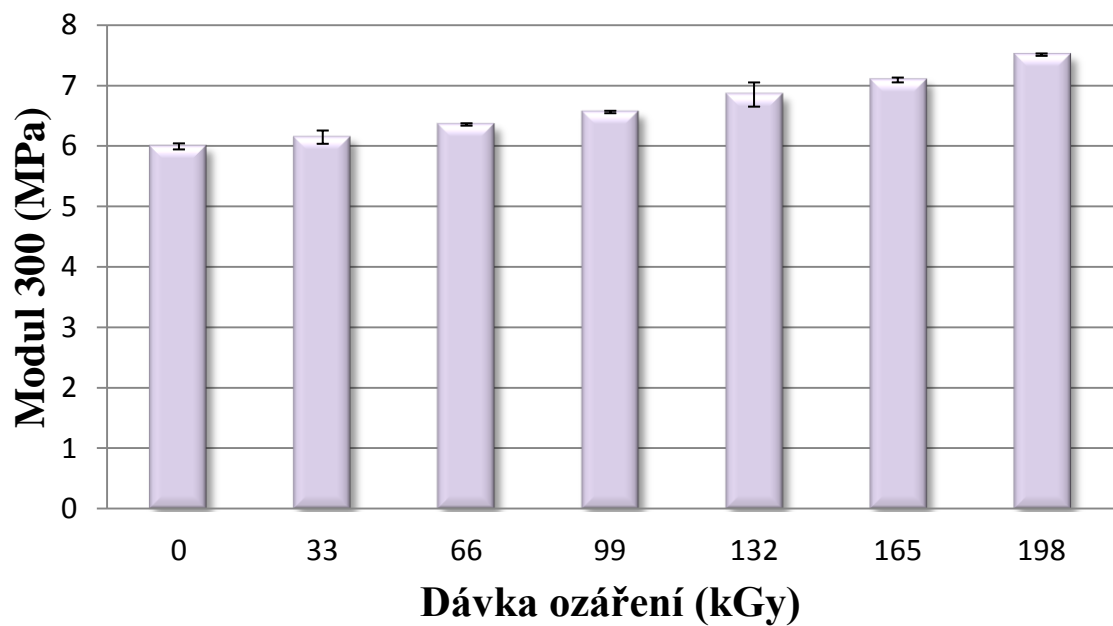
Obr. 23 Porovnání modulu 100, TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota modulu 100 byla u dávky 198 kGy a nejnižší u neozářeného tělíska. Nejvyšší hodnota tedy byla 5,42 MPa a nejnižší 4,71 MPa (Obr. 23). Ozářením dávkou 198 kGy se tak dosáhlo zvýšení modulu 100 o 15% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.



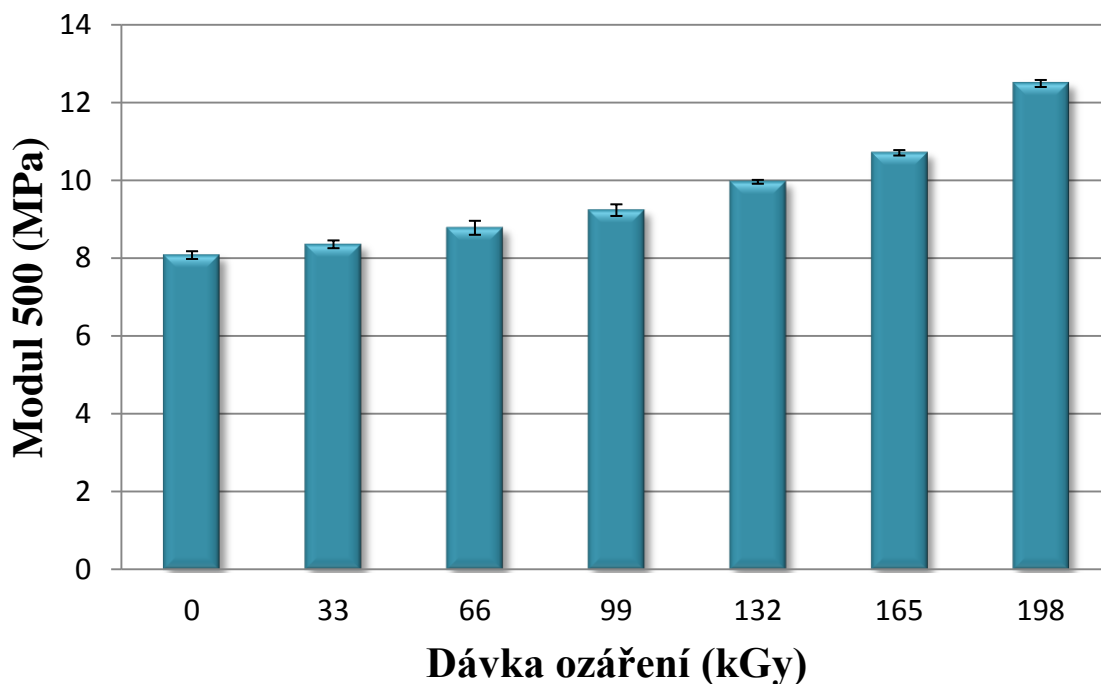
Obr. 24 Porovnání modulu 200, TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota modulu 200 byla u dávky 198 kGy a nejnižší u neozářeného tělíška. Nejvyšší hodnota tedy byla 6,37 MPa a nejnižší 5,27 MPa (Obr. 24). Ozářením dávkou 198 kGy se tak dosáhlo zvýšení modulu 200 o 20% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.



Obr. 25 Porovnání modulu 300, TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota modulu 300 byla u dávky 198 kGy a nejnižší u neozářeného tělíska. Nejvyšší hodnota tedy byla 7,51 MPa a nejnižší 5,99 MPa (Obr. 25). Ozářením dávkou 198 kGy se tak dosáhlo zvýšení modulu 300 o 25% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.



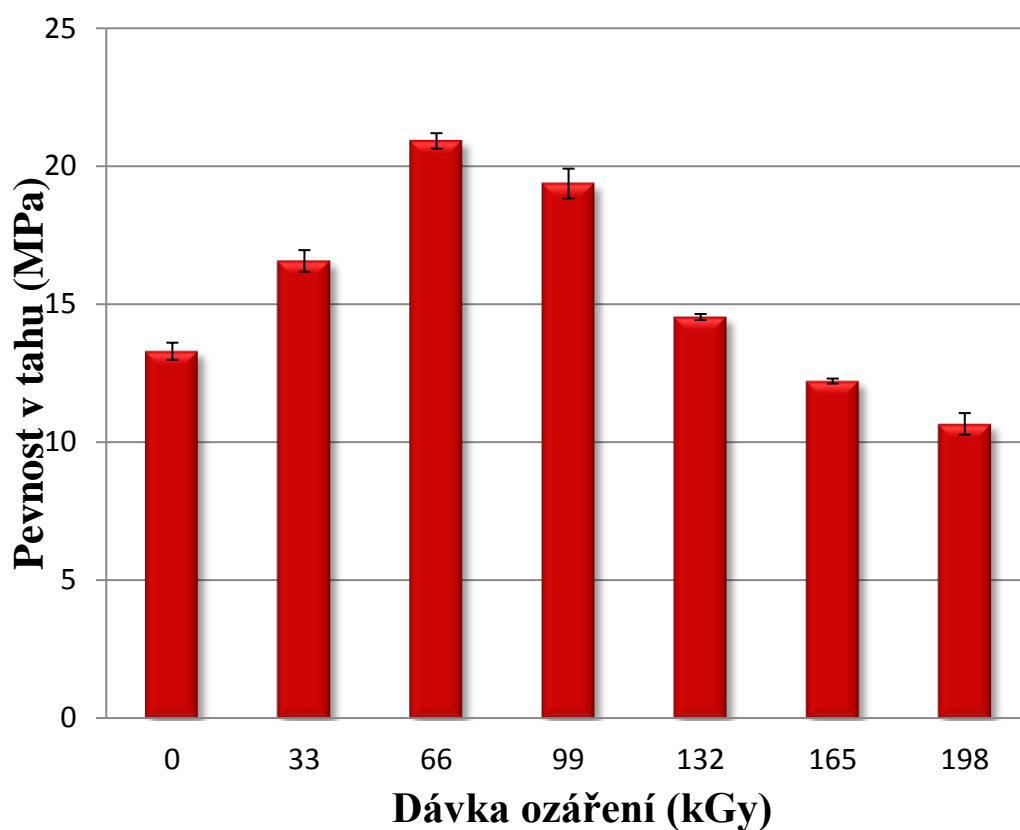
Obr. 26 Porovnání modulu 500, TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota modulu 500 byla u dávky 198 kGy a nejnižší u neozářeného tělíska. Nejvyšší hodnota tedy byla 12,49 MPa a nejnižší 8,07 MPa (Obr. 26). Ozářením dávkou 198 kGy se tak dosáhlo zvýšení meze pevnosti o 55% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.

### 8.3 Tahové zkoušky pro V-PTS-UNIFLEX-E25D/M\*M800/20 natur (V-TPE-E)

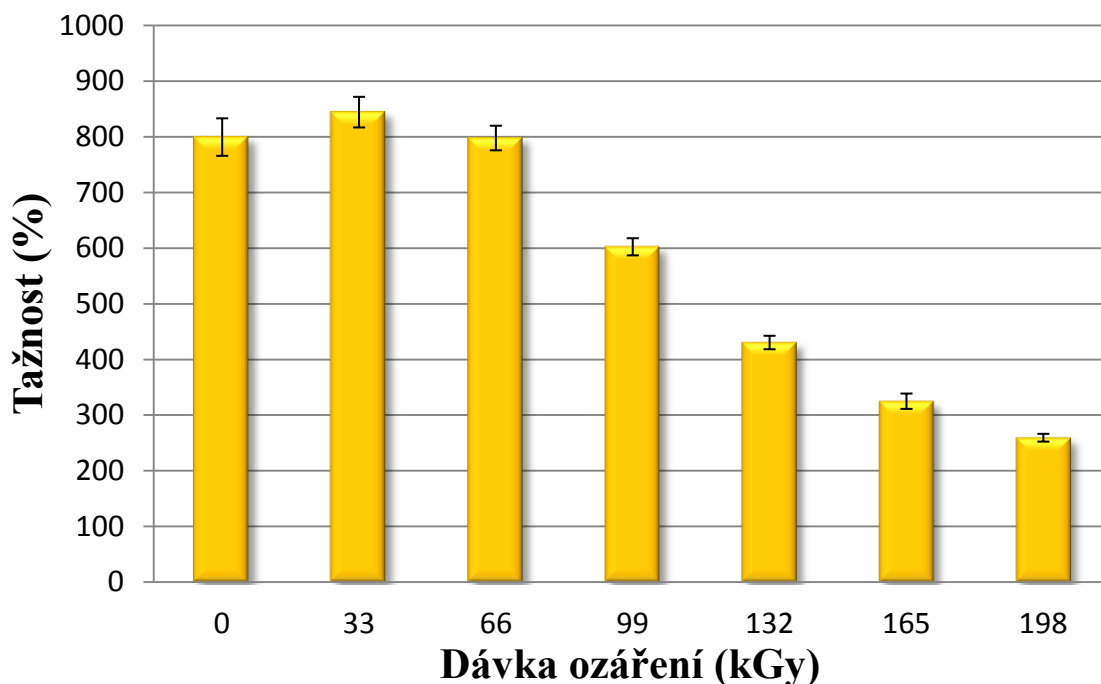
Tab. 8 Tahové zkoušky V-TPE-E

	0kGy	33kGy	66kGy	99kGy	132kGy	165kGy	198kGy
<b>Pevnost v tahu (MPa)</b>	13,29	16,56	20,91	19,37	14,53	12,21	10,66
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,31	0,39	0,28	0,54	0,11	0,09	0,39
<b>Tažnost (%)</b>	799,4	844,2	797,7	602,2	430,3	324,8	259,3
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	33,7	27,5	22,1	15,4	12,1	13,8	7,0



Obr. 27 Porovnání pevnosti v tahu V-TPE-E

Z naměřených hodnot vychází, že u dávky ozáření 66 kGy byla změřena největší hodnota pevnosti v tahu 20,91 MPa. Naopak nejmenší hodnota 10,66 MPa byla naměřena u hodnoty ozáření 198 kGy (obr. 27). Ozářením dávkou 66 kGy se tak dosáhlo zvýšení meze pevnosti o 57% oproti neozařenému zkušebnímu tělísku.



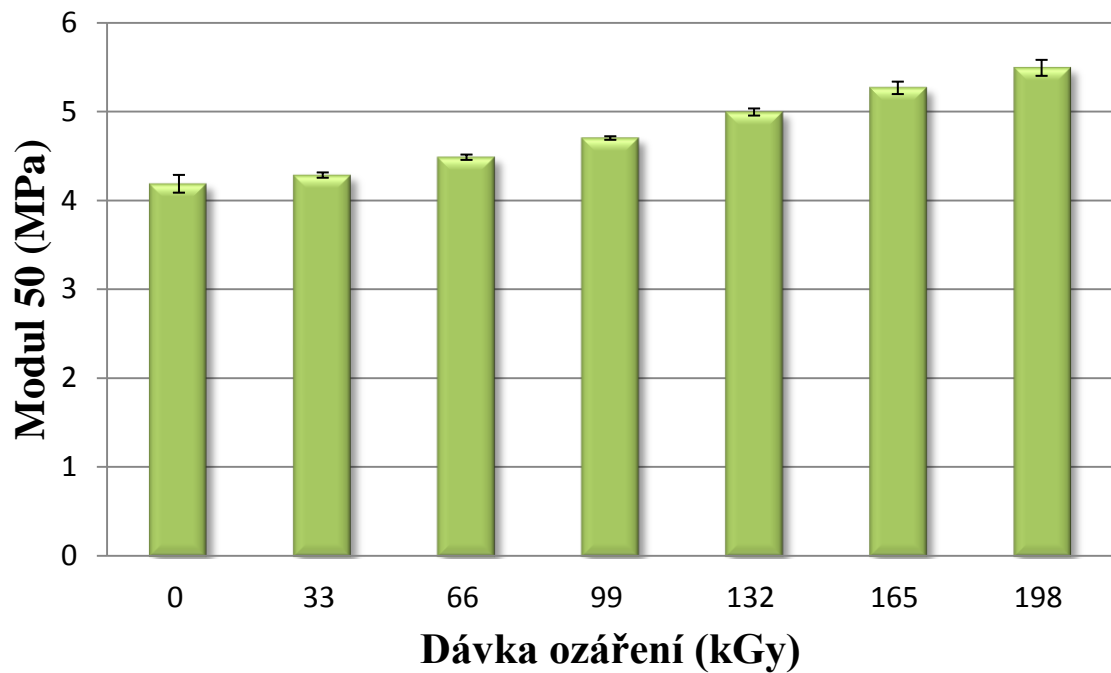
Obr. 28 Porovnání tažnosti V-TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota tažnosti byla u tělíska s dávkou 33 kGy, a to 844,16 MPa. Nejmenší hodnotu tažnosti 259,30 MPa mělo tělísko ozářené dávkou 198 kGy (Obr. 28). Ozářením dávkou 33 kGy se tak dosáhlo zvýšení tažnosti o 5% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.

Tab. 9 Modul 50,100,200,300,500, V-TPE-E

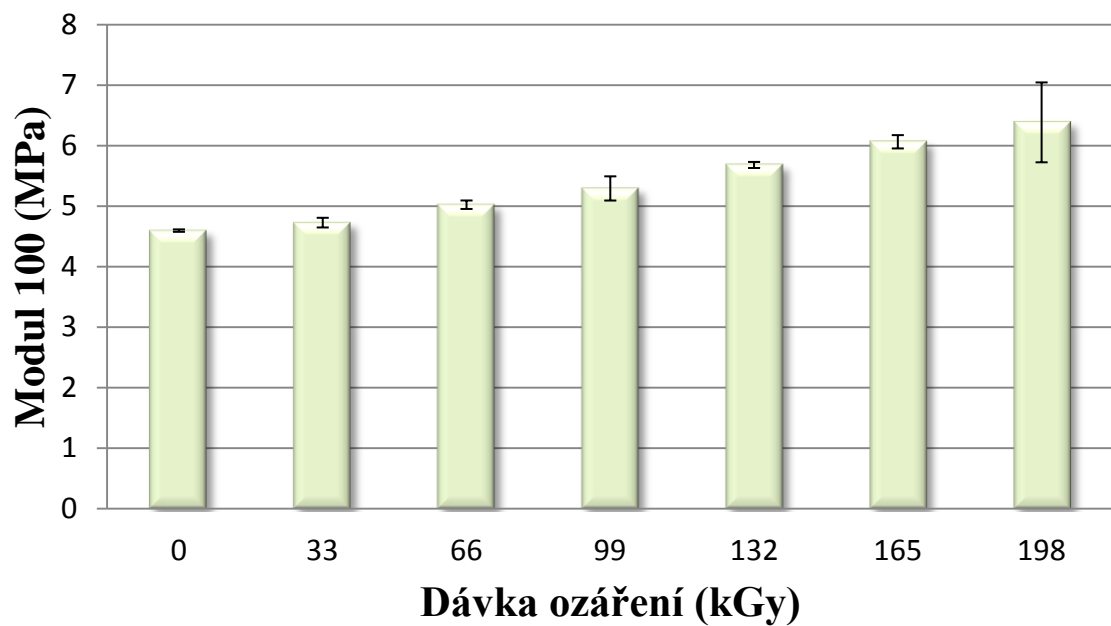
	0kGy	33kGy	66kGy	99kGy	132kGy	165kGy	198kGy
<b>Modul 50 (MPa)</b>	4,18	4,28	4,48	4,70	4,99	5,26	5,49
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,10	0,03	0,03	0,02	0,04	0,07	0,09
<b>Modul 100 (MPa)</b>	4,59	4,72	5,02	5,29	5,67	6,06	6,38
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,02	0,08	0,07	0,20	0,05	0,11	0,66
<b>Modul 200 (MPa)</b>	5,26	5,41	5,78	6,17	6,80	7,55	8,35
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,03	0,02	0,02	0,18	0,19	0,05	0,06
<b>Modul 300 (MPa)</b>	6,20	6,37	6,86	7,61	9,00	11,01	—
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,15	0,21	0,09	0,06	0,07	0,10	—
<b>Modul 500 (MPa)</b>	8,66	9,05	10,49	13,75	—	—	—
<b>Směrodatná odchylka (-)</b>	0,18	0,10	0,02	0,06	—	—	—





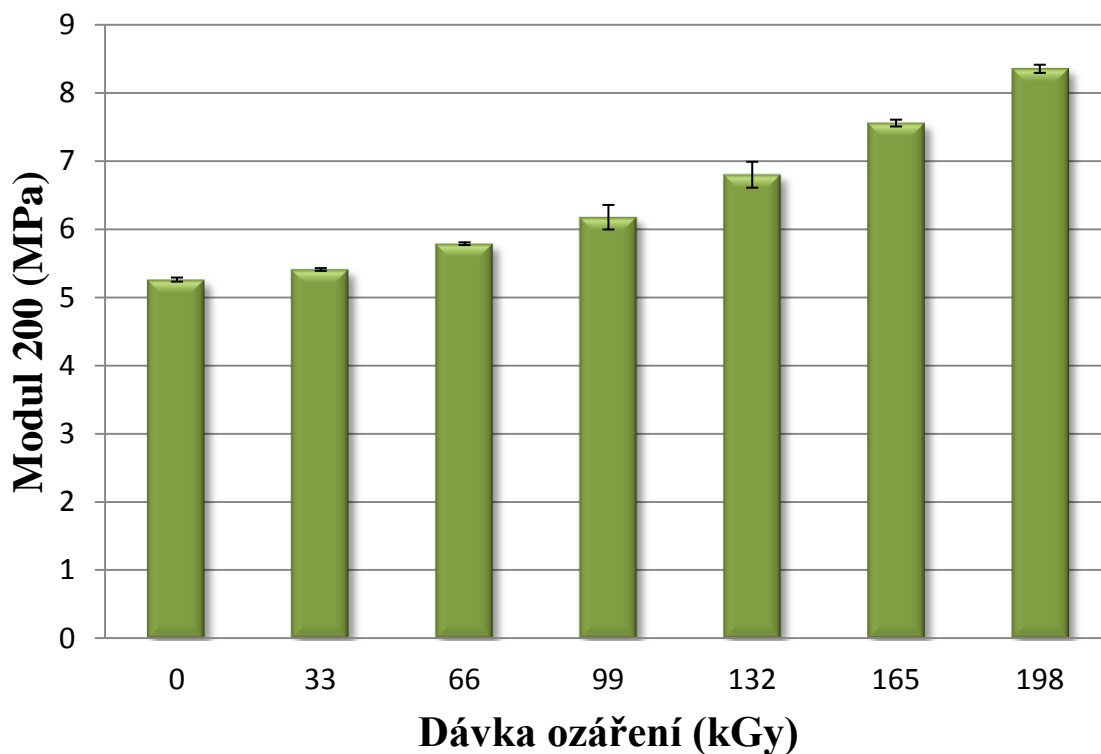
Obr. 29 Porovnání modulu 50, V-TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota modulu 50 byla u dávky 198 kGy a nejnižší u neozářeného tělísku. Nejvyšší hodnota tedy byla 5,49 MPa a nejnižší 4,18 MPa (Obr. 29). Ozářením dávkou 198 kGy se tak dosáhlo zvýšení modulu 50 o 31% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.



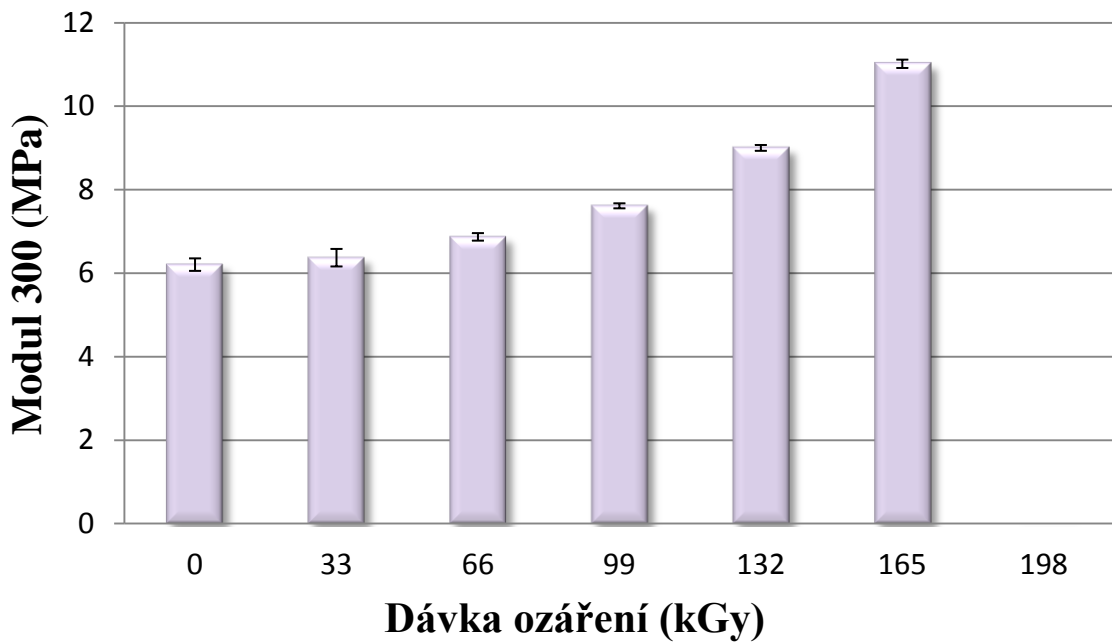
Obr. 30 Porovnání modulu 100, V-TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota modulu 100 byla u dávky 198 kGy a nejnižší u neozářeného tělíška. Nejvyšší hodnota tedy byla 6,38 MPa a nejnižší 4,59 MPa (Obr. 30). Ozářením dávkou 198 kGy se tak dosáhlo zvýšení modulu 100 o 39% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.



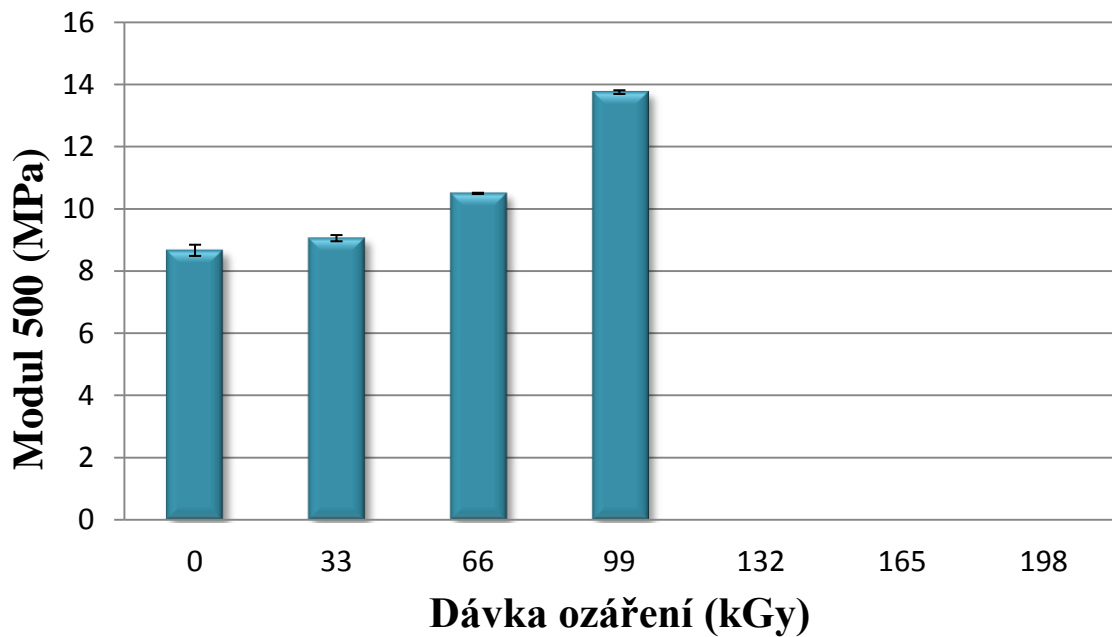
Obr. 31 Porovnání modulu 200, V-TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota modulu 200 byla u dávky 198 kGy a nejnižší u neozářeného tělíška. Nejvyšší hodnota tedy byla 8,35 MPa a nejnižší 5,26 MPa (Obr. 31). Ozářením dávkou 198 kGy se tak dosáhlo zvýšení modulu 200 o 58% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.



Obr. 32 Porovnání modulu 300, V-TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota modulu 300 byla u dávky 165 kGy a nejnižší u neozařeného tělíska. Nejvyšší hodnota tedy byla 11,01 MPa a nejnižší 6,20 MPa. Hodnota u dávky 198 kGy nebyla vůbec naměřena (Obr. 32). Ozářením dávkou 165 kGy se tak dosáhlo zvýšení modulu 300 o 77% oproti neozařenému zkušebnímu tělísku.



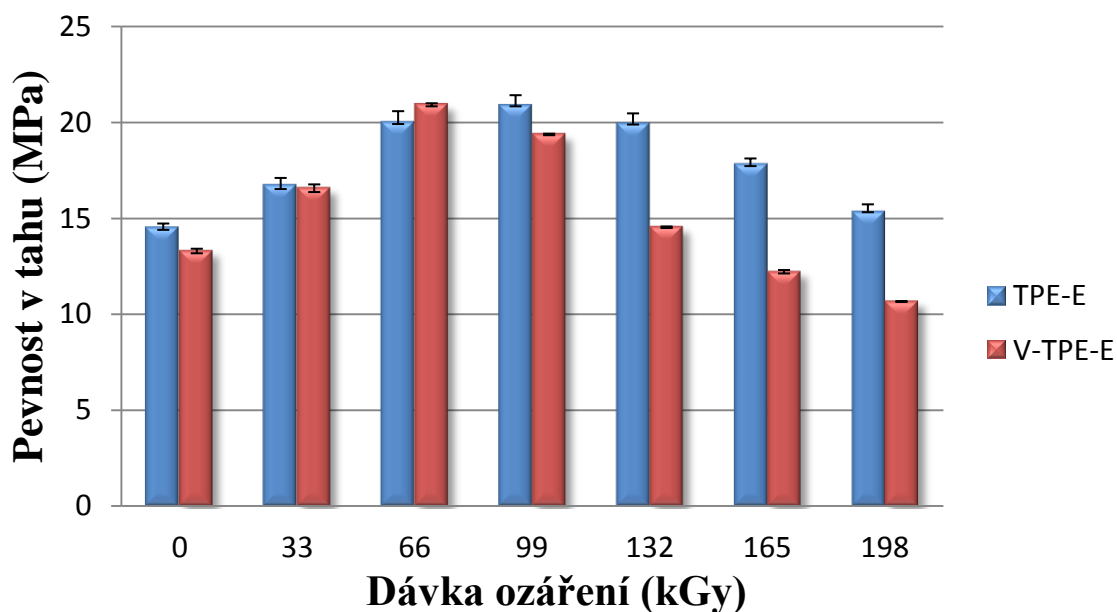
Obr. 33 Porovnání modulu 500, V-TPE-E

Z tahové zkoušky vyplývá, že nejvyšší hodnota modulu 500 byla u dávky 99 kGy a nejnižší u neozářeného tělíska. Nejvyšší hodnota tedy byla 13,75 MPa a nejnižší 8,66 MPa. Hodnota u dávky 198, 165 a 132 kGy nebyla vůbec naměřena (Obr. 33). Ozářením dávkou 99 kGy se tak dosáhlo zvýšení modulu 500 o 58% oproti neozářenému zkušebnímu tělísku.

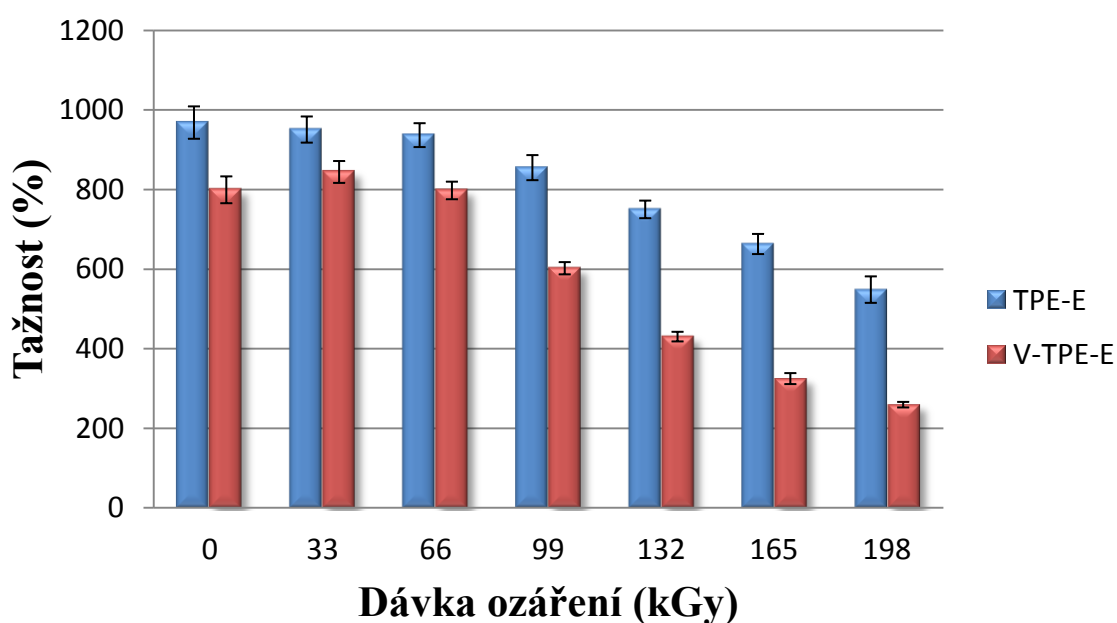
## 9 POROVNÁNÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ

K vyhodnocení a přesnějšímu porovnání naměřených výsledků byly hodnoty ze zkoušky tahem vzájemně vykresleny do grafů, z nichž můžeme porovnat jednotlivé vlastnosti tělísek z TPE-E a V-TPE-E.

### 9.1 Porovnání pevnosti v tahu a tažnosti



Obr. 34 Porovnání pevnosti v tahu, TPE-E a V-TPE-E



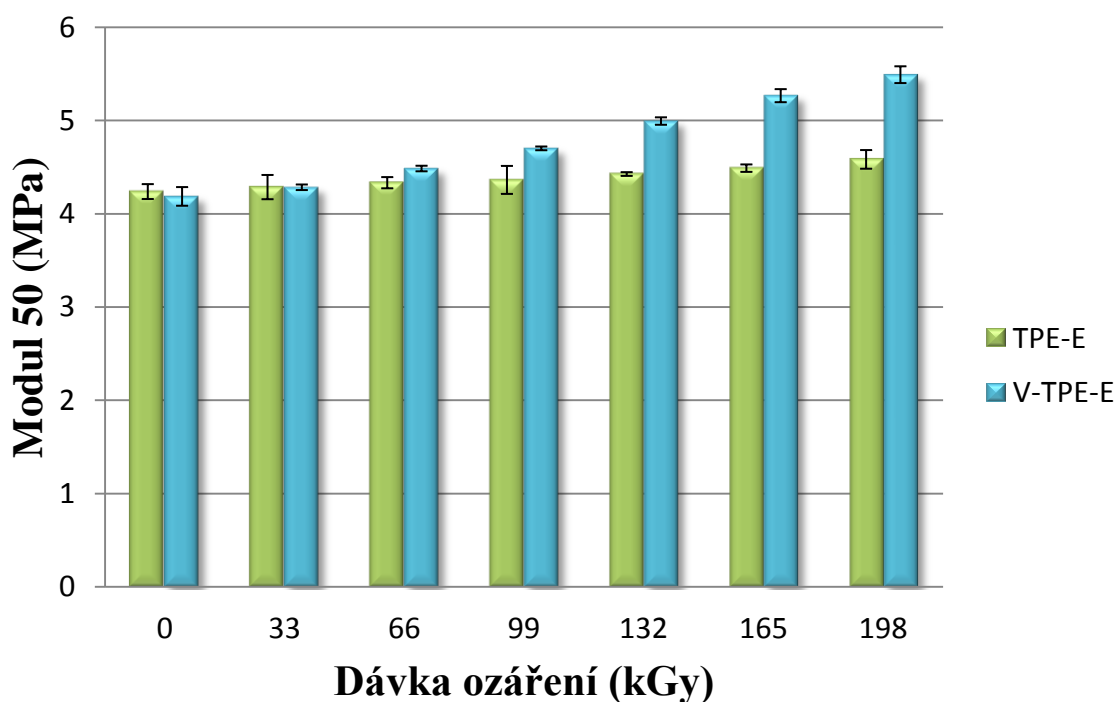
Obr. 35 Porovnání tažnosti, TPE-E a V-TPE-E

Při zkoušce tahem se při tomto testu osvědčil materiál TPE-E ozářen dávkou 99 kGy. Nejmiň ideální vzorek z uvedeného měření je V-TPE-E o dávce 198 kGy. Z měření je patrné, že pevnost v tahu u materiálu V-TPE-E začíná významně klesat oproti materiálu TPE-E, konkrétně u hodnoty dávky ozáření 132 kGy (Obr. 34). Oproti neozářeným vzorkům činil u materiálu TPE-E nárůst pevnosti v tahu až o 44 %, u V-TPE-E až o 57 % .

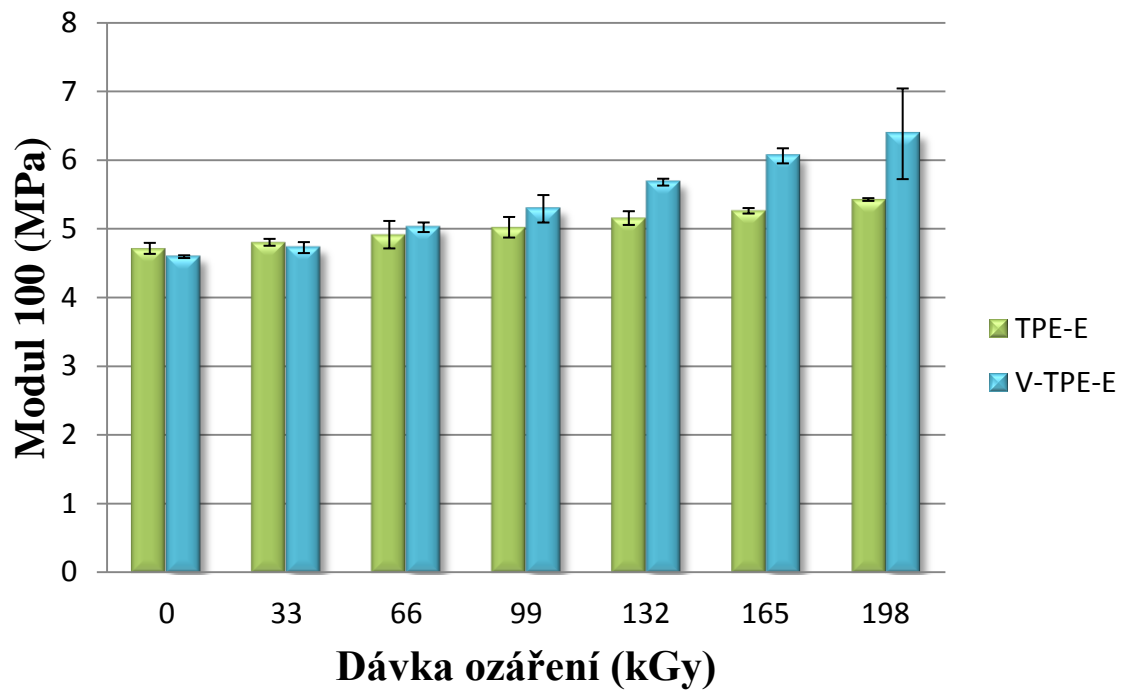
Z naměřených výsledků tažnosti jasně vyplývá, že polymer TPE-E má podstatně vyšší tažnost než polymer V-TPE-E a to jak u tělísek ozářených, tak neozářených. Nejvyšší hodnota před přetržením vzorku byla neměřena u neozářeného vzorku TPE-E. Nejmenší hodnotu tažnosti snesl vzorek V-TPE-E s ozářením 198 kGy. Z diagramu lze dále vyčíst, že tažnost obou materiálů rapidně klesá se zvyšující se dávkou ozáření (Obr. 35). Z výsledků vychází, že vzorky není nutno ozařovat, protože se zvyšující se dávkou dochází k rapidnímu snižování tažnosti o několik desítek procent.

Pokud bychom chtěli vyhodnotit optimální vzorek s ohledem na mez pevnosti a tažnost, nejlepší vlastnosti dosáhl vzorek z materiálu TPE-E a dávkou ozáření 66 kGy. Tento vzorek měl vyšší požadované hodnoty u obou zkoušek.

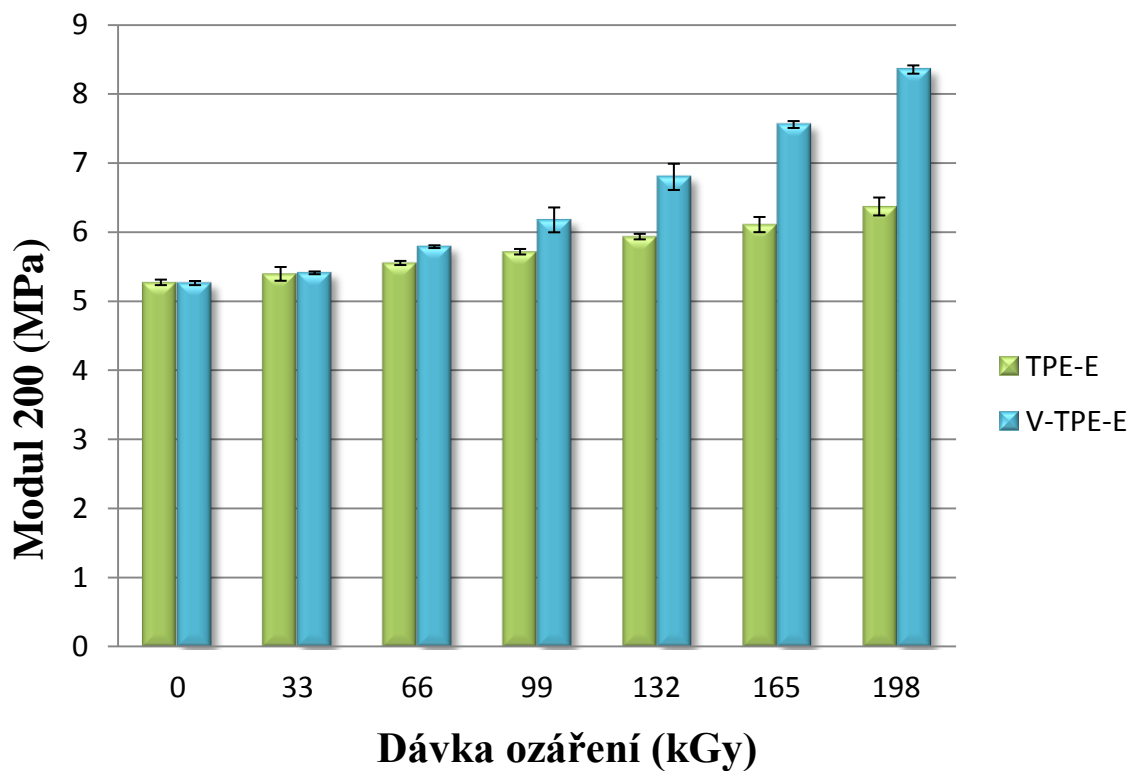
## 9.2 Porovnání modulu M50, M100, M 200, M 300, M 500



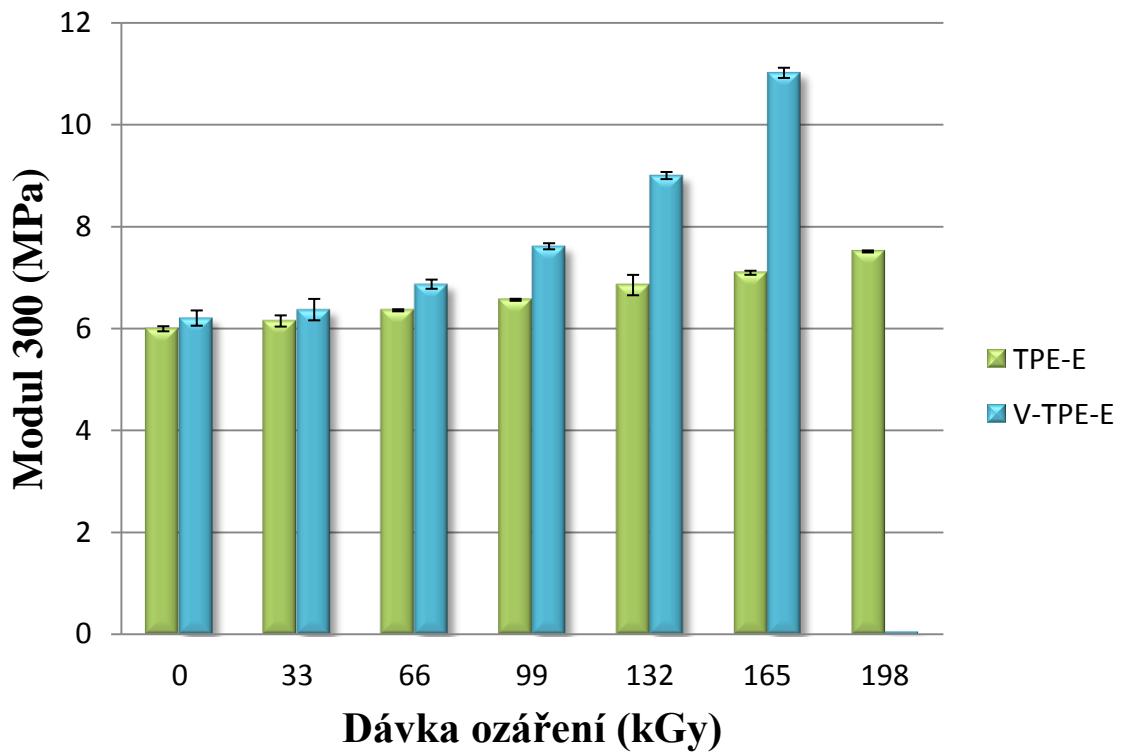
Obr. 36 Porovnání modulu 50, TPE-E a V- TPE-E



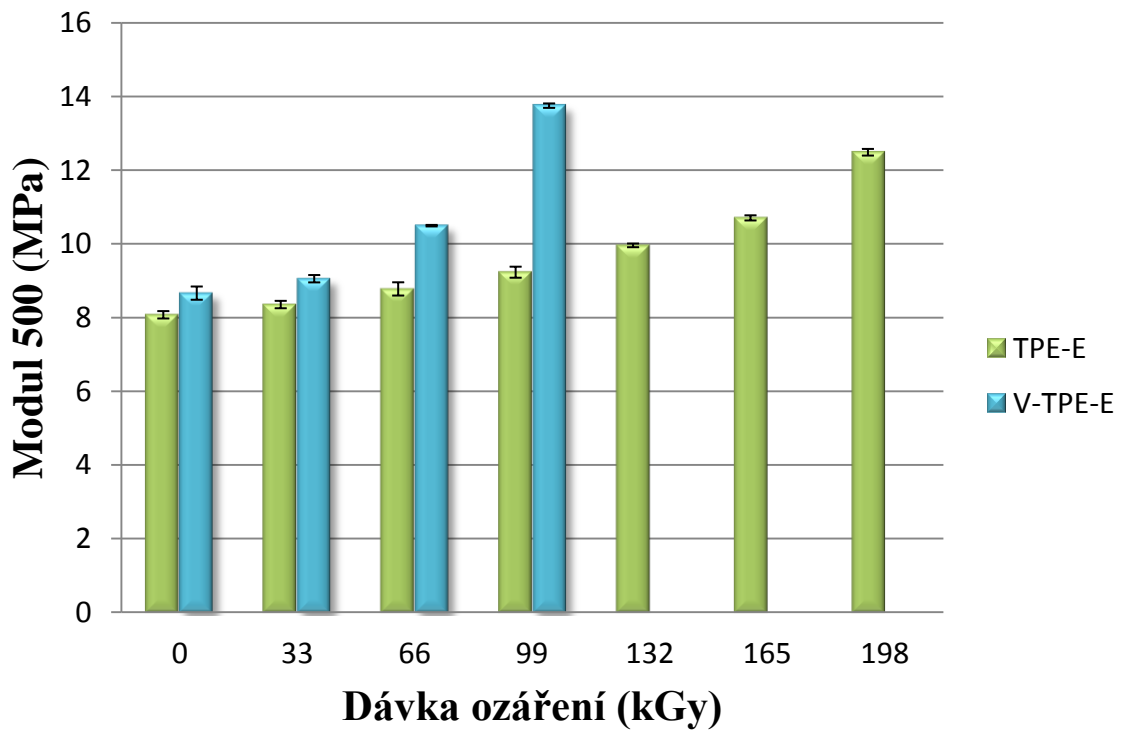
Obr. 37 Porovnání modulu 100, TPE-E a V-TPE-E



Obr. 38 Porovnání modulu 200, TPE-E a V-TPE-E



Obr. 39 Porovnání modulu 300, TPE-E a V-TPE-E



Obr. 40 Porovnání modulu 500, TPE-E a V-TPE-E



Při porovnání modulu 50 bylo zjištěno, že hodnoty pro TPE-E a V-TPE-E se do hodnoty ozáření 66 kGy téměř neliší. Nárůst modulu se začíná lišit od hodnoty 99 kGy, kdy materiál V-TPE-E dosahuje vyšších hodnot. Vůbec nejlepších hodnot 5,49 MPa dosahuje V-TPE-E ozářený dávkou 198 kGy (Obr. 36). Nejvyšší hodnota V-TPE-E narostla oproti neozářenému V-TPE-E maximálně o 31% , ale pouze o 8% u TPE-E.

Modul 100 a 200 se vyznačuje velmi podobnými vlastnostmi jako modul 50, kdy měřené výsledky obou materiálu se výrazněji neliší do hodnoty ozáření 66kGy. Poté oproti TPE-E značně stoupají hodnoty V-TPE-E až na hodnotu 6,38 MPa resp. 8,35 MPa při ozáření 198 kGy (Obr. 37 a 38). Nejvyšší nárůst hodnot měl modul 200 s materiálem V-TPE-E, kde oproti neozářenému V-TPE-E vzrostl až o 59%.

U modulu 300 a 500 se už při nízkých dávkách ozáření projevují lepší vlastnosti materiálu V-TPE-E a se vzrůstající ozařující dávkou se hodnoty oproti TPE-E zvyšují. Z důvodu prasknutí vzorku nebyly změřeny hodnoty modulu 300 u ozáření 198 kGy. K přetržení tělísek došlo i před změřením modulu 500 při dávkách 132 kGy, 165kGy a 199 kGy. Proto nejsou tyto hodnoty u V-TPE-E definovány (Obr. 39 a 40). S ohledem na měřené hodnoty byl značný nárůst u modulu 300, který byl zaznamenán u ozářeného V-TPE-E. Tato hodnota se oproti neozářenému tělísku nejvíce vzrostla o 77%.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo porovnání mechanických vlastností termoplastických elastomerů modifikovaných radiačním síťováním v závislosti na dávce intenzity záření. Naměřené hodnoty z měření jsou chronologicky popsány v diskuzi výsledků a je zřejmé, že radiační síťování má vliv na mechanické vlastnosti termoplastických elastomerů.

Jak je patrné z výsledků měření, již samotné přidání síťovacího činidla má výrazný vliv na výsledné vlastnosti materiálu.

Pro stanovení optimální dávky záření je tak nejprve nutné zvolit oblast aplikace, pro kterou bude tento materiál modifikován, ať už z hlediska meze pevnosti, modulu nebo poměrného prodloužení. Radiační síťování tak přináší možnosti modifikace materiálů, které nejsou mnohdy jinými chemickými prostředky dosažitelné.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] SOVA, M. – KREBS, J. a kolektiv: *Termoplasty v praxi: aktualni stav červenec 2003*, Verlag Dashofer, 2003
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav., Termoplastické elastomery – moderní polymerní materiály, Chem.listy 91 (1997)
- [3] Plast Verarbeiter [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.plastverarbeiter.de>>
- [4] Vliv radiačního síťování na vlastnosti. *Technický týdeník [online]*. 2006, 25/2006, [cit. 2012-02-01]. Dostupný z WWW: <http://www.techtydenik.cz/>
- [5] Technická norma: ČSN EN ISO 527 (640604) – tělísko
- [6] ALFREDO CAMPO, E. *Industrials Polymers*. Carl Hanser Verlag, Munich 2008, Germany. ISBN 978-3-446-41119-7
- [7] RYBNIKÁŘ, F., et al. *Analýza a zkoušení plastických hmot*. Praha, SNTL, MÍR, 1965. 420 s. ISBN 04-628-65
- [8] BGS – Beta gama service [online]. Dostupný z WWW: <<http://bgs.eu>> - *Změna důležitých vlastností u síťovatelných termoplastických elastomerů*
- [9] Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org>>
- [10] SCHATZ, M. – Vondráček, P.: *Zkoušení polymerů*, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1979, skripta
- [11] Lamborová, R. Diplomová práce – *Recyklace ozářených polymerů*. Zlín: UTB, 2008.
- [12] Arburg. [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.arburg.com>>
- [13] Technická norma: ČSN EN ISO 037
- [14] JARUŠEK, J. *Metody zkoumání polymert.* 2.vyd. Pardubice: VŠCHT, 1989. 105 s. ISBN 80-85113-01-5
- [15] *PTS - Plastic Technology Service* [online]. 2009 [cit. 2011-12-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.pts-marketing.de/>>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

TPE	termoplastický elastomer
V-TPE	termoplastický elastomer se síťovacími činidly
s	směrodatná odchylka
s <sup>2</sup>	rozptyl
M50	modul 50 (MPa)
M100	modul 100 (MPa)
M200	modul 200 (MPa)
M300	modul 300 (MPa)
M500	modul 500 (MPa)
Gy	dávka energie

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obr. 1 Přehled změn u různých druhů polymerů po radiačním síťování
- Obr. 2 Obecný graf změny důležitých vlastností u síťovatelných termoplastických elastomerů
- Obr. 3 Termomechanická analýza (TMA) radiačně zesíťovaného bezhalogenního TPE-V (materiál Dytron XL 7300)
- Obr. 4 Síťování vytlačovatelného TPE-U
- Obr. 5 Odolnost vůči tvarování za tepla (VDE 0472 609) radiačně síťovaného termoplastického polyuretanu
- Obr. 6 Odolnost vůči hydrolyze TPE-U ve vřící vodě
- Obr. 7 Odolnost ochrany před plamenem (VDE 0472 609) radiačně síťovaného polyuretanu (TPE-V)
- Obr. 8 Vybrané produkty TPE
- Obr. 9 Elektronový urychlovač
- Obr. 10 Rozměry zkušebního tělesa pro zkoušku tahem
- Obr. 11 Pracovní digram tahové zkoušky
- Obr. 12 Tvary tahových křivek různých polymerních
- Obr. 13 Deformační křivka
- Obr. 14 Vysoušecí zařízení Arburg
- Obr. 15 Vstříkovací stroj Arburg
- Obr. 16 Čelisti stroje Alpha Technologies
- Obr. 17 Tělíska připravená na ozáření
- Obr. 18 Uložená tělíska v krabicích
- Obr. 19 Vzorek před a po zkoušce
- Obr. 20 Porovnání pevnosti v tahu TPE-E
- Obr. 21 Porovnání tažnosti TPE-E
- Obr. 22 Porovnání modulu 50, TPE-E
- Obr. 23 Porovnání modulu 100, TPE-E

- Obr. 24 Porovnání modulu 200, TPE-E
- Obr. 25 Porovnání modulu 300, TPE-E
- Obr. 26 Porovnání modulu 500, TPE-E
- Obr. 27 Porovnání pevnosti v tahu V-TPE-E
- Obr. 28 Porovnání tažnosti V-TPE-E
- Obr. 29 Porovnání modulu 50, V-TPE-E
- Obr. 30 Porovnání modulu 100, V-TPE-E
- Obr. 31 Porovnání modulu 200, V-TPE-E
- Obr. 32 Porovnání modulu 300, V-TPE-E
- Obr. 33 Porovnání modulu 500, V-TPE-E
- Obr. 34 Porovnání pevnosti v tahu, TPE-E a V-TPE-E
- Obr. 35 Porovnání tažnosti, TPE-E a V-TPE-E
- Obr. 36 Porovnání modulu 50, TPE-E a V-TPE-E
- Obr. 37 Porovnání modulu 100, TPE-E a V-TPE-E
- Obr. 38 Porovnání modulu 200, TPE-E a V-TPE-E
- Obr. 49 Porovnání modulu 300, TPE-E a V-TPE-E
- Obr. 40 Porovnání modulu 500, TPE-E a V-TPE-E

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1	Rozměry zkušebních těles pro tahovou zkoušku
Tab. 2	Základní vlastnosti použitého TPE-E
Tab. 3	Základní vlastnosti použitého V-TPE-E
Tab. 4	Parametry vysoušecího zařízení Arburg
Tab. 5	Parametry vstřikovacího stroje Arburg
Tab. 6	Tahové zkoušky TPE-E
Tab. 7	Modul 50,100,200,300,500, TPE-E
Tab. 8	Tahové zkoušky V-TPE-E
Tab. 9	Modul 50,100,200,300,500, V-TPE-E

**SEZNAM PŘÍLOH**

P I: MATERIÁLOVÝ LIST, V-PTS-UNIFLEX-E25D/M\*M800/20 natur

P II: DODACÍ LIST, V-PTS-UNIFLEX-E25D/M\*M800/20 natur

P III: MATERIÁLOVÝ LIST, PTS-UNIFLEX-E25D/M\*800 natur

P IV: DODACÍ LIST, PTS-UNIFLEX-E25D/M\*800 natur

P V: CERTIFIKÁT BGS 1/2

P VI: CERTIFIKÁT BGS 2/2

P VII: NAMEŘENÉ HODNOTY (NA CD)



**PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST, V-PTS-UNIFLEX-E25D/M**  
**\*M800/20 NATUR**



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

**PTS-MARKETING**

**TECHNICAL INFORMATION**

**V-PTS-UNIFLEX-E25D/M \* M800/20 natur**  
 TPE-E 27 ShD, mit AO

14.03.2008

PROPERTIES	UNIT	STANDARD	VALUES		
Hardness	Shore A	ISO 868	87		
	Shore D	ISO 868			
Density	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183	1,1		
Tensile Strength (md/pmd)	MPa	ISO 527-1/-2	17,8/19,5		
Modulus 10% (md/pmd)	MPa	ISO 527-1/-2	2,7/2,7		
Modulus 50% (md/pmd)	MPa	ISO 527-1/-2	5,6/5,5		
Modulus 100% (md/pmd)	MPa	ISO 527-1/-2	6,8/6,6		
Modulus 300% (md/pmd)	MPa	ISO 527-1/-2	10,6/9,9		
Elongation at Break (md/pmd)	%	ISO 527-1/-2	472/515		
Tear Strength (md/pmd)	kN/m	ISO 34-1 B	24/25		
Rebound elasticity	%	DIN 53 512	68		
Mould-shrinkage (md/pmd) (test-plate 150*100*2 mm)	%	PTS	1,1/1,2		
Compression Set	%	ISO 815-1	6mm/15%		
			- 70 h 23°C	Specimen diameter	16
			- 24 h 70°C	13mm / 29mm	34
			- 24 h 100°C		60
After-shrinkage/hot air (md/pmd) (test-plate 150*100*2 mm)	%	PTS			
			- 24 h 70°C	0,1/0,1	
			- 24 h 100°C	0,2/0,2	
			- 24 h 120°C	0,2/0,3	

PrintDate: 09.02.2012

**PŘÍLOHA P II: DODACÍ LIST, V-PTS-UNIFLEX-E25D/M\*M800/20  
NATUR**



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

PTS Marketing- & Vertriebs-GmbH \* Hautschenschmühle 3 \* D-91587 Adelshofen

**TOMAS BATA UNIVERSITY IN ZLIN  
FACULTY OF TECHNOLOGY  
TGM 275**

**CZ-76272 ZLIN  
TSCHECHISCHE REPUBLIK**

PTS-IDNo.:  
**DE813120286**

Your IDNo.:

Our reference:  
**WA/cl**

Date:  
**10.02.2012**

**Delivery Note No.: S201202003**  
Customer-No.:

**10 kg V-PTS-UNIFLEX-E25D/M \*M800/20 natur  
strahlenvernetzbar  
TPE-E 27 ShD, mit AO**

**Lots: C-120207H0202**

**Shipment: shipment free  
Shipping date: 10.02.2012**

**Order date: 01.02.2012  
Your order No.: email WA**

**TESTMATERIAL, FOC  
1 box**

Wir bestellen unter Ausschluss fremder Allgemeiner Geschäftsbedingungen (AGB).

General conditions of sale and delivery at [www.pts-marketing.de](http://www.pts-marketing.de)  
Hypo Vereinsbank, Rothernburg o.T. \* Bankleitzahl 765 200 71 \* Konto 348 351 974

Handelsregister Ansbach 1149  
Managing director: Uwe Stenglin, Dipl.-Ing.(FH)

# PŘÍLOHA PIII: MATERIALOVÝ LIST, PTS-UNIFLEX-E25D/M\*800 NATUR



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

## PTS-MARKETING

## TECHNICAL INFORMATION

**PTS-UNIFLEX-E25D/M \* 800**  
TPE-E 27 ShD, Spritzguß

· natur

14.07.2004

PROPERTIES	UNIT	STANDARD	VALUES
Hardness	Shore A	ISO 888	<b>84</b>
	Shore D	ISO 868	<b>27</b>
Density	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183	<b>1,10</b>
Water absorption 24h	%	ISO 62	<b>0,95</b>
Melt Flow Rate (MFR)	g/10min	ISO 1133 A	<b>20 (230°C/2,16kg)</b>
Melting temperature (DSC:10°C/min)	° C	ISO 11357-1/-3	<b>165</b>
Tensile tests (50mm/min)			
Yield point	MPa	ISO 527-1/-2	
Fracture stress	MPa	ISO 527-1/-2	<b>16</b>
Elongation at break	%	ISO 527-1/-2	<b>800</b>
Flexural modulus	MPa	ISO 178	<b>35</b>
HDT (Heat distortion temp.) / 0,45 MPa	° C	ISO 75-1/-2	<b>46</b>
Vicat softening temperature (9,8N / 49N)	° C	ISO 306	<b>80</b>
Permanent deformation	%	ISO 815-1	<b>1x6mm/15%</b>
- 70 h 23° C			<b>18</b>
- 24 h 70° C			<b>47</b>
- 24 h 100° C			<b>68</b>
Specific volume resistance	Ohm*m	ISO 3915	<b>&gt;10Ex.15</b>

# PŘÍLOHA P IV: DODACÍ LIST, PTS-UNIFLEX-E25D/M\*800 NATUR



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

PTS Marketing- & Vertriebs-GmbH \* Hautschentmühle 3 \* D-91587 Adelshofen

**TOMAS BATA UNIVERSITY IN ZLIN**  
**FACULTY OF TECHNOLOGY**  
**MR. ZDENEK HOLIK**  
**TGM 275**

**CZ-76272 ZLIN**  
**TSCHECHISCHE REPUBLIK**

PTS-IDNo.:  
DE813120286

Your IDNo.:

Our reference:  
WA/cl/sw

Date:  
09.02.2012

**Delivery Note No.: S201202002**  
Customer-No.:

**10 kg      PTS-UNIFLEX-E25D/M \*800 natur**

**TPE-E 27 ShD, Spritzguß**

**Lots:            111010701069175**

**Shipment:            CIP Zlin**  
**Shipping date:        09.02.2012**

**Order date:            01.02.2012**  
**Your order No.:        email WA**

Testmaterial, FOC  
1 box

Wir bestellen unter Ausschluss fremder Allgemeiner Geschäftsbedingungen (AGB).

General conditions of sale and delivery at [www.pts-marketing.de](http://www.pts-marketing.de)  
Hypo Vereinsbank, Rothenburg o.T. \* Bankleitzahl 765 200 71 \* Konto 348 351 974

Handelsregister Ansbach 1149  
Managing director: Uwe Stanglin, Dipl.-Ing.(FH)

# PRÍLOHA P V: CERTIFIKÁT BGS 1/2

## Zertifikat

**BGS**

IDEEN PLUS ENERGIE

BGS John-Deere-Str. 3 76646 Bruchsal  
BGS  
Beta-Gamma-Service GmbH  
John-Deere-Str. 3  
76646 Bruchsal

Kunden-Nr. : 200409  
Datum : 25.04.2012  
Seite : 1 von 2

**Zertifikats-Nr.: 32201790**

BGS-Auftrags-Nr.: 322.01394.01  
Ihre Best.: Uni Zlin vom 24.04.2012

Artikel: Zugstäbe  
Charge: Zugstäbe  
Strahlenart: ELEKTRONEN  
Energie [MeV]: 10,00  
Geforderte Minimaldosis [kGy]: 33,00  
Bestrahlt am: 24.04.2012  
gemessene Oberflächendosis [kGy]: 38,7

1 x

BGS-Auftrags-Nr.: 322.01394.02  
Ihre Best.: Uni Zlin vom 24.04.2012

Charge: Zugstäbe  
Artikel: Zugstäbe  
Strahlenart: ELEKTRONEN  
Energie [MeV]: 10,00  
Geforderte Minimaldosis [kGy]: 66,00  
Bestrahlt am: 24.04.2012

1 x

BGS-Auftrags-Nr.: 322.01394.03  
Ihre Best.: Uni Zlin vom 24.04.2012

Charge: Zugstäbe  
Artikel: Zugstäbe  
Strahlenart: ELEKTRONEN  
Energie [MeV]: 10,00  
Geforderte Minimaldosis [kGy]: 99,00  
Bestrahlt am: 24.04.2012

1 x

BGS-Auftrags-Nr.: 322.01394.04  
Ihre Best.: Uni Zlin vom 24.04.2012

Charge: Zugstäbe  
Artikel: Zugstäbe  
Strahlenart: ELEKTRONEN  
Energie [MeV]: 10,00  
Geforderte Minimaldosis [kGy]: 132,00  
Bestrahlt am: 24.04.2012

1 x

Bestrahlungszertifikat - Certificate of irradiation - Certificat d'irradiation  
BGS IDEEN PLUS ENERGIE BGS IDEEN PLUS ENERGIE BGS IDEEN PLUS ENERGIE



# PŘÍLOHA P VI: CERTIFIKÁT BGS 2/2

## Zertifikat

**BGS**

IDEEN PLUS ENERGIE

Zertifikats-Nr.: 32201790  
Seite : 2 von 2

BGS-Auftrags-Nr.: 322.01394.05  
Ihre Best.: Uni Zlin vom 24.04.2012  
Charge: Zugstäbe  
Artikel: Zugstäbe  
Strahlenart: ELEKTRONEN  
Energie [MeV]: 10,00  
Geforderte Minimaldosis [kGy]: 165,00  
Bestrahlt am: 24.04.2012

1 x

BGS-Auftrags-Nr.: 322.01394.06  
Ihre Best.: Uni Zlin vom 24.04.2012  
Charge: Zugstäbe  
Artikel: Zugstäbe  
Strahlenart: ELEKTRONEN  
Energie [MeV]: 10,00  
Geforderte Minimaldosis [kGy]: 198,00  
Bestrahlt am: 24.04.2012

1 x

Unterschrift: Weymar, Gerda  
Qualitätssicherung

Dieses Dokument ist ohne Unterschrift gültig, da es mit einem System erzeugt wurde, das entsprechend des FDA-Guide 21 CFR Part 11 validiert wurde.

Bestrahlungszertifikat - Certificate of irradiation - Certificat d'irradiation  
BGS IDEEN PLUS ENERGIE BGS IDEEN PLUS ENERGIE BGS IDEEN PLUS ENERGIE

