

Vlastnosti modifikovaných termoplastů po tepelném zatížení

Bc. Jakub Kabeláč

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Kabeláč**

Osobní číslo: **T11162**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vlastnosti modifikovaných termoplastů po tepelném zatížení**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma
2. Připravte zkušební tělesa pro dané zkoušky
3. Provedte experimenty
4. Vyhodnoťte výdky měření

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

DUŠEK, Karel. Statistika tvorby sesíťovaných polymerů. Praha: Ústav makromolekulární chemie ČSAV, 1978, 54 s.

KREVELEN, D a K NIJENHUIS. Properties of polymers: their correlation with chemical structure : their numerical estimation and prediction from additive group contributions. 4th, completely rev. ed. Amsterdam: Elsevier, c2009, xxvi, 1004 s. ISBN 978-0-08-054819-7.

MEISSNER, Bohumil a Václav ZILVAR. Fyzika polymerů: struktura a vlastnosti polymerních materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987, 306 s.

JARUŠEK, Jaroslav. Metody zkoumání polymerů. 2. vyd. Pardubice: VŠCHT, 1984, 105 s.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Aleš Mizera

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



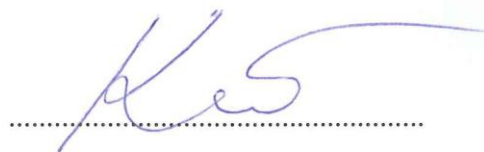

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 10.5.2013



.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá studiem vlastností vybraných modifikovaných polymerů po tepelném zatížení. Práce je složena ze dvou částí.

První část je literární rešerší a seznamuje čtenáře se základními informacemi o polymerech, ionizačním záření, síťování a zkoušení materiálů.

Praktická část, experimentální, popisuje použité materiály, udává parametry použitých zařízení, na kterých byly materiály zpracovány. Dále popisuje průběh jednotlivých experimentů a parametry zařízení, na nichž byl experiment prováděn. Poslední část je věnována diskusi a vyhodnocení výsledků.

Klíčová slova:

polymery, ozařování, síťování, teplotní odolnost, termomechanická analýza

ABSTRACT

Subject of this thesis is a study of properties of selected modified thermoplastic polymers after temperature load. This thesis contains two parts.

First part is summary description, which acquaint readers with the basic information about polymers, ionizing radiation, cross-linking and materials testing.

Practical part, the experimental, describes used materials, shows parameters of devices which were used for material processing. Furthermore, it describes course of particular experiments and parameters of devices which were used for those experiments. The last part is intended for discussion and evaluation of results.

Keywords:

Polymers, radiation, crosslinking, temperature stability, thermomechanical analyses

Poděkování patří především vedoucímu diplomové práce Ing. Aleši Mizerovi za odborné vedení diplomové práce a za pomoc při získávání informací potřebných k jejímu vypracování.

Dále zvláštní poděkování patří firmě BGS Beta-Gamma-Service GmbH & Co. KG, ve které byly ozářeny zkušební tělesa a zejména Dipl.-Ing. Udovi Biedermannovi, který analyzoval termomechanické vlastnosti materiálů přístrojem Perkin Elmer TMA7.

Dále bych poděkoval Ing. Vladimíru Šumberovi a Ing. Jiřímu Šálkovi za technickou podporu při zpracování materiálů a jednotlivých měření. Poděkování patří i doc. Ing. Miroslavovi Maňasovi, Ing. Zdeňkovi Holíkovi, Ing. Michalu Daňkovi, doc. Ing. Zdeňkovi Dvořákovi, CSc. a doc. Ing. Davidovi Maňasovi, Ph.D. za informace k dané problematice.

V neposlední řadě bych poděkoval za podporu a cenné připomínky mé rodině a mým nejbližším, kteří se jak přímo tak nepřímo přičinili k tvorbě této diplomové práce.

„Co slyším, to zapomenu. Co vidím, si pamatuji. Co si vyzkouším, tomu rozumím.“

Konfucius

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

OBSAH

ÚVOD	10	
I	TEORETICKÁ ČÁST	11
1	ROZDĚLENÍ POLYMERŮ A JEJICH POUŽITÍ	12
1.1	TERMOPLASTY	12
1.2	REAKTOPLASTY.....	13
1.3	ELASTOMERY	13
1.4	AMORFNÍ POLYMERY	13
1.5	SEMIKRYSTALICKÉ POLYMERY.....	13
1.6	STANDARDNÍ PLASTY	14
1.7	KONSTRUKČNÍ PLASTY	14
1.8	VYSOKOTEPLTNÍ PLASTY	15
2	MODIFIKACE POLYMERŮ	16
2.1	FYZIKÁLNÍ MODIFIKACE	16
2.2	MECHANOCHEMICKÁ MODIFIKACE.....	16
2.3	CHEMICKÁ MODIFIKACE.....	17
2.4	RADIAČNÍ SÍŤOVÁNÍ	17
3	SDÍLENÍ TEPLA	19
3.1	VEDENÍ TEPLA – FOURIEROVA ROVNICE.....	19
3.1.1	Vedení tepla rovinnou stěnou.....	20
3.2	SDÍLENÍ TEPLA PROUDĚNÍM.....	21
II	PRAKTICKÁ ČÁST	22
4	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	23
5	POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ	24
5.1	VSTŘIKOVACÍ STROJ ARBURG ALLROUNDER 420C	24
5.1.1	Technické parametry vstřikovacího stroje ARBURG Allronder 420C	25
5.2	HORKOVZDUŠNÁ TROUBA MORA 4807	27
5.2.1	Technické parametry horkovzdušné trouby MORA 4807	28
5.3	MĚŘICÍ PŘÍSTROJ PERKIN ELMER TMA 7	29
5.3.1	Postup měření.....	29
5.3.2	Technické parametry měřícího přístroje Perkin Elmer TMA 7	30
5.4	TAHOVÁ ZKOUŠKA	31
5.5	RÁZOVÁ ZKOUŠKA	32
5.6	TVRDOST.....	33
6	POUŽITÉ MATERIÁLY DODELAT Z MATERILOVÝCH LISTU	34
6.1	NÍZKOHUSTOTNÍ POLYETYLEN (LOW DENSITY POLYETHYLENE - LDPE).....	34
6.2	VYSOKOHUSTOTNÍ POLYETYLEN (HIGH DENSITY POLYETHYLENE - HDPE)	35
7	POPIS PŘÍPRAVY ZKUŠEBNÍCH TĚLES	36
7.1	VSTŘIKOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	36
7.2	SÍŤOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES	37
8	TVAROVÉ ZKOUŠKY	41

8.1	MĚŘENÍ TEPLoty V TEPLoTNÍ KomoŘE	42
8.2	ZMĚNA ROZMĚRU A VZHLEDU	44
8.2.1	Postup a vyhodnocení	44
9	MECHANICKÉ ZKOUŠKY	48
9.1	VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST	48
9.1.1	Průběh zkoušky	48
9.1.2	Vyhodnocení zkoušky	48
9.2	TAHOVÁ ZKOUŠKA	51
9.2.1	Zkušební těliska	51
9.2.2	Průběh zkoušky	51
9.2.3	Vyhodnocení zkoušky	52
9.3	TVRDOST SHORE D	59
9.3.1	Zkušební tělesa	59
9.3.2	Průběh zkoušky	59
9.3.3	Vyhodnocení zkoušky	63
	ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	73
	SEZNAM TABULEK.....	75
	SEZNAM PŘÍLOH.....	76

ÚVOD

Tato diplomová práce je zaměřena na vlastnosti radiačně síťovaných polymerů. Pro dobré síťovací vlastnosti polyetyleny, je hodnocen právě tento materiál a porovnávány vlastnosti nízkohustotního a vysokohustotního polyetyleny.

Obecně polymerní materiály v této době nových moderních materiálů hrají důležitou roli. V historii jsou užívány názvy jednotlivých období dle nejvýznamnějších materiálů používaných v daném časovém období. 21. století je tak nazýváno dobou polymerní. S rozvojem vědy a nových vědních disciplín vznikají nové možnosti pro výrobu nových polymerních materiálů, modifikaci stávajících materiálů a vznik nového uplatnění polymerních materiálů. Polymerní materiály nacházejí nové uplatnění například v lékařství. S vývojem inteligentních polymerů schopných měnit své vlastnosti v závislosti na okolí, můžeme očekávat další nové aplikace.

Teoretická část práce se obecně věnuje polymerům, jejich vlastnostem a případné modifikaci těchto vlastností. V praktické části je provedeno pozorování a měření vlastností ozářených a neozářených zkušebních vzorků z materiálů LDPE a HDPE. Výsledky těchto měření a pozorování jsou následně diskutovány.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ A JEJICH POUŽITÍ

Polymery mohou být látky přírodní nebo syntetické. Skládají se z makromolekul, v nichž se jako jednotlivé články řetězce mnohonásobně opakují stavební jednotky nazývané mery. Tato chemická stavebnice umožňuje neobyčejně širokou proměnlivost struktur a tím i vlastností výsledných látek. Historie syntetických polymerů se začíná psát rokem 1856, kdy byl vynalezen celulozid. Následně vyvinuté polymery ve druhé polovině 20. století vedly k velkému rozvoji plastikářského a gumárenského průmyslu. Tento postupný vývoj zasáhl do všech odvětví a plasty nacházejí uplatnění téměř všude, kde vytlačují běžné konstrukční materiály.

Fyzika a chemie polymerů dále zlepšuje a studuje klasické polymery, současně však pracuje na výrobě a vývoji nových materiálů, nebo vylepšení těch stávajících. Za zmínku stojí vývoj polymerů pro lékařské účely, materiály pro zpracování a uchování dat a informací a inteligentní materiály. Současná chemie polymerů pracuje na vývoji a výzkumu nových typů katalyzátorů, organicko-anorganických polymerů nebo nových kopolymerů.

Pozoruhodné výsledky také přináší fyzika a chemie polymerů právě ve fyzikálních poznacích o struktuře polymerních materiálů, kde napomohly výrobě lehkých polymerních vláken pevnějších než ocel, kapalných krystalických polymerů, polymerů vhodných pro zápis s vysokou hustotou i speciální polymery s nelineárně optickým chováním, které převádějí elektrický signál na optický. Poslední vývoj směřuje k vývoji inteligentních materiálů. Tyto materiály by měly aktivně reagovat na změny v okolí, změnou svých vlastností. Jde například o změny mechanické či optické. Věda neustále posouvá hranice možností a využití polymerních materiálů. [1]

1.1 Termoplasty

Termoplasty při svém zahřátí přechází do plastického stavu. Je to stav vysoce viskózních newtonských kapalin, které lze v tomto stavu snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Následným ochlazením pod teplotu tání se vracejí do tuhého stavu. Při tomto procesu u materiálu nedochází ke změnám chemické struktury, lze tento proces teoreticky považovat za nekonečně krát opakovatelný. Jedná se tedy pouze o fyzikální proces. Mezi

termoplasty řadíme materiály jako například: polyetylen, polypropylen, polystyren a další. [10]

1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty, dříve také nazývané jako termosety, jsou polymerní materiály, které jsou při zahřátí tvárné, však jen do té doby než vlivem zvýšené teploty dojde k chemickému zesíťování polymerní struktury. Výrobek je následně možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Tento děj síťování je nevratný proces a výsledný materiál potažmo výrobek je opětovně netavitelný a nerozpustný. Případné ohřátí materiálu na vysokou teplotu nezpůsobí přechod do plastického stavu, ale degradaci materiálu. Mezi tyto materiály patří například epoxidové pryskyřice a polyesterové hmoty. [10]

1.3 Elastomery

Elastomery jsou podobně jako reaktoplasty po zahřátí měkké a tvárné jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k vulkanizaci. Vulkanizace je prostorové zesíťování materiálu. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj. [10]

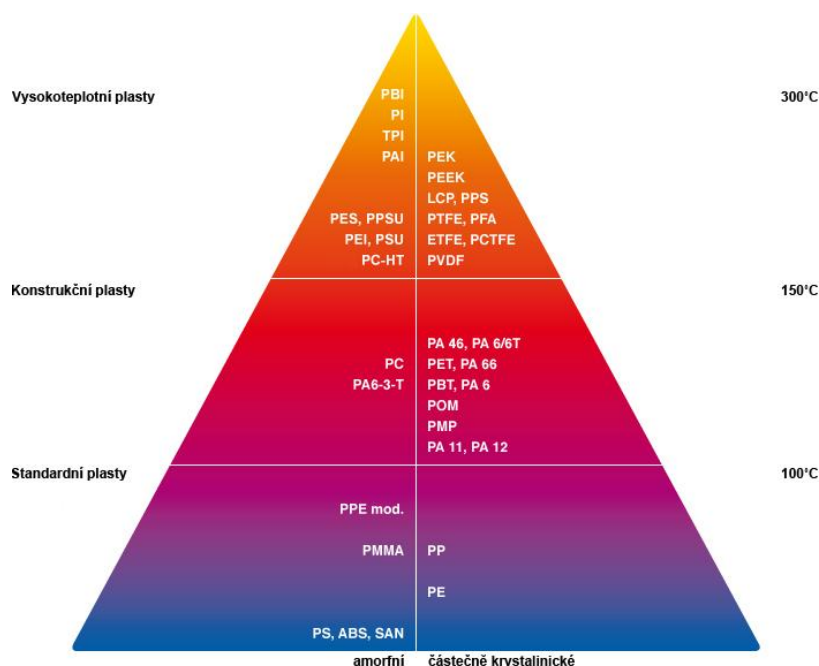
1.4 Amorfní polymery

Dle stupně uspořádanosti můžeme plasty dělit na plasty amorfní a semikrystalické. U polymerů amorfních zaujímají makromolekuly naprosto nahodilou pozici. Takovéto materiály jsou charakteristické svou tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a pro svůj nízký index lomu jsou průhledné, respektive číté, transparentní. Jejich součinitel teplotní roztažnosti α je menší než u polymerů semikrystalických. Zástupcem těchto plastů jsou například polystyren, polymethylmetakrylát a polykarbonát. [10]

1.5 Semikrystalické polymery

Semikrystalické polymery vykazují jen určitý stupeň uspořádanosti. Semikrystalické polymery tedy rozdělujeme dle stupně krystalinity, ta vyjadřuje podíl uspořádaných oblastí uložených mezi oblastmi amorfními. Tento poměr nikdy nemůže dosáhnout hodnoty 100%, proto se tyto polymery označují jako semikrystalické. Jsou mléčně zakalené, s vyšším indexem lomu, jsou houževnaté. Modul pružnosti a s ním související pevnost ros-

tou se stupněm krystalinity. Mezi tyto materiály řadíme polyetylen, polypropylen polyamid a další. [10]



Obr. 1 Rozdělení polymerních materiálů [12]

1.6 Standardní plasty

Tyto plasty nevynikají vysokou odolností ani výbornými mechanickými vlastnostmi, a proto není jejich použití pro konstrukční užití příliš vhodné. Tyto materiály jsou však ve velkých objemech využívány například v obalovém průmyslu. Tyto plasty spadají do sféry levnějších materiálů a svými vlastnostmi plně pokryjí nároky kladené v tomto odvětví. Pro jejich cenu je snahou využívat tyto materiály co nejvíce. Dalším východiskem mohou být modifikace těchto polymeru. Tímto procesem jim mohou být propůjčeny vlastnosti materiálu odolnějších o to však dražších. Do této skupiny plastu spadají například polypropylen, polyetylen, polystyren a další. [12]

1.7 Konstrukční plasty

Konstrukční plasty mohou být trvale vystaveny teplotám mezi 100°C a 150°C. Obecně platí, že je tato skupina výrobků také označována jako technické termoplasty. Konstrukční plasty vykazují dobré mechanické vlastnosti, vysokou rozměrovou stabilitu, dobrou chemickou odolnost a odolnost proti opotřebení. Používají se pro běžné konstrukční prvky u

součástí s přiměřeným nárokem na mechanickou odolnost a při teplotách do 150°C. [12]

1.8 Vysokoteplotní plasty

Vysokoteplotní plasty mohou mít stálou provozní teplotu vyšší než je 150°C. Právě tyto materiály vykazují vynikající materiálové a mechanické vlastnosti. Vysokou chemickou odolnost, nízkou hmotnost, a vynikající tribologické vlastnosti, mechanická pevnost i při zvýšených teplotách, minimální teplotní roztažnost, dobrou dlouhodobou tepelnou stálost, samozhášivost, odolnost proti tečení, odolnost proti UV záření. Všechny tyto vlastnosti si zachovává i při zvýšené teplotě.

Pomocí speciálních plniv, jako jsou například skelná vlákna, skleněné kuličky či uhlíková vlákna, mohou být tyto vlastnosti ještě vylepšeny. Přidáním například PTFE můžeme ještě snížit třecí odpory. Saze nebo železná vlákna zvyšují elektrickou vodivost materiálu.

Tyto vysokoteplotní a odolné plasty mají velké množství příležitostí pro své uplatnění. Pro své výborné kluzné vlastnosti jsou používány jako kluzná vedení, posuvná ložiska, válce, pístní kroužky a těsnění. Tyto vlastnosti jsou nejčastěji uplatňovány ve strojírenském, textilním, kancelářském a automobilovém průmyslu. Odolnosti vůči zvýšené teplotě je možné využívat v lékařství, při sterilizaci daného prvku. Pro své vodivé, nebo naopak izolační vlastnosti lze najít dobré uplatnění v elektrotechnickém průmyslu. [12]

2 MODIFIKACE POLYMERŮ

Pod pojmem modifikace rozumíme poměrně širokou škálu možností úpravy polymeru jak na fyzikálním tak chemickém principu. Účelem modifikace je zlepšení požadovaných vlastností daného materiálu, až výrobě nového druhu materiálu. Tímto počinem jsou běžným komoditním materiálům propůjčeny vlastnosti konstrukčních materiálů. Takto modifikované výrobky jsou schopny odolávat vyšším mechanickým, tepelným a chemickým vlivům. Zajímavé je i ekonomické hledisko modifikace polymeru, kdy modifikované, cenově přijatelnější polymery mohou nahradit dražší konstrukční polymery. [2]

2.1 Fyzikální modifikace

Jedná se o nejjednodušší způsob úpravy polymerů a nabývá stále širšího uplatnění. Zlepšení mechanických vlastností docílíme zpravidla mechanickým smísením dvou, či více polymerů. Vhodně zvolené kombinace polymerů obvykle vykazují výrazné zlepšení mechanických vlastností.

Příkladem fyzikální modifikace je výroba houževnatého polyvinylchloridu. Při této výrobě se mísí polyvinylchlorid s butadienakrylonitrilovým kaučukem, nebo kaučukovitým chlorovaným polyetylenem. Podobně lze připravit houževnatý polystyren, kdy se jako modifikující část používá butadienstyrenový kaučuk.

Přidáním různých složek o různém množství a vlastnostech může docílit velmi jednoduše rozmanitých vlastností vzniklého materiálu. [2]

2.2 Mechanochemická modifikace

Zvolené mechanické namáhání aplikované na daný materiál, napomáhá, nebo spouští chemické reakci v materiálu. Obvykle dochází k mechanické destrukci polymerních řetězců a tím vzniku volných konců s možností další polymerace. V principu jde tedy o mechanickou degradaci směsi polymerů, nebo o mechanickou degradaci polymeru v přítomnosti monomeru.

V případě degradace směsi polymerů vznikají modifikované polymery kombinací makroradikálů, případně makroradikálů s mechanicky aktivovanými polymerními řetězci.

Druhou možností je polymerace monomeru s mechanicky vznikajícími makroradikály. Stejně jako v prvním případě při tomto procesu probíhá mnoho souvisejících reakcí. Tento děj vede ke vzniku roubovaných, nebo blokových kopolymerů, s různou délkou a struktu-

rou bloků. Z toho vyplývá, že výsledná struktura takového polymeru je rozmanitá a obtížně definovatelná.

Tato mechanochemická modifikace je v hojné míře používána při přípravě gumárenské směsi. Typickým příkladem je takzvané „lámání“ kaučuku na dvouválci. Při tomto procesu jsou mechanicky zkracovány dlouhé makromolekulární řetězce kaučuku. Procesu napomáhají plastikační činidla a zvýšená teplota. [2]

2.3 Chemická modifikace

Pod pojmem chemická modifikace rozumíme děje, kdy do polymerace materiálu zasahujeme za účelem přeměny chemické struktury materiálu. Při tomto zásahu může dojít ke změně délky makromolekulárních řetězců a tím ke změně střední molekulové hmotnosti polymeru.

Stejně jako u předchozích modifikací dochází v materiálu k dalšímu síťování makromolekulárních řetězců a tvorbě příčných vazeb. [2]

2.4 Radiační síťování

Radiační síťování, stejně jako ostatní typy modifikací, propůjčuje levnějším polymerům, při dodatečném síťování, tepelné a mechanické vlastnosti polymerů výrazně dražších a vysoce výkonných. Tato modifikace umožňuje použití těchto materiálu v podmínkách, kterým by jinak nebyly schopny odolávat.

Radiační síťování je v největší míře uplatňováno u polyethylenu, polyamidu a polyvinylchloridu.

Síťovací reakce je spuštěna dodáním energie. Nosičem této energie je beta nebo gama záření. Dodáním přesně určené dávky tohoto záření je řízen síťovací proces a tím i výsledné vlastnosti daného materiálu. Ionizační záření předá energii materiálu, čímž způsobí štěpení chemických vazeb. Přičemž vzniknou volné radikály, které jsou svou povahou schopny tvořit další molekulární vazby. Vzniklá síť, vykazuje mnohem větší odolnost a tím i lepší vlastnosti takto modifikovaného materiálu.

Velkou výhodou tohoto druhu modifikace je, že proces radiačního síťování probíhá až po výrobním procesu. Modifikace je prováděna na již tvarově dokončeném výrobku. Díky vysoké energii beta a gama záření není potřeba pro proces ozařování vybalovat vý-

robky z přepravních obalů. Tyto výhody modifikaci polymeru tímto způsobem velmi usnadňují a ulehčují. Při pečlivé přípravě může být tento proces plně automatizován.

Jak samotná výroba, tak výrobky upravené touto technologií jsou s ohledem na potenciální riziko spojené s radioaktivním zářením, zcela bezpečné. [9]

3 SDÍLENÍ TEPLA

Sdílení tepla nebo také přenos tepla je poměrně složitým dějem. Proto se při jeho řešení zavádí řada zjednodušení pro tvorbu daného teplotního modelu a matematického popisu jednotlivých probíhajících dějů. Dle typu sdílení tepla dělíme jednotlivé systémy na sdílení tepla vedením, prouděním a sáláním.

Jednotlivé částice materiálu kmitají kolem své střednice. Intenzita kmitání je závislá na teplotě. Částice s vyšší teplotou mají vyšší energii. Tuto energii předávají vedením na částice o nižší teplotě a tím i nižší energii. Tímto dějem se sledovaný systém dostává do rovnovážné polohy. S tímto jevem sdílení tepla prostřednictvím vedení se nejčastěji můžeme setkat u pevných látek.

U kapalin však uvažujeme spíše sdílení tepla pomocí proudění. Se změnou teploty v kapalině či plynu se mění většinou i hustota dané látky a touto změnou dochází k pohybu částic v objemu látky. [13]

3.1 Vedení tepla – Fourierova rovnice

V nultém zákoně termodynamiky je popsán rovnovážný stav systému jako stav, kdy je v celém systému jednotná teplota a nedochází tak k žádným tepelným tokům. Snahou systému je dostat se do rovnovážného stavu, tak že části systému o vyšší teplotě předávají energii částem systému o teplotě nižší. Mírou odlišnosti teplot jednotlivých částí systému je rozdíl neboli gradient teploty daných částí.

$$\nabla T = \left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

Gradient teploty je vektorem udávajícím směr nejvyššího růstu teploty a jeho absolutní velikost udává rychlost růstu.

Budeme-li uvažovat změnu teploty pouze ve směru osy z , podle Fourierova zákona pro vedení tepla, je výsledný tepelný tok \dot{Q} plochou S , kdy osa z je normálou plochy S , úměrný velikosti této plochy, záporné hodnotě derivace teploty podle souřadnice z a tepelné vodivosti látky λ . Tepelná vodivost je materiálová vlastnost dané části systému.

$$\dot{Q} = \lambda \frac{\partial T}{\partial z} S$$

Dále rozlišuje intenzitu toku tepla \dot{q}_z , což je tok tepla vztažený na jednotku plochy.

$$\dot{q}_z = \left(\dot{q}_x, \dot{q}_y, \dot{q}_z \right) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -\lambda \nabla T$$

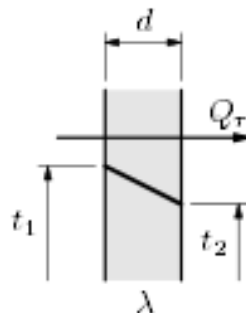
Tepelná vodivost materiálu je různá pro jednotlivé materiály. Obecně platí, že plyny mají malou tepelnou vodivost. Tekutiny a pevné látky mají střední vodivost a kovy mají vysokou vodivost. Látky s nízkou tepelnou vodivostí nazýváme jako tepelné izolanty.

Plasty v porovnání s ostatními látkami mají nízkou tepelnou vodivost, využívají se také jako izolanty. Tato vlastnost plastů velmi znesnadňuje některé technologie zpracování plastů. Například tavení granulátu ve válci vytlačovacího stroje, při vytlačování. [13]

3.1.1 Vedení tepla rovinnou stěnou

Předpokládáme rovinnou homogenní izotropní desku o tloušťce d . Na jedné straně desky je teplota t_1 na opačné straně je teplota t_2 , kdy $t_1 > t_2$. Teplo proudí jen kolmo k povrchovým plochám. Množství tohoto tepla určuje vztah:

$$Q_T = \frac{\lambda}{d} \left(t_1 - t_2 \right) S = \frac{\lambda S \Delta t}{d}$$

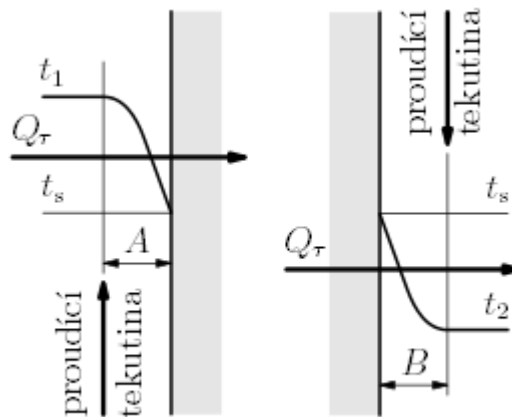


Obr. 2 Prostup tepla jednoduchou stěnou [13]

3.2 Sdílení tepla prouděním

V praxi se poměrně často setkáváme se sdílením tepla prouděním. Praktickým příkladem je jakékoliv vzduchem chlazené zařízení.

Při sdílení tepla dochází při styku proudícího média s povrchem dané součásti. Teperanční médium může být jak plynné tak kapalné. Při povrchu stěny je teperanční médium v tenké vrstvě, vzhledem ke zbytku media, zahřáto či ochlazenno od součásti. Samotný tento rozdíl teplot v médiu způsobuje proudění média. Obrázek popisuje, jak sdílení tepla kdy teplo přechází z proudícího média na součást, tak kdy teplo přechází ze součásti do proudícího média. [13]



Obr. 3 Sdílení tepla prouděním [13]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je především zjištění chování vybraných materiálů v souvislosti s dávkou ionizačního záření. Diplomová práce se zaměřuje na chování a vlastnosti tepelně namáhaných materiálů. Proto jsou tyto materiály tepelně zatíženy a následně jsou hodnoceny jejich mechanické, tvarové a vzhledové změny.

Zkušební tělesa pro potřebné zkoušky jsou vyrobena na vstřikovacím stroji. Dále jsou zkušební tělesa ozářeny ionizačním zářením, čímž je dosažena změna jejich vlastností. Modifikací vybraných materiálů je očekáváno zlepšení vlastností těchto materiálů, součástí této práce je i skutečné vyčíslení hodnot naměřených změn.

V diplomové práci jsou zkoumány dva polymerní materiály (LDPE a HDPE). Tyto materiály jsou voleny s ohledem na jejich rozšíření, dostupnost a míru uplatnění. Na zkušebních tělesech z těchto materiálů jsou postupně prováděny jednotlivé zkoušky.

5 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

Při práci na této diplomové práci bylo použito několika strojů a zařízení. Výroba zkušebních tělísek probíhala na vstřikovacím stroji firmy Arburg Allrounder 420C. Po ozáření byli zkušební tělíška podrobená tepelnému namáhání v horkovzdušné komoře MORA. Na takto připravených tělískách byly provedeny mechanické zkoušky na trhacím stroji ZWICK a Charpyho kladivu. Dále byl použit přístroj Perkin Elmer TMA 7, pro měření termomechanických vlastností. Pro měření tvrdosti byl použit tvrdoměr ShoreD.

5.1 Vstřikovací stroj ARBURG Allrounder 420C



Obr. 4 ARBURG Allrounder 420C Vstřikovací stroj.

Firma ARBURG je výrobcem nejen vstřikovacích strojů, ale i velkého množství příslušenství vstřikovacích strojů a strojů používaných v plastikářském průmyslu. Fakulta technologická, konkrétně ústav výrobního inženýrství, spolupracuje s firmou ARBURG. Výsledkem této spolupráce je získání mnohých zkušeností s těmito vstřikovacími stroji a proto byl pro výrobu zkušebních tělísek zvolen stroj Allrounder 420C, zmíněné firmy ARBURG.

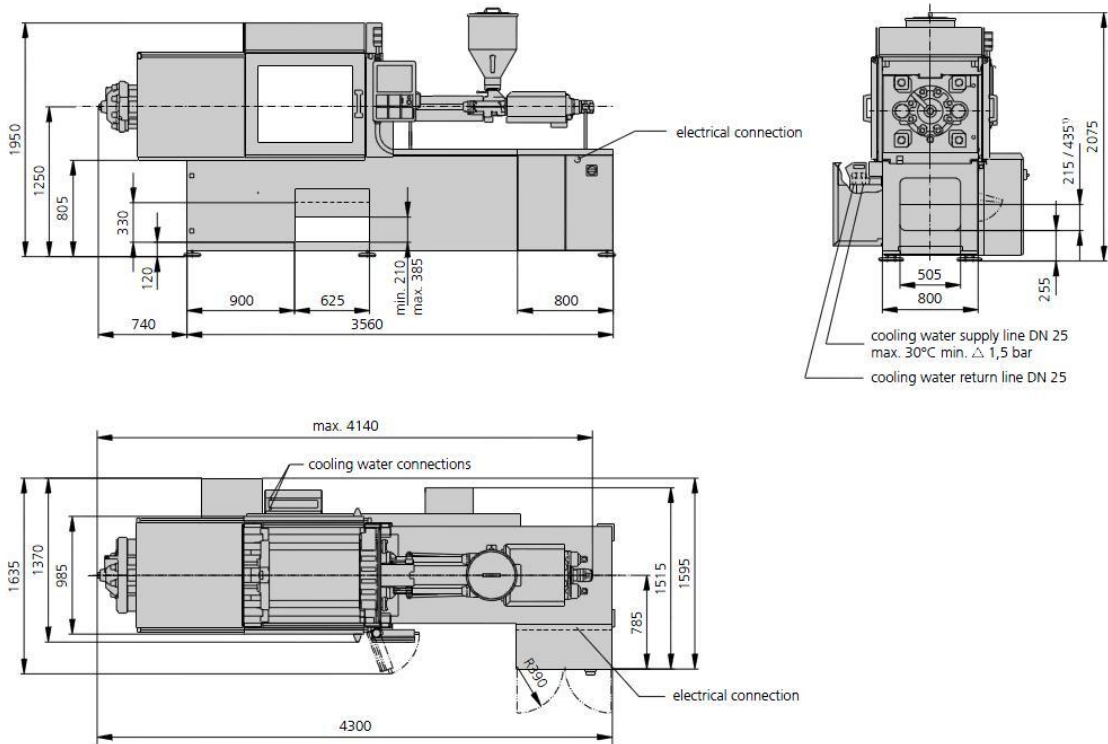
Tento stroj přes svou poměrně nízkou cenu vyniká svým kvalitním zpracováním, spolehlivostí, dobrou ovladatelností a i při vysoké pracovní zátěži svou dlouhodobou životností s nízkými požadavky na údržbu. Pro svou dobrou adaptabilitu a velké množství nastavbových úprav stroje se hodí pro zpracování všech běžných termoplastů.

Vstřikovací stroj je řízen 32 bitovým multiprocesorem řídicího systému SELOGICA. Tento program je svou povahou a programovatelností velice dobře obslužný a intuitivní. Obsluhu a komunikaci se strojem velmi napomáhá moderní zobrazovací panel, výklopného terminálu. Lze rychle zvládnout široké spektrum úkolů, v oblasti technologie vstřikování.

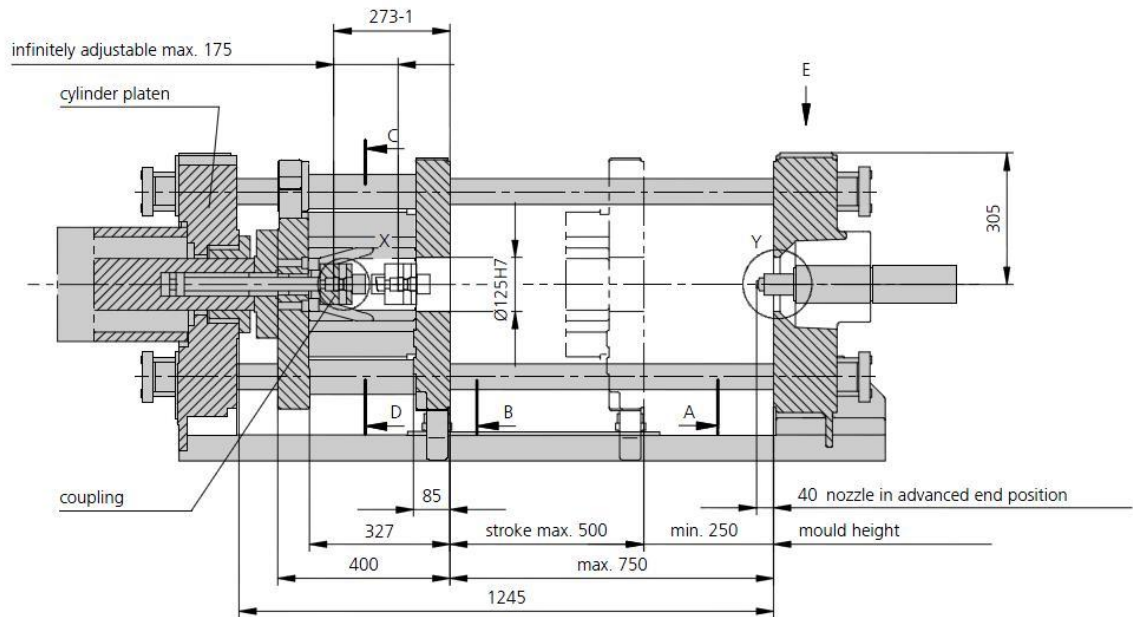
5.1.1 Technické parametry vstřikovacího stroje ARBURG Allrounder 420C

Tab. 1 Technické parametry vstřikovacího stroje Allrounder 420C

Typ stroje	Allrounder 420C	
Uzavírací jednotka		
Uzavírací síla	1000	max. kN
Otevírací síla / zvýšená otevírací síla	35 / 250	max. kN
Otevření	500	max. mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	420 x 420	mm
Velikost upínací desky (šířka x výška)	570 x 570	mm
Vyhazovací síla	40	max. kN
Zdvih vyhazovače	175	max. mm
Hydraulika, pohon		
Výkon čerpadla	15	kW
Celkový příkon stroje	23,9	kW
Vstřikovací jednotka		
Průměr šneku	40	mm
Poměr šneku	20	L / D
Zdvih šneku	145	max. mm
Objem dávky	182	max. cm ³
Vstřikovací tlak	2120	max. bar
Vstřikovací rychlost (objemová)	168	max. cm ³ .s ⁻¹
Zpětný tlak pozitivní / negativní	350 / 160	max. bar
Krouticí moment šneku	700	max. Nm
Přítlačná síla trysky	70	max. kN
Objem násypky	50	l
Olejová náplň a hmotnost		
Množství oleje	235	l
Hmotnost stroje, bez oleje	3700	kg



Obr. 5 Schéma vstřikovacího stroje a jeho rozměry



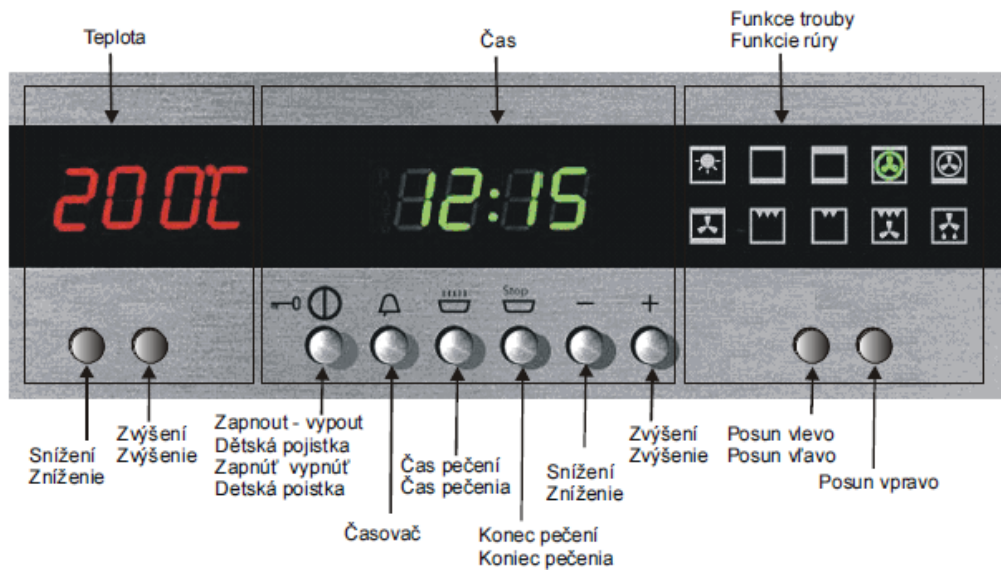
Obr. 6 Rozměry pracovního prostoru vstřikovacího stroje.

5.2 Horkovzdušná trouba Mora 4807



Obr. 7 MORA 4807











Za účelem simulace tepelného zatížení výrobku byla použita horkovzdušná trouba Mora 4807. Toto multifunkční zařízení je schopno realizovat 9 způsobů ohřevu v rozmezí teplot od 40°C do 250°C. Zvolený program, zadaná teplota a aktuální čas se zobrazuje na display zařízení. Ovládání trouby je velmi jednoduché a řešené přes sadu ovládacích tlačítek. Trouba je funkčně dobře řešená a bezpečná. Trojitě tvrzené a dobře chlazené sklo dvířek brání popálení a případnému zranění. Vnitřní nosný systém se skládá z výsuvného chromovaného roštu. Tento rošt je možné polohovat do pěti horizontálních pozic v rámci tepelné komory. Provoz je z ekonomického hlediska přijatelným, neboť trouba plní energetickou třídu A.

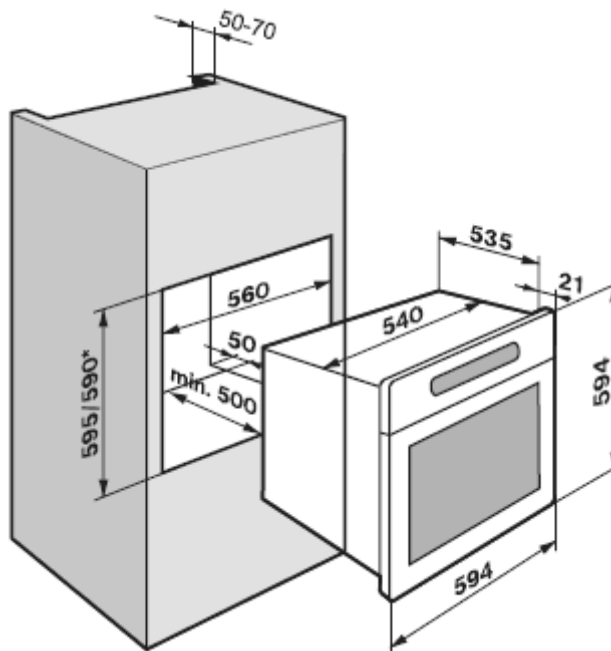


Obr. 8 Ovládací a informační panel horkovzdušné trouby MORA 4807

5.2.1 Technické parametry horkovzdušné trouby MORA 4807

Tab. 2 Technické parametry horkovzdušné trouby MORA 4807

Elektrická vestavná trouba MORA 4807	
Vnější rozměry - (v / š / h) [mm]	(594 / 594 / 535)
Vnitřní rozměry - (v / š / h) [mm]	(460 / 350 / 395)
Rozměry výřezu pro zabudování - (v / š / h) [mm]	(595 / 560 / min. 500)
Objem [l]	58
Elektrické napětí [V]	AC 230
Min. / max. teplota v troubě	50 - 250°C
	El. příkon [W]
Horní a dolní topné těleso	 2100
Horní a dolní topné těleso s ventilátorem	 2125
Dolní topné těleso s ventilátorem	 1125
Topné těleso velkého grilu	 2200
Topné těleso grilu	 1200
Topné těleso velkého grilu s ventilátorem	 2225
Kruhové topné těleso	 2300
Kruhové topné těleso + dolní topné těleso + ventilátor	 3425
Ventilátor	 25
Osvětlení	 25
Celkový	3500



Obr. 9 Schéma a rozměry horkovzdušné trouby MORA 4807.

5.3 Měřicí přístroj Perkin Elmer TMA 7

Tento měřicí přístroj je schopen měřit součinitele tepelné roztažnosti materiálu, modul pružnosti v tlaku a hloubku penetrace. I se změnou rozměru vzorku, či hloubky penetrace je přístroj schopen působit stálým konstantním tlakem. Tímto přístrojem však není možné měřit materiál ve stavu taveniny. Toto omezení však nijak nelimitovalo naše měření.

5.3.1 Postup měření

Měřicí stroj byl zapnut a připraven k provozu. Stejně tak byl spuštěn počítač, připojený k tomuto zařízení. Do temperační komory byl vložen zkušební vzorek o rozměrech 4 x 4 x 4mm. Tento vzorek byl zatížen nastavenou konstantní silou 10N. Následoval předehřev na teplotu 50°C, a setrvání na této teplotě po dobu 1 minuty. Po této době byl spuštěn ohřev konstantní rychlostí 20°C/min z teploty 50°C na teplotu 400°C. Výstupem této zkoušky je počítačem zaznamenaná hloubka průniku hrotu v závislosti na teplotě.



Obr. 10 Měřicí přístroj Perkin Elmer DMA 7e

5.3.2 Technické parametry měřicího přístroje Perkin Elmer TMA 7

Posuv měřicí jednotky	$\pm 12 \text{ mm}$
Síla vyvolaná hrotem	-6500 – 8000 mN
Rozsah teplot	70 °C – 1000 °C
Rychlost ohřevu	0,1 – 100 °C/min
Kruhový průřez jehly	1 mm ²

Chlazení je realizováno pomocí tekutého dusíku, nebo vzduchu. Pro záznam dat měření slouží příslušný počítač.

5.4 Tahová zkouška

Tahová zkouška byla provedena na univerzálním zkušebním stroji Zwick typu 1456. Jde o univerzální zkušební stroj, na kterém je možné provádět i jiné druhy zkoušek, jako zkouška tlaková a zkouška ohybová. Součástí zkušebního stroje je i temperační komora. Tato komora umožňuje provádět zkoušky v rozmezí teplot od -80°C do 250°C . Toto teplotní rozmezí umožňuje simulovat prakticky všechny možné stavy polymeru při jejich použití. Maximální posuvová rychlost upínacích čelistí je 800 mm/min.



Obr. 11 Univerzální zkušební stroj Zwick 1456.

5.5 Rázová zkouška

Zkouška vrubové houževnatosti byla provedena na zkušebním stroji Charpyho kladivu RESIL IMPACTOR junior italské firmy CEAST. Tento zkušební stroj je plně nastavitelný pro individuální polymerní a kompozitní materiály. Svou stavbou a především velikostí však není vhodný pro standardní zkoušky oceli. Tento stroj je spárován s počítačem a všechny hodnoty a měření jsou zaznamenávány a zpracovány. Tento Software je dobře ovladatelný, práce s ním velmi ulehčuje měření. Zaznamenává data získaná od snímačů stroje. Díky těmto snímačům získáme z tohoto moderního stroje mnohem více informací než při realizaci zkoušky na starém typu kladiva Charpy, kde dochází pouze k zjištění energie potřebné k přeražení.



Obr. 12 Charpyho kladivo RESIL IMPACTOR Junior.

5.6 Tvrdost

Pro zkoušku tvrdosti ShoreD byl použit tvrdoměr firmy OMAG model ART 13, s indikátorem tvaru kuželu z oceli. Tvrdoměr se skládá z těla tvrdoměru s indikační sondou a vyhodnocovacího zařízení s mikroprocesorem. Součástí tvrdoměru je i ocelové závaží. Při průběhu zkoušky se obsluha řídí pokyny na zobrazovacím panelu. Tento přístroj pracuje poměrně rychle a jednoduše. Se svou váhou 6kg lze považovat v případě nutnosti za mobilní. Přístroj je napájen z běžné elektrické sítě. Přístroj není vybaven pamětí pro uložení naměřených dat, obsluha je proto povinná tyto hodnoty zaznamenávat ručně. V případě tohoto typu měření však nejde o markantní časovou ztrátu.



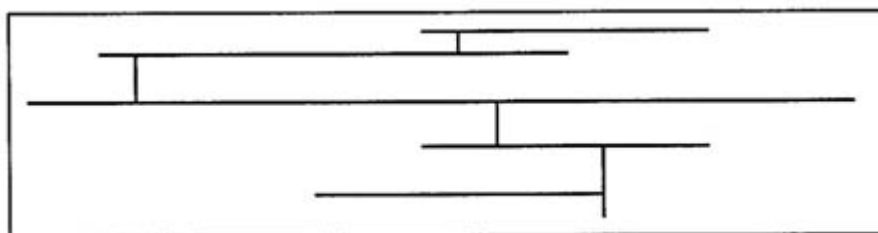
Obr. 13 Tvrdoměr OMAG ART 13.

6 POUŽITÉ MATERIÁLY DODELAT Z MATERILOVÝCH LISTU

6.1 Nízkohustotní polyetylen (Low Density PolyEthylene - LDPE)

Nízkohustotní polyetylen je nejstarší typ polyetylenů. Jde o výrobu polyetylenů za vysokého tlaku. Tento druh polyetylenů díky své rozvětvené struktuře je houževnatý, měkký, pevný a ohebný. Hustota nízkohustotního polyetylenů se pohybuje mezi 915 kg/m^3 až 935 kg/m^3 . Tento materiál je používán pro pevné a poddajné výrobky jako například víka a podobně. Byl také používán jako izolační materiál. V současnosti je využíván pro výrobu obalových materiálů, transportní pytle a výrobu fólií.

Nízkohustotní polyetylen se vyrábí dvěma způsoby. Prvním typem používaných reaktorů je míchaná nádoba neboli autokláv. Druhým typem je použití trubkového reaktoru. Autokláv pracuje adiabaticky a tlakový rozsah autoklávu je mezi 100 MPa a 210 MPa. Trubkový reaktor je chlazen vodním pláštěm a pracuje v rozmezí tlaků 200 MPa až 350 MPa. Jednotlivé materiály se dle druhu výroby liší ve své molekulové struktuře a tím i výsledných vlastnostech. Pro modifikaci jednotlivých vlastností materiálu jsou používány různé iniciační systémy a činidla přenosu řetězce. Příkladem iniciátorů jsou kyslík nebo organické peroxidy. Pro kontrolu rozložení molární hmotnosti vyráběných polymerů jsou přidávány do nástřiku monomeru polární modifikátory (aldehydy, ketony nebo alkoholy) nebo alifatické uhlovodíky. Ventil na výstupu z reaktoru kontroluje provozní tlak. Směs ethylenů a polymerů je ohřívána redukcí tlaku, proto je reakční směs chlazená ve výměníku tepla na výstupu z reaktoru.



Obr. 14 Molekulární struktura LDPE.[37]

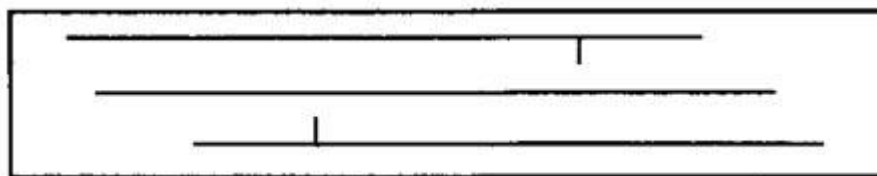
Pro výrobu zkušebních těles byl zvolen materiál s obchodním označením 780E firmy DOW. Tento materiál je vhodný k výrobě polotovarů technologií vstřikování. Základní parametry tohoto materiálu jsou: hustota $0,923 \text{ g/cm}^3$, smrštění při vstřikování 2,3% a mez pevnosti v tahu 10,5MPa. Podrobnější popis materiálu je v materiálovém listu (příloha 1)

6.2 Vysokohustotní polyetylen (High Density PolyEthylene - HDPE)

Vysokohustotní polyetylen je nejtvrdější a nejméně ohebný ze všech typů polyetylenů, a to díky své vysoké krystalinitě. Struktura vysokohustotního polyetyleny je téměř lineární s minimem postranních řetězců. Právě toto uspořádání je příčinou jeho zvýšené hustoty.

Z hlediska distribuce molární hmotnosti můžeme vysokohustotní polyetylen rozdělit na dva druhy. Na druh s úzkým pásem distribuce molární hmotnosti. A typ se širokým pásem distribuce molární hmotnosti. Typ s úzkým pásem distribuce molární hmotnosti je používán na příklad k výrobě přepravek na ovoce nebo nápojů.

HDPE lze vyrábět v podstatě dvěma způsoby. Jde o výrobu v suspenzi, či v plynné fázi. Oběma těmito způsoby mohou být připraveny jak polymery s úzkou, tak širokou distribucí molární hmotnosti. Jako katalyzátory se při výrobě HDPE používají buď Zieglerův typ, založený na titanu, nebo Phillipsův typ, založen na chromu.



Obr. 15 Molekulární struktura HDPE.[37]

Dle dostupnosti a ceny byl zvolen vysokohustotní polyetylen firmy DOW s označením 25055E. Mezi základní materiálové vlastnosti patří: hustota 0.953 g/cm^3 , mez pevnosti v tahu 25MPa, smrštění při vstřikování 2,1%. Další specifické hodnoty tohoto materiálu jsou v nahlédnutí v materiálovém listu (PřílohaPI)

7 POPIS PŘÍPRAVY ZKUŠEBNÍCH TĚLES

7.1 Vstřikování zkušebních těles

Zkušební tělesa jsou vyráběna technologií vstřikování, na vstřikovacím stroji ARBURG Allrounder 420C. Použitý stroj je součástí technického mobiliáře ústavu výrobního inženýrství.

Byla použita vstřikovací forma pro výrobu zkušebních těles. Forma během jednoho vstřikovacího cyklu vyrobí jedno zkušební těleso pro zkoušku tahem a jedno zkušební těleso pro zkoušku vrubové houževnatosti. Obě tyto zkušební tělesa jsou spojena studeným vtokovým systémem formy. Po vyhození z formy a úplném zchladnutí jsou zkušební tělesa obsluhou odebírána z prostoru stroje a ručně, za pomoci štípacích kleští, jsou oddělovány studené rozvodné kanály vtokového systému. Zkušební tělesa byla tříděna dle dalšího užití.

Oba dva materiály jak HDPE tak LDPE byly vstřikovány do stejné vstřikovací formy. Přestože v obou případech jde o polyetyleny, jsou vlastnosti jednotlivých materiálů odlišné stejně jako jejich chování při tomto druhu zpracování.

Pro materiál LDPE s označením 780E výrobce DOW byly nastaveny procesní parametry:

- Teplota pod násypkou	60°C	- Vstřikovací rychlost	60 mm.s ⁻¹
- Druhé teplotní pásmo	200°C	- Vstřikovací tlak	80 MPa
- Třetí teplotní pásmo	205°C	- Doba chlazení	30 s
- Čtvrté teplotní pásmo	210°C	- Teplota formy	40°C
- Páté teplotní pásmo	225°C	- Celkový čas dotlaku	25s
- Teplota trysky	230°C	- Zdvih šneku	15 mm

Pro materiál HDPE musel být cyklus mírně upraven, v zásadě se však příliš neliší. Byla zkrácena doba chlazení, tím byl cyklus zkrácen a zvýšena produktivita.

- Teplota pod násypkou	60°C	- Vstřikovací rychlost	60 mm.s ⁻¹
- Druhé teplotní pásmo	200°C	- Vstřikovací tlak	80 MPa
- Třetí teplotní pásmo	205°C	- Doba chlazení	20 s
- Čtvrté teplotní pásmo	210°C	- Teplota formy	40°C
- Páté teplotní pásmo	225°C	- Celkový čas dotlaku	25s
- Teplota trysky	230°C	- Zdvih šneku	15 mm



Obr. 16 Otevřená vstřikovací forma s umístěným výrobkem a bez něj.

7.2 Sítování zkušebních těles

Radiační sítování se provádí na hotových výrobcích a výsledné vlastnosti daných výrobků jsou závislé na dávce ozáření. Při jednom ozařovacím cyklu je materiál vystaven dávce 33kGy. Míra ozáření je tedy závislá na počtu cyklů. Výsledné dávky jsou tedy vždy násobkem 33 kGy. Jednotlivé série vzorků byly pečlivě rozděleny a označeny, dle materiálu a požadované dávky ozáření. Od ozáření vzorků nabývá pečlivé značení a třídění zásadní význam. Při záměně neoznačených vzorků je takřka nemožné jejich zpětné rozlišení.



Obr. 17 Roztříděné série zkušebních tělísek, označení a uložení při přepravě.

Roztříděné, označené a zabalené vzorky byly dopraveny do Německa, do firmy BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co, Kg, přímo do jejího závodu v Saal am Donau.

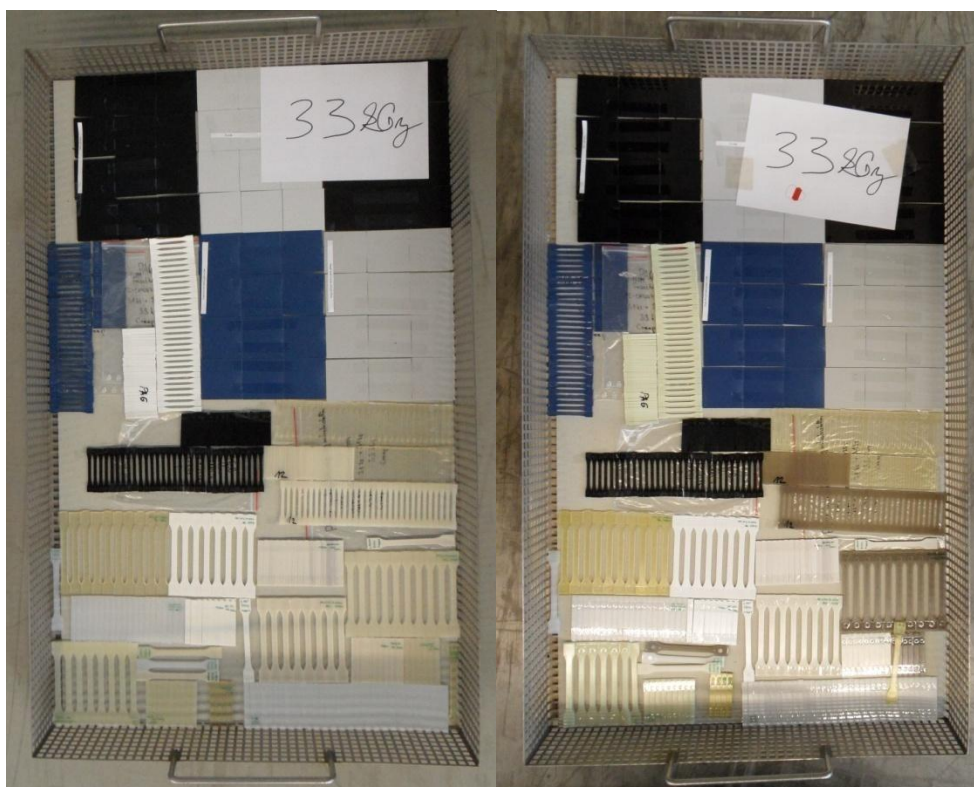


Obr. 18 BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co, pobočka Saal am Donau[12]

Pro výzkumné účely, kdy bylo cílem zjištění chování materiálu a změny jeho vlastností v závislosti na dávce ozáření, byl zvolen plný rozsah možných dávek ozáření. Zkušební tělesa byla tedy postupně rozdělena dle intenzity ozáření prováděných touto firmou. Zkušební tělesa byla ozařována elektronovým beta zářením o energii 10MeV. Jednotlivá

zkušební tělesa byla tedy ozářena dávkami 33kGy, 66kGy, 99kGy, 132kGy, 165kGy a 198kGy.

Ozářeni probíhá v uzavřené a bezpečně izolované místnosti. Zkušební tělesa byla uložena do připravených přepravních košů. Pro rovnoměrné ozářeni byly zkušební tělesa umístěny rovnoměrně a pravidelně uspořádány. Koše byly pomocí automatických dopravníků přemístěny do ozařovací místnosti. Každá série vzorku byla vždy před odesláním do ozařovací místnosti opatřena dosimetrem. Na popisový papír daného materiálu byla přilepena fotochemická nálepka, která byla společně s papírem a výrobky odeslána k ozářeni. Tato nálepka po styku s ozařující energií změnila svou barvu do červené. Takto lze kontrolovat, zda byly vzorky ozářeny a kolikrát.

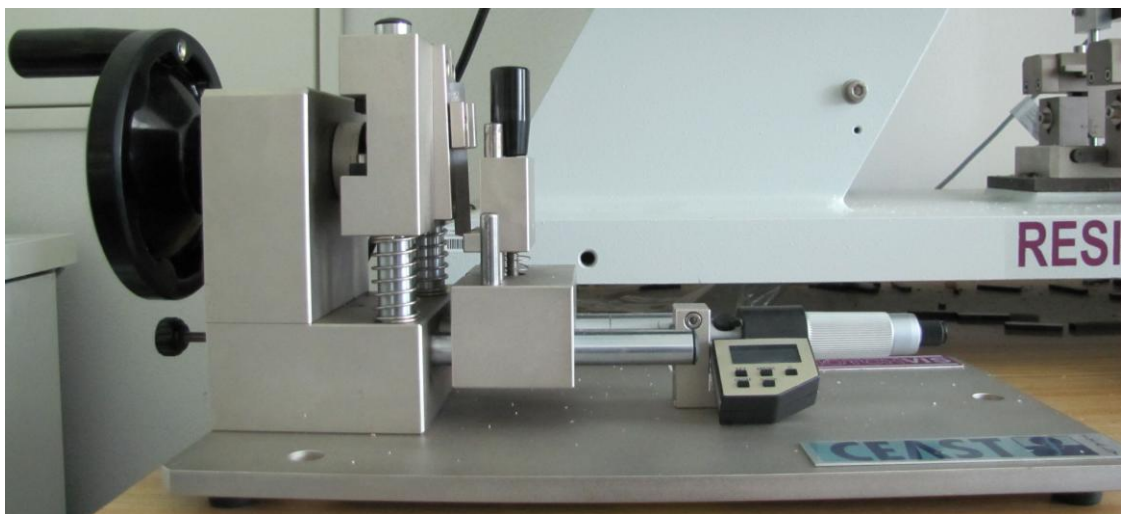


Obr. 19 Zkušební těliska před a po ozářeni dávkou 33kGy.



Obr. 20 Nepoužitý dozimetr přiložený ke vzorkům.

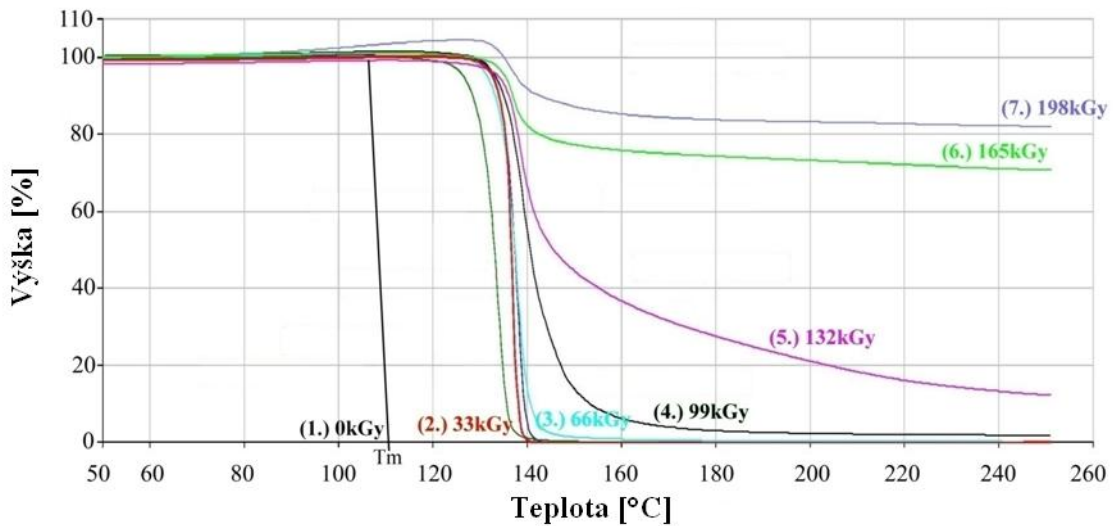
Zkušební vzorky pro zkoušku vrubové houževnatosti byly opatřeny normalizovaným vrubem. Tento vrub o hloubce 2mm byl zhotoven na ručně poháněném stroji CEAST. Pomocí černého kola vyvozujeme kmitavý pohyb nože. Tento nůž svým pohybem řeže vrub do vloženého vzorku. Hloubku vrubu korigujeme pomocí mikrometrického šroubu a hloubku vrubu kontrolujeme na zobrazovacím display. Vrub byl zhotoven postupným přidáváním hloubky. Jednotlivé přídavky se pohybovaly kolem hodnoty 0,3 mm.



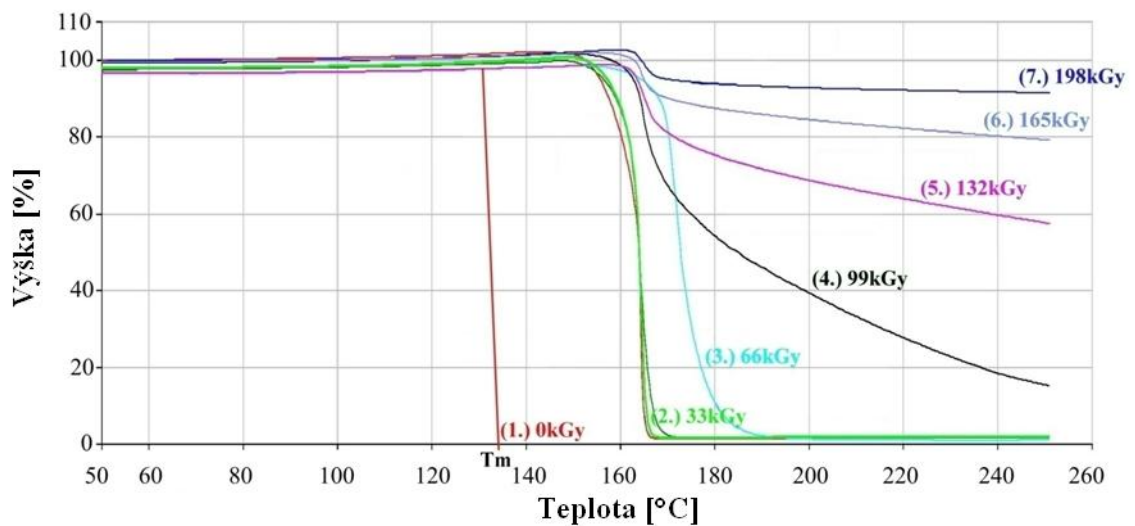
Obr. 21 Zařízení pro výrobu vrubů značky CEAST.

8 TVAROVÉ ZKOUŠKY

Z výsledků tvarových zkoušek TMA jsme určili tři teploty, kterými budou dané materiály namáhány po dobu 15 minut. Zvolené teploty jsou 110°C, 180°C a teplota 220°C.



Obr. 22 Graf TMA pro materiál LDPE.



Obr. 23 Graf TMA pro materiál HDPE.

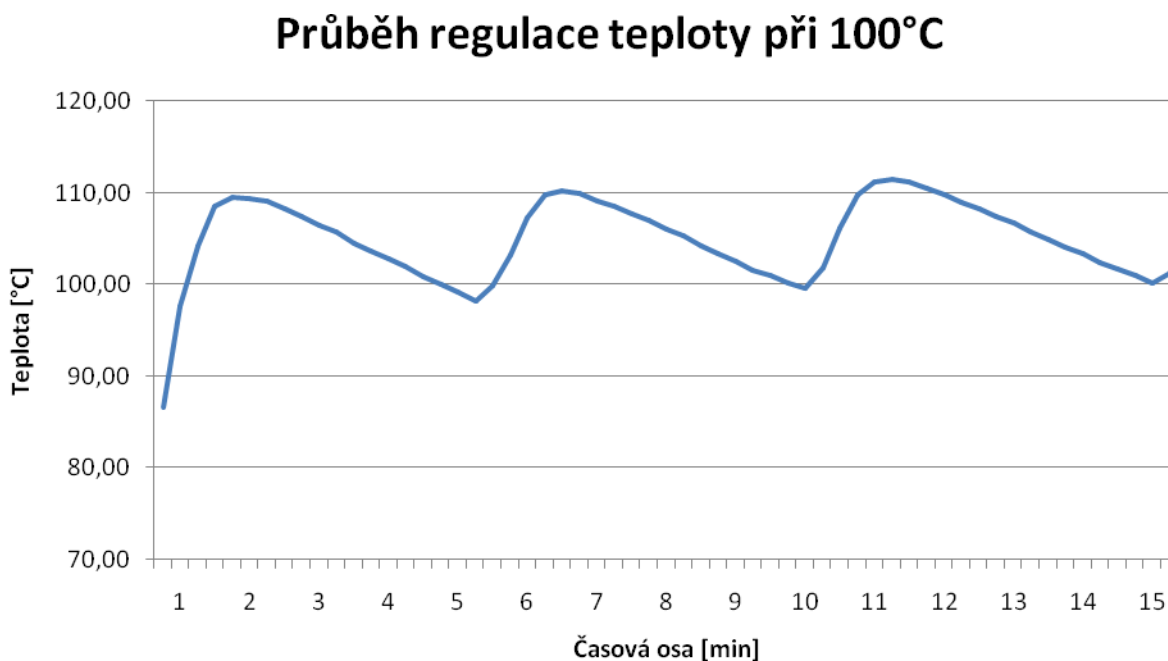
8.1 Měření teploty v teplotní komoře

Použité zařízení nebylo primárně konstruováno a vyrobeno pro experimentální využití. Z těchto důvodů bylo potřeba ověřit skutečný průběh teplot a schopnost regulace teplot teplotní komory. K tomuto účelu bylo využito měřicí zařízení firmy COMET MS6. Zařízení bylo instalováno do teplotní komory k následnému použití. Zařízení je schopno v reálném čase zaznamenávat teplotu ve třech místech teplotní komory a naměřená data řadit a ukládat do počítače.

Byla zvolena kontrola regulace tří teplot, teploty 100°C, 170°C a 200°C. Byla vyhodnocována kvalita regulace a odchylka od nastavené teploty.

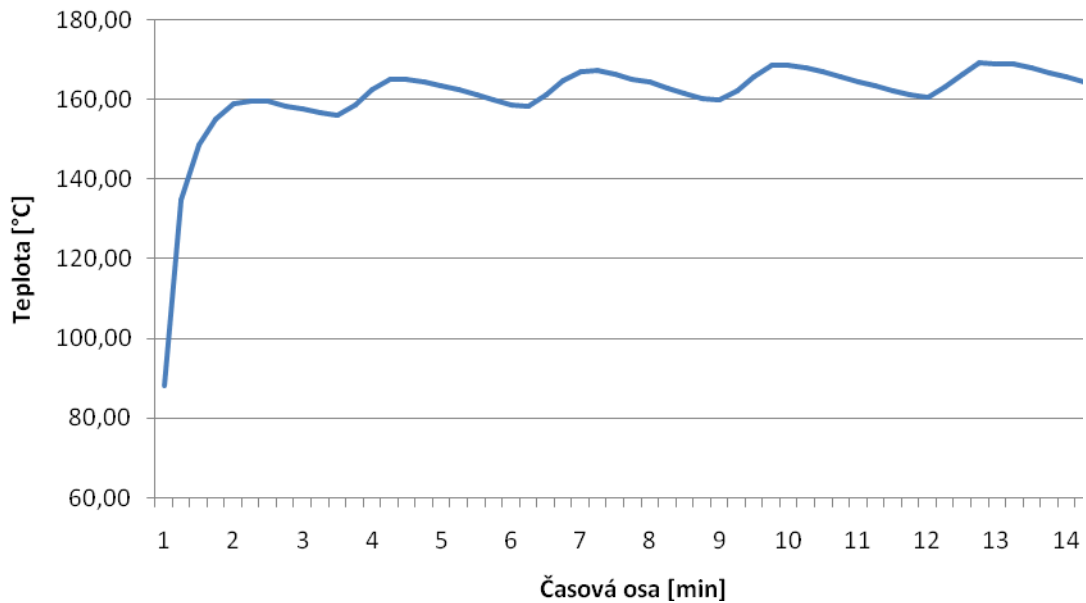
Z grafického znázornění měření je patrné, že trouba je schopna regulovat teplotu v rozmezí 10°C. S ohledem na primární funkci, k níž byla trouba konstruována, se toto odchýlení hodnot při regulaci předpokládalo.

Před vložení zkušebních těles do teplotní komory byla určitou dobu ponechána na nastavené teplotě a zkušební tělesa byla vložena až po předpokládaném ustálení teploty.



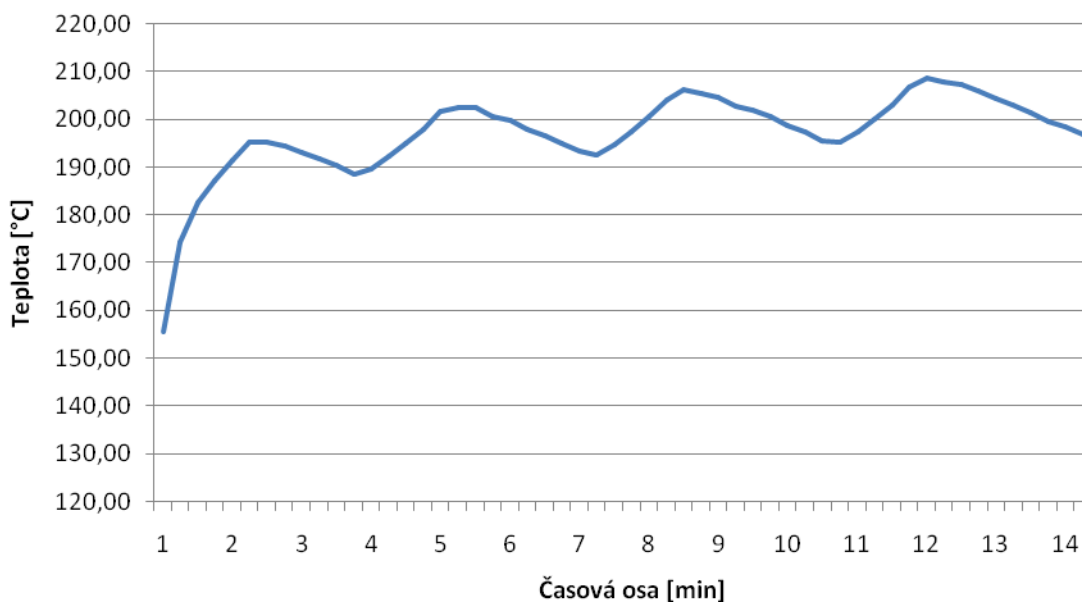
Obr. 24 Graf průběhu regulace teploty 100°C.

Průběh regulace teploty při 170°C



Obr. 25 Graf průběhu regulace teploty 170°C.

Průběh regulace teploty při 200°C



Obr. 26 Graf průběhu regulace teploty 200°C.

Zkušební tělesa byla podrobena tepelnému namáhání. Zkušební tělesa byla po jednotlivých sériích vkládána do teplotní komory, kde byla po dobu 15 minut vystavena zvýšeným teplotám. Při ohřevu zkušebních těles a jejich následnému ochlazení, dochází vlivem vysokých rozdílů teplot ke vzniku vnitřního pnutí, což má za následek deformaci zkušebních těles. Tento jev je samozřejmě nežádoucí. Pro větší rovnoměrnost jak ohřevu, tak následného chlazení, byla zkušební tělesa vložena mezi dvě ocelové desky. Ocelové desky svým naakumulovaným teplem eliminovaly skokovou změnu teploty povrchu těles po vyjmutí z trouby a tím bylo docíleno plynulejšího ochlazování a potlačení deformací. Toto řešení podstatně prodloužilo tuto operaci, ukázalo se ovšem jako nezbytné. Především při nejvyšších zvolených teplotách dochází k natavení vzorků a to vede k přichycení na ocelové desky. Z tohoto důvodu bylo použito pečícího papíru jakožto separačního prostředku.

8.2 Změna rozměru a vzhledu

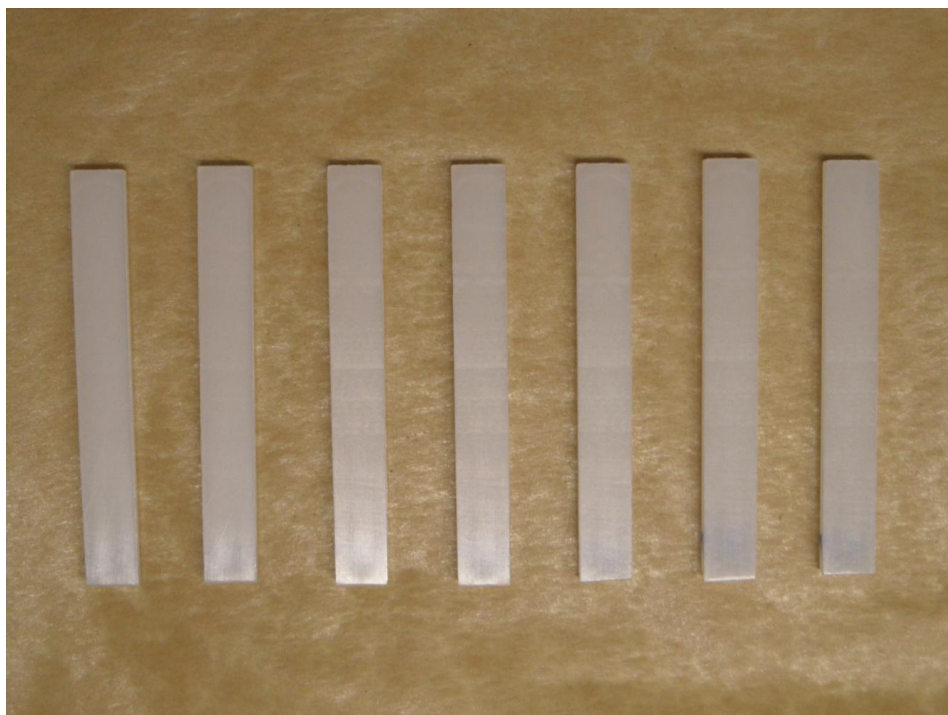
Vlivem tepelného namáhání dojde k deformaci a tím ke změně jeho rozměrů. S rostoucí teplotou lze očekávat nárůst deformací. Výše popsané deformaci vlivem nerovnoměrnosti ochlazování výrobku bylo zabráněno, proto se výrazně nezměnil jejich tvar. Tím je myšleno, že nedošlo ke zprohýbání těchto vzorků do oblouku. Oproti původním, vstříkovaným tělesům, se rozměry tepelně namáhaných těles změnily. I pouhým okem, bez použití měřicí techniky, je tato změna patrná a to především u těles ohřátých na teplotu 220°C

8.2.1 Postup a vyhodnocení

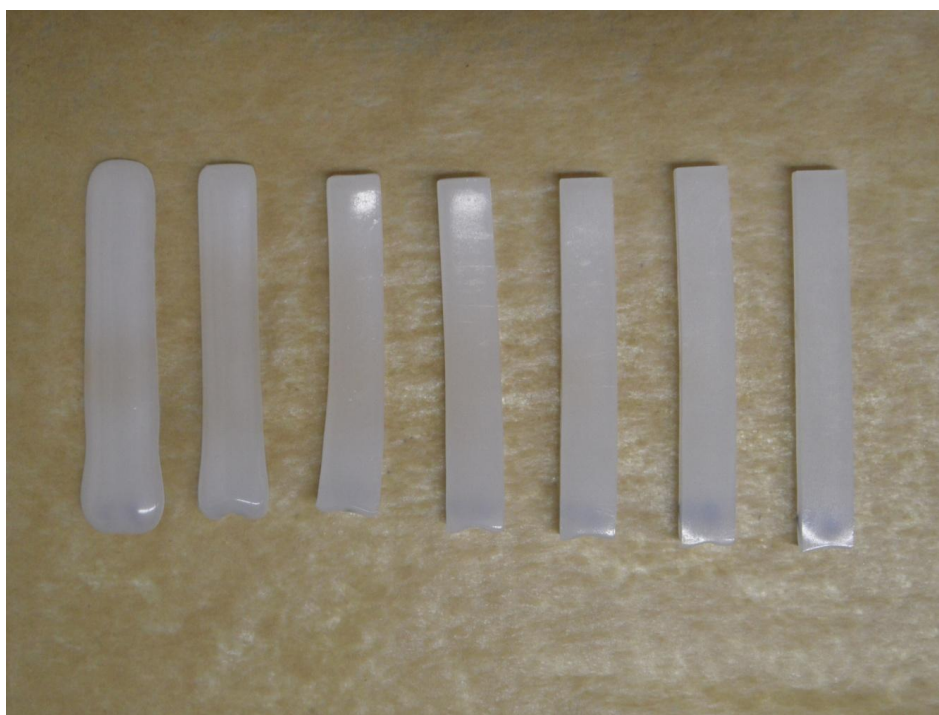
Materiál LDPE má obecně horší vlastnosti při zvýšených teplotách, než materiál HDPE. Z obrázku je jasně patrné, že tepelná odolnost materiálu LDPE je skutečně nižší než HDPE. Vzorky na obrázcích jsou seřazeny dle dávky ozáření, vždy zleva doprava, od neozářeného po nejvíce ozářená tělesa. Z obrázků plyne, že vyšší dávky ozáření zlepšují tepelnou odolnost jak HDPE tak LDPE. Neozářené nebo méně ozářené jsou však tepelnou zátěží dosti znehodnoceny. Znehodnocení se projevuje v takovém rozsahu, že použití vzorků při dalších zkouškách je prakticky nemožné. Tepelné zátěži 180°C a 220°C jsou tedy podrobena pouze vzorky s minimální dávkou ozáření 99kGy. Tyto vzorky jsou poměrně odolné a i při takto vysokých teplotách nedochází k jejich výraznému porušení.

Součástí tohoto pozorování je také přesné numerické vyjádření tvarových změn na tělesech. Vstříkovaná tělesa tvaru hranolů o rozměrech tloušťka x šířka x délka ($s \times b \times L$) 4mm x 10mm x 80mm byla po tepelném namáhání kontrolována pomocí posuvné měřky.

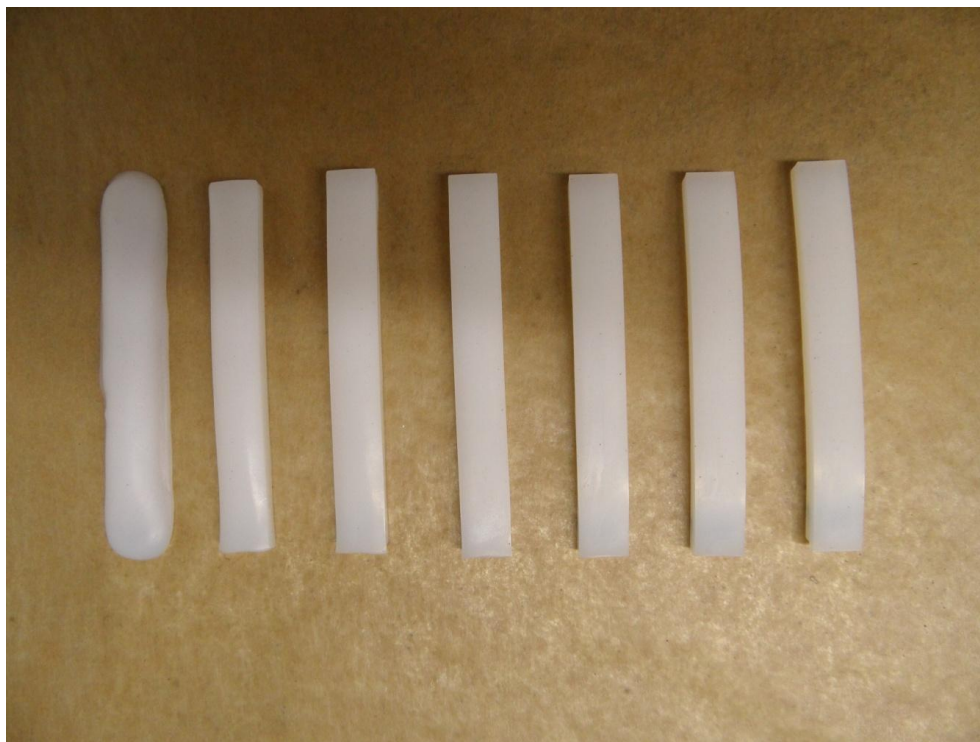
V tabulce zaznamenané hodnoty potvrzují předchozí mínění. Došlo ke změně rozměrů zkušebních těles. Velikost této změny rostla s velikostí teploty, tělesa s větší dávkou ozáření si však oproti méně ozářeným tělesům do jisté míry udržela své rozměry.



Obr. 27 Vzorok materiálu LDPE před zahřátím.



Obr. 28 Vzorok materiálu LDPE po 15 minutách při 220°C



Obr. 29 Vzorčky materiálu HDPE po 15 minutách při 220°C

Tab. 3 Rozměry vzorků LDPE a HDPE po tepelné zátěži 110°C

Rozměr	Tepelné namáhání 110°C													
	HDPE													
	0 kGy		33 kGy		66 kGy		99 kGy		132 kGy		165 kGy		198 kGy	
	∅	σ	∅	σ	∅	σ	∅	σ	∅	σ	∅	σ	∅	σ
s [mm]	4,1	0,1	4,1	0,1	4,0	0,1	4,0	0,1	4,0	0,1	4,0	0,1	4,0	0,1
b [mm]	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1
L [mm]	80,0	0,1	80,0	0,1	80,0	0,1	80,0	0,1	80,1	0,1	80,1	0,1	80,1	0,1
	LDPE													
	0 kGy		33 kGy		66 kGy		99 kGy		132 kGy		165 kGy		198 kGy	
	∅	σ	∅	σ	∅	σ	∅	σ	∅	σ	∅	σ	∅	σ
s [mm]	4,0	0,1	4,0	0,1	4,0	0,1	4,0	0,1	4,0	0,1	4,0	0,1	4,0	0,1
b [mm]	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1
L [mm]	80,2	0,1	80,2	0,1	80,2	0,1	80,4	0,1	80,3	0,1	80,3	0,1	80,2	0,1

Tab. 4 Rozměry vzorků LDPE a HDPE po tepelné zátěži 180°C

Rozměr	Tepelné namáhání 180°C															
	HDPE								LDPE							
	99 kGy		132 kGy		165 kGy		198 kGy		99 kGy		132 kGy		165 kGy		198 kGy	
	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ
s [mm]	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1
b [mm]	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1
L [mm]	79,7	0,1	79,6	0,1	79,8	0,1	79,8	0,1	79,5	0,1	79,6	0,1	79,6	0,1	79,7	0,1

Tab. 5 Rozměry vzorků LDPE a HDPE po tepelné zátěži 220°C

Rozměr	Tepelné namáhání 220°C															
	HDPE								LDPE							
	99 kGy		132 kGy		165 kGy		198 kGy		99 kGy		132 kGy		165 kGy		198 kGy	
	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ	\varnothing	σ
s [mm]	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1	4,1	0,1	4,0	0,1
b [mm]	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,1	0,1	10,4	0,1	10,3	0,1	10,3	0,1	10,3	0,1
L [mm]	79,5	0,1	79,6	0,1	79,5	0,1	79,5	0,1	78,2	0,1	78,2	0,1	78,7	0,1	78,8	0,1

9 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

9.1 Vrubová houževnatost

Zkouška vrubové houževnatosti byla provedena na zkušebním stroji Charpyho kladivo. Princip zkoušky spočívá v přeražení zkušebních těles usazených na dvou podporách, za pomoci kyvného kladiva. Dle nastavení kladiva do určité polohy neboli výšky, čímž může být měněna jeho energie k přeražení zkušebního tělesa. Energie potřebná k přeražení tělesa odpovídá rozdílu potenciálních energií kladiva před a po přeražení. Tato potenciální energie je přímo úměrná výšce kmitu kladiva.

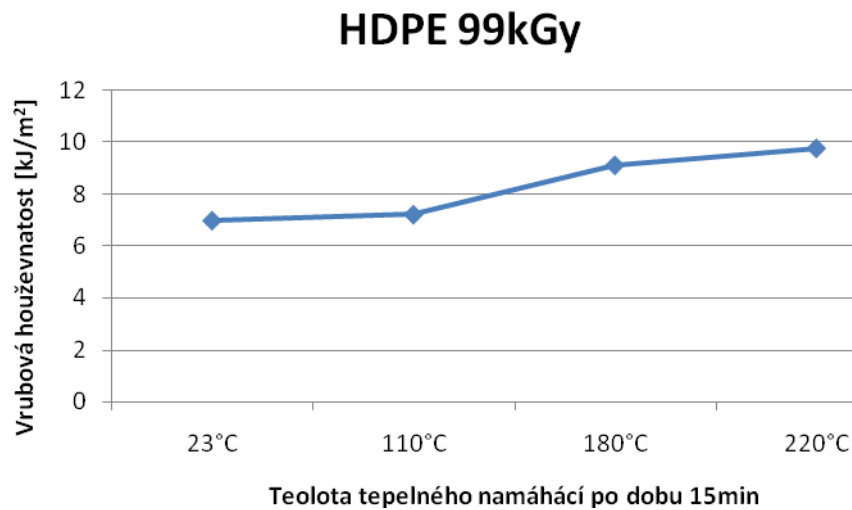
9.1.1 Průběh zkoušky

Protože je průběh zkoušky a data měření zaznamenávána a zpracována programem, musí být v první radě uveden do provozu počítač spárovaný s Charpyho kladivem. Následně spouštíme stroj a prvky zprostředkující komunikaci mezi nimi. Poté je provedena kontrola stroje a příprava stroje pro provedení zkoušky. Je kontrolována vzdálenost podpor, na něž se umísťuje zkušební těleso, a výška kladiva tedy úhel nastavení. V tomto případě byl nastaven úhel 40° . Tato energie je pro přeražení vzorku dostačující. Tento parametr byl zanesen do programu počítače. Program byl připraven na provedení zkoušky. Pro kontrolu funkčnosti a nastavení stroje byl po spuštění bezpečnostního krytu přeraženo první těleso. Toto těleso sloužilo pouze k ověření správnosti provedení a bezchybnému záznamu dat a proto nebyl zařazen do souboru vyhodnocovaných dat. Průběh byl vyhodnocen jako bezchybný, a proto bylo zahájeno měření jednotlivých těles. Tyto tělesa byly připraveny do sérií, kde byly děleny dle materiálu, množství ozáření a velikosti teploty tepelného namáhání.

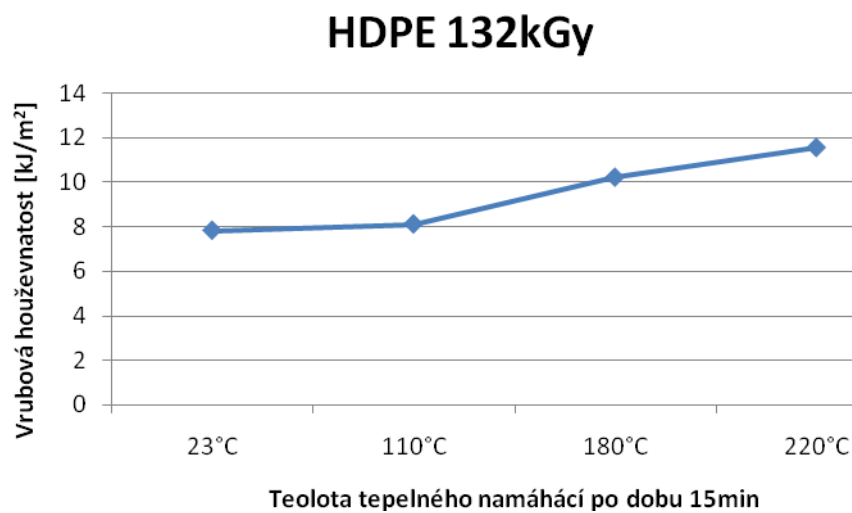
9.1.2 Vyhodnocení zkoušky

Zkouška byla provedena pouze na materiálu HDPE. Rázová houževnatost LDPE při běžné teplotě nebyla u všech zkoušených těles naměřena, protože docházelo k příliš velké deformaci všech zkušebních těles a následnému nepřeražení. Takto získaná data byla značně zkreslená a ze statistického hlediska prakticky nepoužitelná. Tento problém je možné vyřešit podchlazením zkušebních vzorků pomocí tekutého dusíku, kdy dojde vlivem snížené teploty ke zkrěhnutí a tím zamezení nežádoucích deformací zkušebního těle-

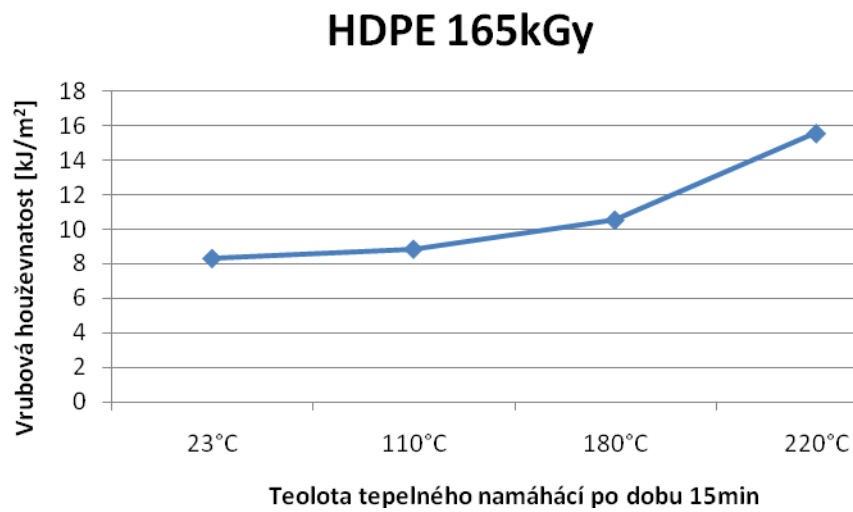
sa. Toto provedení však bylo nákladné a vyžadovalo by také jisté zkušenosti při práci s tímto chladícím médiem.



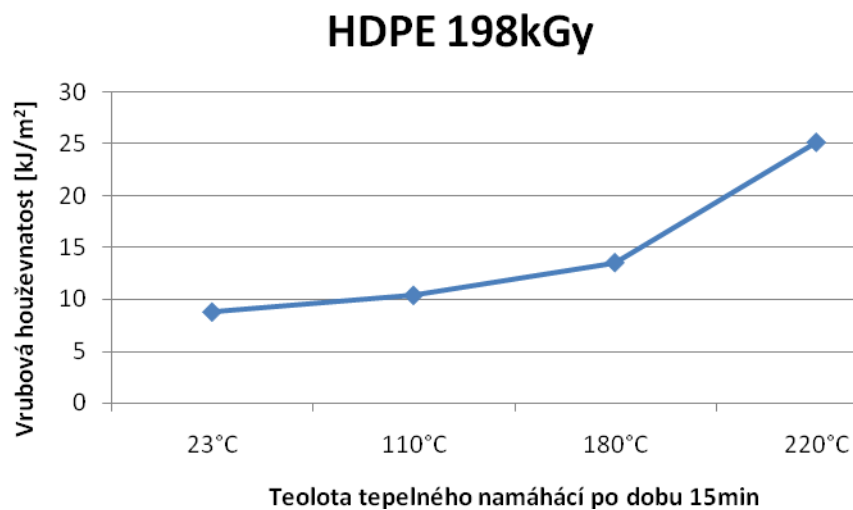
Obr. 30 Změna vrubové houževnatosti v závislosti na teplotě u materiálu HDPE 99kGy.



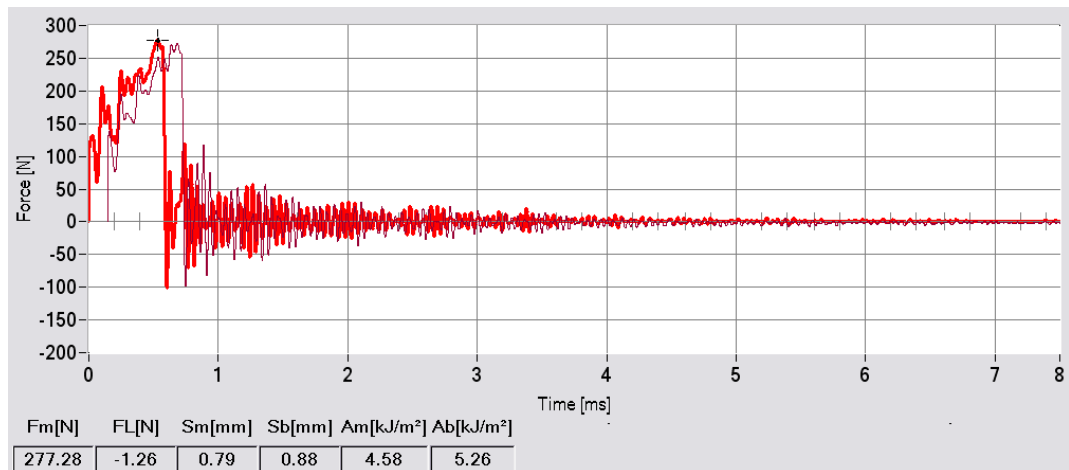
Obr. 31 Změna vrubové houževnatosti v závislosti na teplotě u materiálu HDPE 132kGy.



Obr. 32 Změna vrubové houževnatosti v závislosti na teplotě u materiálu HDPE 165kGy.



Obr. 33 Změna vrubové houževnatosti v závislosti na teplotě u materiálu HDPE 198kGy.



Obr. 34 Grafické znázornění průběhu síly při zkoušce vrubové houževnatosti.

Z grafu je patrné, že s rostoucí teplotou, jíž byl materiál vystaven po dobu 15 minut, roste i vrubová houževnatost. Tuto změnu můžeme pozorovat u všech zkoušených materiálů. K největšímu nárůstu však dochází u nejvíce ozářených těles. Předpokladem je, že materiálu byla vlivem zvýšené teploty dána možnost zrelaxovat. Neboť vsíkování je z reologického hlediska obsáhlý proces, při němž je materiál intenzivně namáhán silou a tlakem. Tím dochází k deformaci jeho řetězců. Vlivem ohřevu materiálu na vysokou teplotu a setrvání na této teplotě přepokládáme snížení zamrklých napětí ve výrobku a odstranění vad a deformací sítě.

9.2 Tahová zkouška

9.2.1 Zkušební tělíska

Pro tahovou zkoušku byla vstřikováním vyrobena standardní zkušební tělesa pro zkoušku tahem. Tyto zkušební tělesa mají tvar lopatiček. Jednotlivé zkušební tělesa byly rozděleny do sérií dle materiálu, množství ozáření, jemuž byly vystaveny, a podle intenzity tepelné zátěže.

9.2.2 Průběh zkoušky

Před započítím samotné zkoušky je nutné programové nastavení zkušebního stroje. Jde o vyplnění základních informací, na jejich základě počítač vyhodnocuje naměřená data. Rozměry zkušebních vzorků, vztahených k jejich průřezu, byly v tomto případě zadány hodnotami 4 x 10mm. Byla zvolená také rychlost posuvu čelistí při průběhu zkoušky.

S ohledem na dobu trvání samotné zkoušky byla zvolena rychlost 50mm/min. Tato rychlost byla zvolena jako optimální jak s ohledem na dobu trvání zkoušky, průběh deformace zkušebních těles, tak přesnost a záznam naměřených dat.

Po přípravě a důkladné kontrole zkušebního stroje bylo přikročeno k provedení samotných zkoušek. Čelisti přístroje byly nastaveny do referenční polohy. S ohledem na postavení tenzometrických snímačů bylo do čelistí co nejpřesněji upnuto zkušební těleso. Po kontrole byla počítačem vynulována zatěžující síla a spuštěna samotná zkouška. Zkušební stroj soustavou čidel měřil aktuální průběh zkoušky a počítačem zpracované hodnoty byly v reálném čase zobrazovány na monitoru. Zkouška probíhala do přetržení vzorku. Po přetržení vzorku byla zkouška ukončena, části zkušebních těles vyjmuty a čelisti nastaveny do retenční polohy a připraveny k další zkoušce.

Vyhodnocená data jednotlivých zkoušek byla v počítači pečlivě řazena, do zvolených sérií dle zkoušených těles. Data byla průběžně ukládána a následně exportována ke zpracování a vyhodnocení.

9.2.3 Vyhodnocení zkoušky

Hlavními získanými hodnotami této zkoušky jsou hodnoty meze pevnosti v tahu, modul pružnosti v tahu, prodloužení při přetržení a síla na mezi pevnosti.

Dle očekávání materiál HDPE vykazuje vyšší pevnost v tahu než materiál LDPE. Při porovnání mezi pevností udanou v materiálovém listu a hodnotou získanou tahovou zkouškou lze říci, že se vlivem radiačního síťování hodnota meze pevnosti nepatrně zvýšila.

Při pohledu na změnu meze pevnosti v souvislosti s tepelným namáháním nelze zcela přesně hodnotit vývoj a posun meze pevnosti. Je pozorován určitý průběh hodnot. Jednotlivé hodnoty meze pevnosti při různých teplotách nevykazují příliš velké změny, proto by bylo vhodné pro přesnější popis průběhu této závislosti, provést další měření.

Tab. 6 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků

HDPE tepelně nezatížených.

23°C	Mez pevnosti		Modul pružnosti		Prodloužení		Síla na mezi pevnosti	
	[N/mm ²]	σ	[N/mm ²]	σ	[%]	σ	[N]	σ
0 kGy	25,8	0,1	1261,9	27,9	202,1	31,1	944,3	5,1
33 kGy	25,7	0,4	1230,0	42,1	188,2	4,4	939,4	14,8
66 kGy	25,9	0,1	1251,2	15,5	135,1	64,3	946,9	3,6
99 kGy	26,3	0,3	1290,9	31,3	198,8	40,7	961,7	9,4
132 kGy	26,5	0,3	1291,6	16,2	155,4	7,7	970,6	9,4
165 kGy	26,6	0,3	1284,8	24,9	153,1	3,7	972,3	10,4
198 kGy	27,0	0,2	1296,1	26,1	165,2	3,9	987,7	8,1

Tab. 7 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků

HDPE zatížených 110°C.

110°C	Mez pevnosti		Modul pružnosti		Prodloužení		Síla na mezi pevnosti	
	[N/mm ²]	σ	[N/mm ²]	σ	[%]	σ	[N]	σ
0 kGy	25,2	0,2	1177,5	30,4	184,9	4,4	920,7	8,7
33 kGy	25,3	0,3	1174,4	17,2	177,9	91,0	925,3	10,8
66 kGy	25,8	0,4	1197,4	13,5	78,8	69,5	944,3	15,7
99 kGy	26,6	0,2	1188,8	10,6	105,8	65,1	973,2	7,5
132 kGy	26,7	0,1	1239,5	6,2	64,1	60,5	978,3	3,2
165 kGy	26,5	0,3	1219,2	18,8	32,8	7,6	967,7	9,9
198 kGy	26,4	0,2	1240,1	23,7	71,7	68,4	966,4	6,6

Tab. 8 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků

HDPE zatížených 180°C.

180°C	Mez pevnosti		Modul pružnosti		Prodloužení		Síla na mezi pevnosti	
	[N/mm ²]	σ	[N/mm ²]	σ	[%]	σ	[N]	σ
99 kGy	26,4	0,1	1206,5	18,1	142,8	28,6	967,1	4,9
132 kGy	26,6	0,2	1227,7	9,4	208,0	22,8	974,4	7,3
165 kGy	26,4	0,1	1149,4	45,1	212,2	35,3	966,7	5,5
198 kGy	27,0	0,1	1227,8	15,1	160,6	9,7	986,6	5,0

Tab. 9 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků

HDPE zatížených 220°C.

220°C	Mez pevnosti		Modul pružnosti		Prodloužení		Síla na mezi pevnosti	
	[N/mm ²]	σ	[N/mm ²]	σ	[%]	σ	[N]	σ
99 kGy	26,6	0,2	1170,5	49,5	209,7	18,1	971,1	5,8
132 kGy	26,7	0,1	1181,2	32,7	175,2	16,5	977,6	4,7
165 kGy	26,7	0,4	1166,5	59,9	153,4	40,1	975,0	13,7
198 kGy	26,8	0,1	1168,8	16,8	164,7	4,9	980,8	2,3

Tab. 10 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků

LDPE tepelně nezatížených.

23°C	Mez pevnosti		Modul pružnosti		Prodloužení		Síla na mezi pevnosti	
	[N/mm ²]	σ	[N/mm ²]	σ	[%]	σ	[N]	σ
0 kGy	11,1	0,0	302,4	5,9	143,4	1,8	406,5	1,1
33 kGy	11,3	0,0	262,6	21,4	143,5	2,4	412,6	1,5
66 kGy	11,5	0,0	287,1	69,7	147,0	1,8	419,3	1,0
99 kGy	11,6	0,0	204,6	27,0	152,3	2,5	422,5	1,2
132 kGy	11,4	0,1	218,8	54,1	149,4	3,4	418,0	2,9
165 kGy	11,6	0,0	258,2	78,5	153,3	8,9	425,6	1,8
198 kGy	11,8	0,0	258,0	57,1	155,5	3,9	432,6	1,1

Tab. 11 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků

LDPE zatížených 110°C.

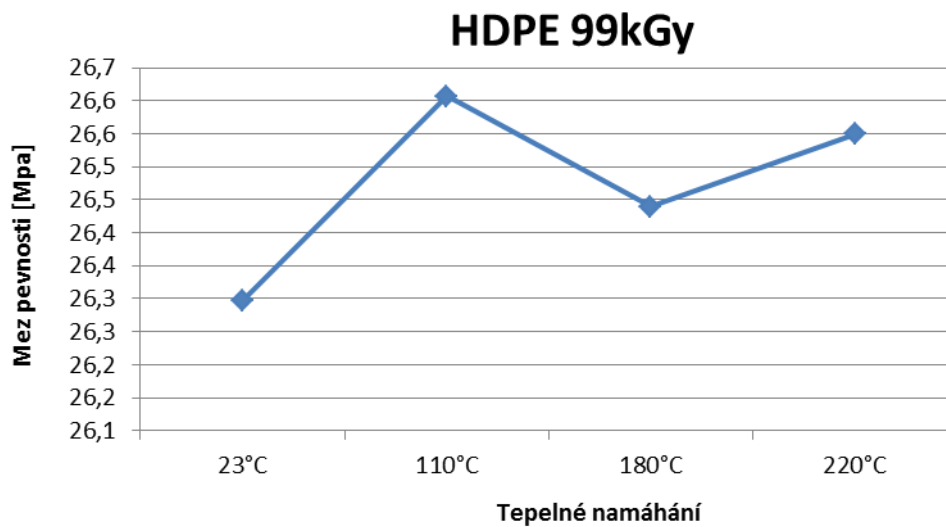
110°C	Mez pevnosti		Modul pružnosti		Prodloužení		Síla na mezi pevnosti	
	[N/mm ²]	σ	[N/mm ²]	σ	[%]	σ	[N]	σ
0 kGy	11,0	0,0	156,2	66,8	136,0	3,3	403,9	1,5
33 kGy	11,1	0,0	178,1	28,6	143,4	0,6	404,5	0,3
66 kGy	11,2	0,0	150,6	24,9	141,9	1,2	409,2	1,6
99 kGy	11,0	0,0	194,5	30,1	150,1	5,0	403,6	1,7
132 kGy	11,2	0,2	193,1	12,5	156,0	0,7	409,9	7,5
165 kGy	11,1	0,0	217,4	7,8	161,1	2,2	407,5	0,6
198 kGy	11,2	0,1	218,2	1,0	155,1	4,1	409,0	2,8

Tab. 12 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků
LDPE zatížených 180°C.

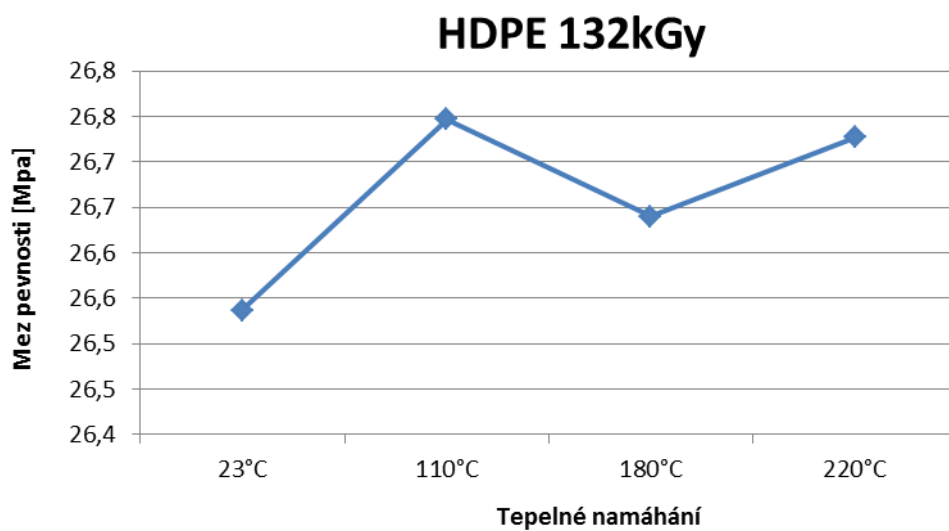
180°C	Mez pevnosti		Modul pružnosti		Prodloužení		Síla na mezi pevnosti	
	[N/mm ²]	σ	[N/mm ²]	σ	[%]	σ	[N]	σ
99 kGy	11,3	0,0	266,4	9,4	156,9	0,9	412,2	1,5
132 kGy	11,3	0,1	262,9	7,2	164,1	6,0	415,0	1,9
165 kGy	11,3	0,1	257,3	6,8	163,9	0,4	414,0	2,4
198 kGy	11,3	0,0	246,0	5,2	168,8	1,2	413,8	1,5

Tab. 13 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků
LDPE zatížených 220°C.

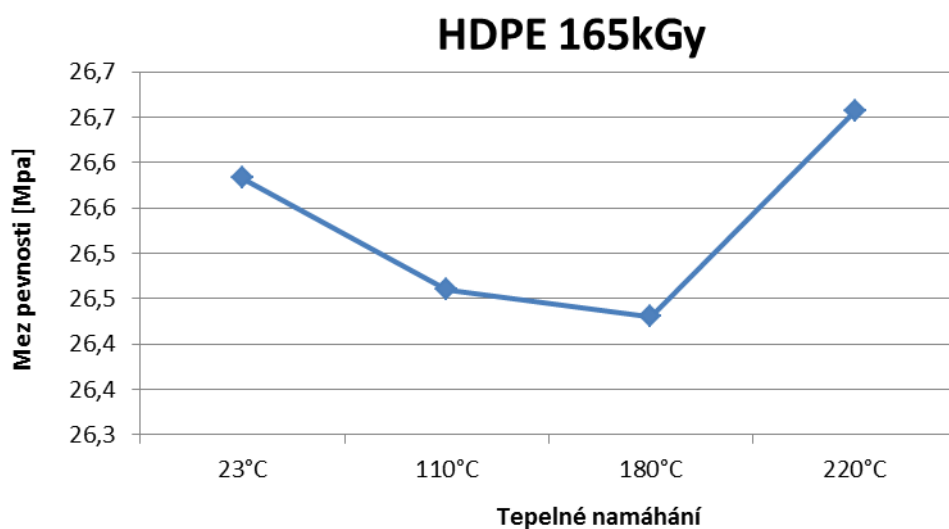
220°C	Mez pevnosti		Modul pružnosti		Prodloužení		Síla na mezi pevnosti	
	[N/mm ²]	σ	[N/mm ²]	σ	[%]	σ	[N]	σ
99 kGy	12,2	0,1	322,1	12,4	175,8	4,4	447,0	3,3
132 kGy	11,9	0,1	324,6	11,1	161,1	6,0	436,7	3,4
165 kGy	11,8	0,1	294,4	12,9	205,8	9,1	431,3	4,0
198 kGy	11,8	0,1	291,7	20,1	213,8	12,4	433,2	2,5



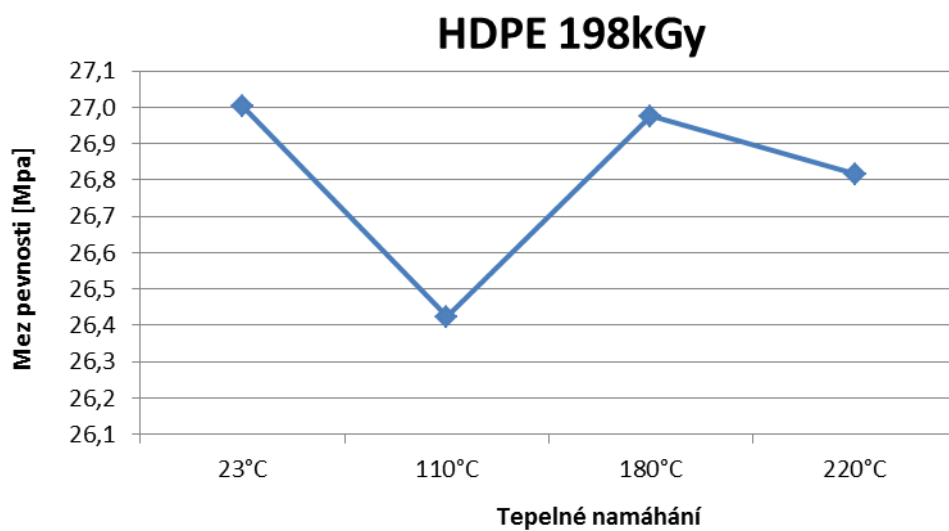
Obr. 35 Závislost meze pevnosti na teplotě HDPE 99kGy.



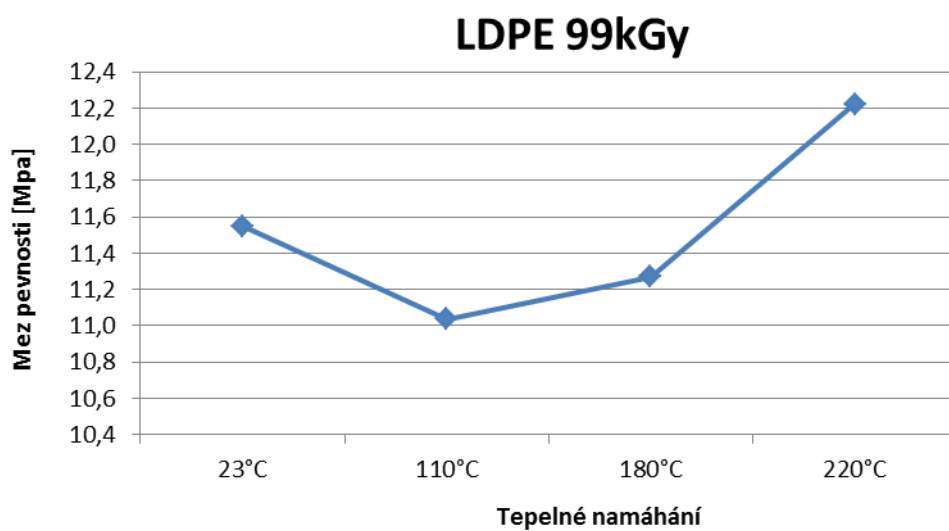
Obr. 36 Závislost meze pevnosti na teplotě HDPE 132kGy.



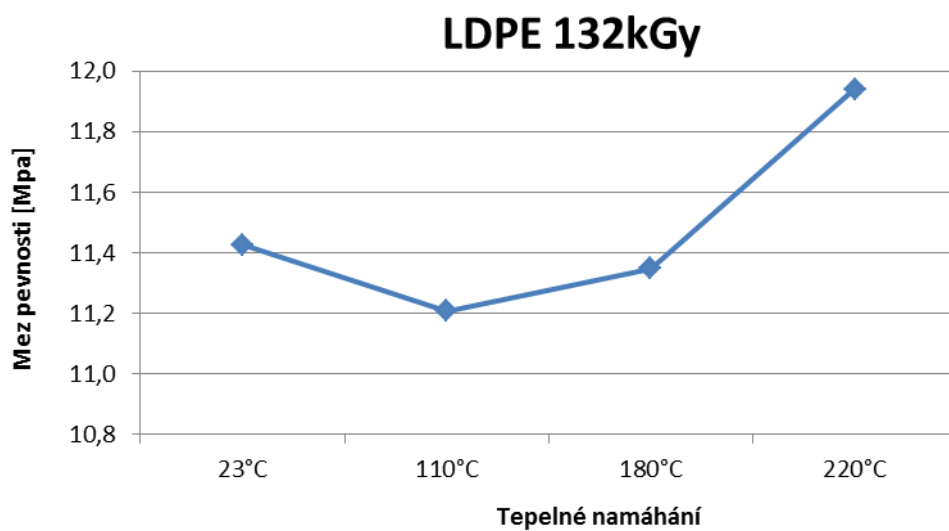
Obr. 37 Závislost meze pevnosti na teplotě HDPE 165kGy.



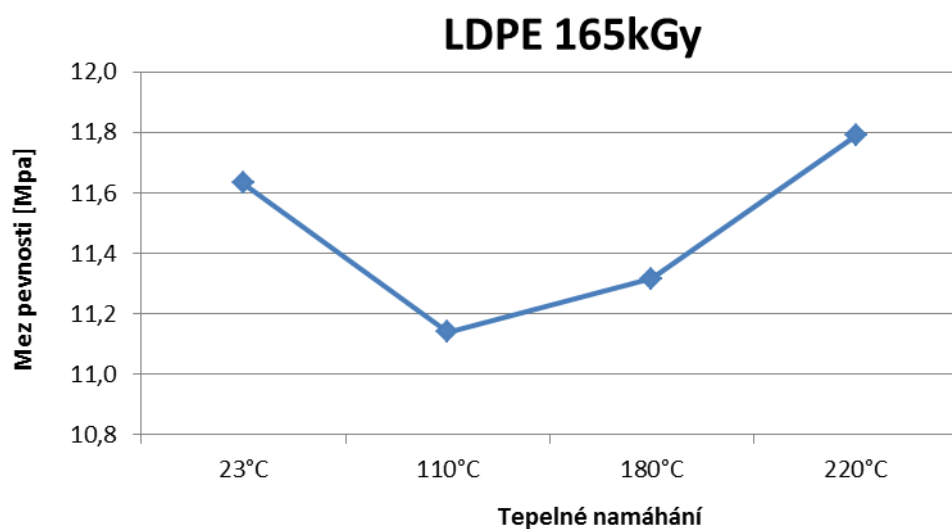
Obr. 38 Závislost meze pevnosti na teplotě HDPE 198kGy.



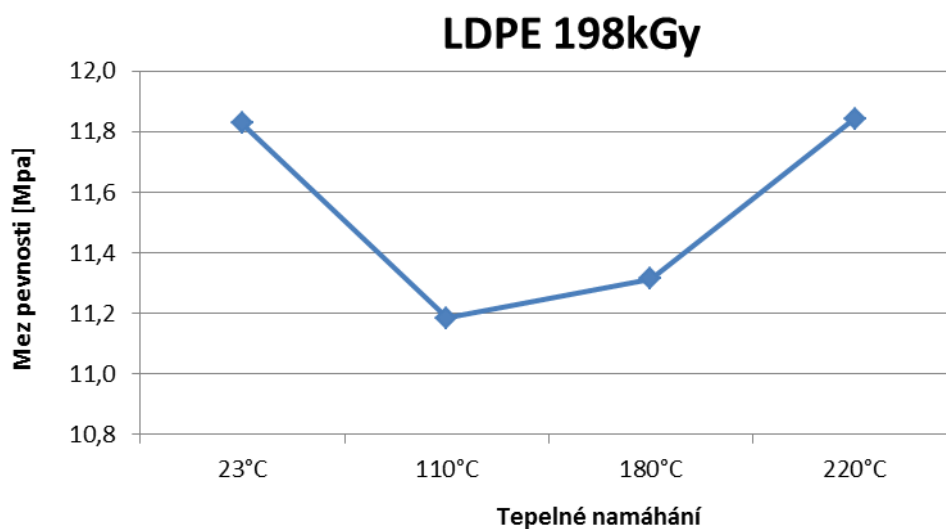
Obr. 39 Závislost meze pevnosti na teplotě LDPE 99kGy.



Obr. 40 Závislost meze pevnosti na teplotě LDPE 132kGy.



Obr. 41 Závislost meze pevnosti na teplotě LDPE 165kGy.



Obr. 42 Závislost meze pevnosti na teplotě LDPE 198kGy.

9.3 Tvrdość Shore D

9.3.1 Zkušební tělesa

Pro zkoušku tvrdosti Shore D byla použita stejná zkušební tělesa jako pro zkoušku vrubové houževnatosti. Tyto zkušební tělesa byla rozdělena do jednotlivých sérií dle množství ozáření a hodnoty tepelného zatížení.

9.3.2 Průběh zkoušky

Zkouška tvrdosti Shore D je ve své podstatě rychlou a jednoduchou zkouškou, velmi dobře charakterizující daný materiál. První přichází na řadu seznámení s přístrojem. Následuje nezbytná kontrola použité sondy. Tyto sondy se liší v závislosti na typu zkoušky. Následně je zapnuto vyhodnocovací zařízení. Je provedena kontrola nastavení tohoto zařízení a především volba zkoušky Shore D. Následuje aplikace závaží na měřicí zatížení. Toto závaží je po ukončení měření ze zkušebního zařízení z hlediska bezpečnosti vždy odstraněno. Po vložení zkušebního vzorku můžeme být započato samotné měření. Páka měřicího zařízení je přemístěna do dolní polohy a dle pokynu na display v této poloze setrvává. Po uvolnění páky je zobrazená hodnota naměřené tvrdosti. Tyto hodnoty jsou zaznamenávány.

Tab. 14 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků LDPE nezatížených.

LDPE 23°C							
	0 kGy	33 kGy	66 kGy	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
1	44,9	44,6	45,3	43,7	43,7	44,3	44,0
2	45,0	45,6	45,5	44,3	43,5	43,2	44,7
3	44,5	44,7	44,7	43,3	44,2	44,7	44,3
4	43,9	45,2	44,7	44,0	44,0	44,4	43,1
5	44,6	45,4	43,3	43,5	44,1	44,0	43,5
6	44,3	45,2	44,7	43,0	43,5	43,6	43,1
7	44,6	43,5	43,6	42,7	44,0	43,4	43,7
8	44,7	44,0	44,4	42,3	43,5	43,9	43,9
9	44,1	43,1	43,4	43,2	44,0	44,5	43,1
10	43,1	44,6	43,3	43,1	43,9	43,8	43,6
Průměr	44,4	44,6	44,3	43,3	43,8	44,0	43,7
σ	0,5	0,8	0,8	0,6	0,3	0,5	0,5

Tab. 15 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků LDPE zatížených 110°C.

LDPE 110°C 15min							
	0 kGy	33 kGy	66 kGy	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
1	41,1	42,4	43,1	44,5	43,7	42,5	42,5
2	41,5	41,8	42,7	43,5	42,4	42,6	42,3
3	41,6	41,7	42,7	42,9	42,3	42,5	42,4
4	42,1	41,8	41,9	42,4	42,6	41,8	42,5
5	41,9	41,6	41,8	44,0	42,4	42,5	42,3
6	41,7	42,1	42,1	44,8	43,1	42,7	42,4
7	41,7	41,8	42,6	43,6	43,2	42,4	42,5
8	41,6	41,6	42,2	46,0	43,1	42,7	42,3
9	41,8	41,6	43,3	44,2	43,0	42,1	42,3
10	42,0	42,0	43,6	42,7	43,7	42,4	42,5
Průměr	41,7	41,8	42,6	43,9	43,0	42,4	42,4
σ	0,3	0,2	0,6	1,0	0,5	0,3	0,1

Tab. 16 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D
vzorků LDPE zatížených 180°C.

LDPE 180°C 15 min				
	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
1	44,2	44,1	44,2	44,6
2	44,3	42,7	43,3	43,1
3	43,0	43,3	44,3	43,6
4	43,8	43,0	44,1	43,1
5	43,2	43,1	44,1	46,0
6	43,1	44,1	43,9	46,9
7	43,3	43,9	44,7	46,3
8	43,4	44,2	43,6	46,0
9	43,4	44,1	43,5	43,7
10	44,3	43,9	44,0	43,2
Průměr	43,6	43,6	44,0	44,7
σ	0,5	0,5	0,4	1,4

Tab. 17 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D
vzorků LDPE zatížených 220°C.

LDPE 220°C 15min				
	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
1	42,7	43,0	43,1	42,7
2	43,3	43,5	42,9	42,6
3	42,9	44,2	44,6	42,0
4	43,3	43,4	44,0	41,9
5	42,9	43,6	43,6	42,6
6	41,9	43,2	43,7	43,5
7	42,7	42,8	43,2	42,6
8	42,0	42,7	43,8	42,6
9	42,6	43,0	43,4	41,9
10	42,3	43,3	42,7	41,2
Průměr	42,7	43,3	43,5	42,4
σ	0,5	0,4	0,5	0,6

Tab. 18 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků HDPE nezatížených.

HDPE 23°C							
	0 kGy	33 kGy	66 kGy	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
1	59,7	59,9	60,9	59,5	61,2	60,1	61,3
2	60,2	59,8	60,3	60,2	61,7	60,8	61,3
3	60,3	60,0	60,5	61,1	61,8	60,7	61,4
4	60,5	60,2	60,8	61,5	61,0	61,6	61,1
5	59,9	59,8	59,4	61,2	61,9	60,7	60,6
6	58,9	60,1	59,9	61,1	60,5	61,2	61,0
7	59,8	60,1	59,7	61,4	61,4	61,0	60,6
8	60,1	59,9	60,2	60,7	60,6	61,3	60,6
9	60,1	60,6	60,4	61,2	60,8	61,0	61,2
10	60,1	60,2	59,8	61,3	60,0	61,5	60,3
Průměr	60,0	60,1	60,2	60,9	61,1	61,0	60,9
σ	0,4	0,2	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4

Tab. 19 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků HDPE zatížených 110°C.

HDPE 110°C 15 min							
	0 kGy	33 kGy	66 kGy	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
1	53,4	54,8	54,8	55,4	55,7	54,6	54,8
2	53,8	53,6	54,4	55,2	55,3	55,3	55,7
3	53,0	54,6	54,1	55,5	55,0	54,4	55,4
4	52,8	55,2	53,0	54,6	54,5	54,9	55,1
5	53,6	53,8	55,0	54,6	54,4	55,0	55,2
6	52,9	55,4	53,7	54,2	55,6	55,1	54,9
7	53,3	55,9	54,1	55,9	55,0	54,8	56,2
8	53,2	55,6	54,5	54,4	54,7	55,6	55,7
9	53,5	54,2	54,4	55,7	54,5	55,7	55,7
10	53,7	54,3	53,4	55,0	54,7	55,0	56,1
Průměr	53,3	54,7	54,1	55,1	54,9	55,0	55,5
σ	0,3	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5

Tab. 20 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D
vzorků HDPE zatížených 180°C.

HDPE 180°C 15 min				
	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
1	56,0	54,3	54,7	56,2
2	55,3	54,8	54,4	55,7
3	54,8	54,8	54,1	54,7
4	55,3	54,5	54,7	55,4
5	56,1	53,7	54,4	53,9
6	55,1	55,2	55,2	55,0
7	55,3	55,0	55,2	55,4
8	55,5	54,7	54,7	55,0
9	55,2	54,9	54,5	54,8
10	55,1	55,9	55,3	55,5
Průměr	55,4	54,8	54,7	55,2
σ	0,4	0,5	0,4	0,6

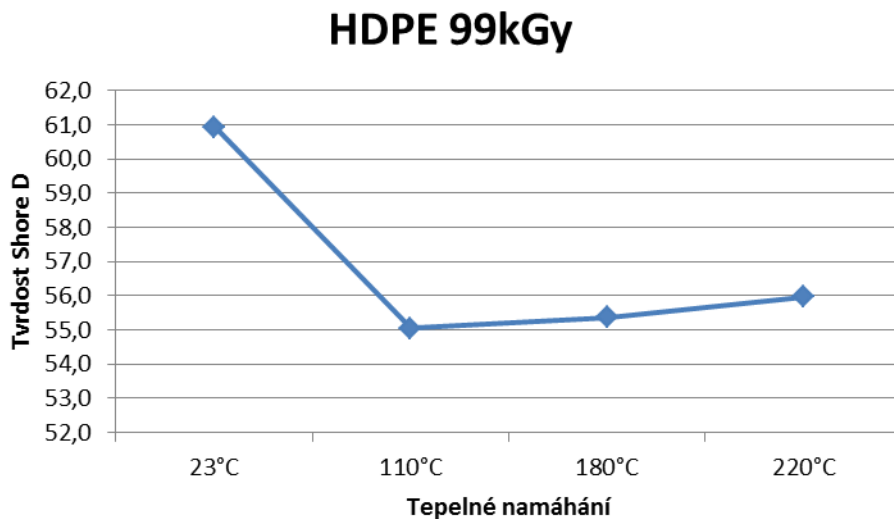
Tab. 21 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D
vzorků HDPE zatížených 220°C.

HDPE 220°C 15 min				
	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
1	54,9	56,3	55,5	54,6
2	55,6	55,9	55,2	53,4
3	55,3	55,1	54,7	54,7
4	55,3	54,1	54,8	54,1
5	56,2	54,6	54,5	54,0
6	55,8	57,1	54,4	54,4
7	56,2	56,9	53,7	53,8
8	57,3	56,7	53,6	54,4
9	56,6	55,9	53,9	54,5
10	56,4	55,6	54,5	54,3
Průměr	56,0	55,8	54,5	54,2
σ	0,7	0,9	0,6	0,4

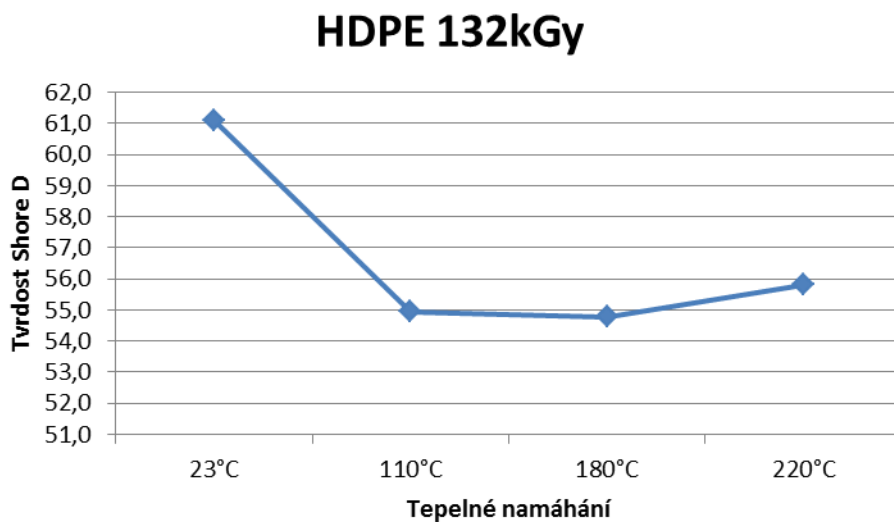
9.3.3 Vyhodnocení zkoušky

Obecně platí, že tvrdost HDPE je vyšší než tvrdost materiálu LDPE. To potvrzuje i toto měření. Z měření je dále patrné, že tvrdost materiálu se s rostoucí dávkou ozáření mění pouze velmi málo. Můžeme tedy říci, že u těchto materiálu ozáření nedocílíme výraz-

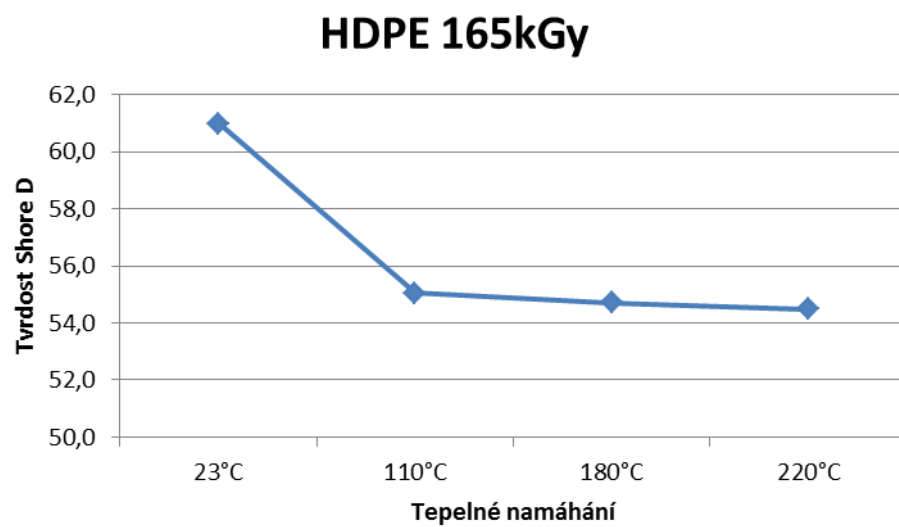
ného zvýšení tvrdosti ani při vyšších dávkách ozáření. Naopak pozorujeme anomálie opačného charakteru, že u některých vzorků došlo ke snížení tvrdosti.



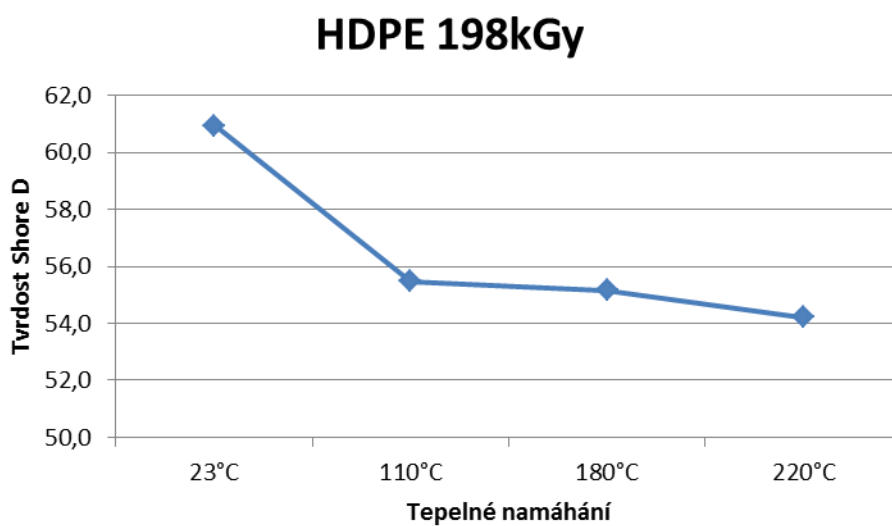
Obr. 43 Závislost tvrdosti na teplotě HDPE 99kGy.



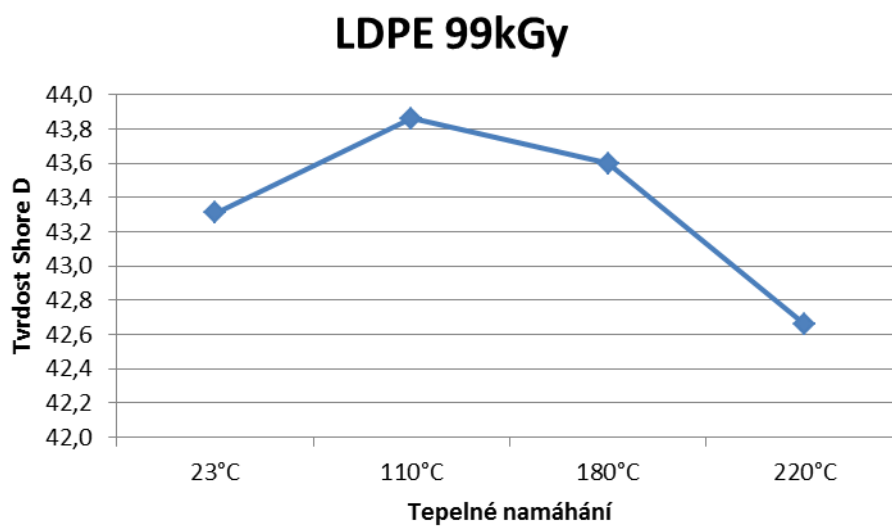
Obr. 44 Závislost tvrdosti na teplotě HDPE 132kGy.



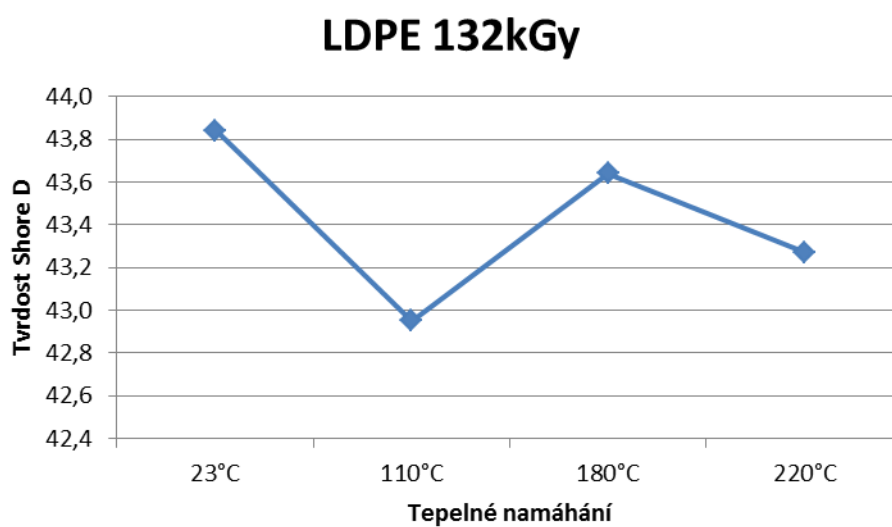
Obr. 45 Závislost tvrdosti na teplotě HDPE 165kGy.



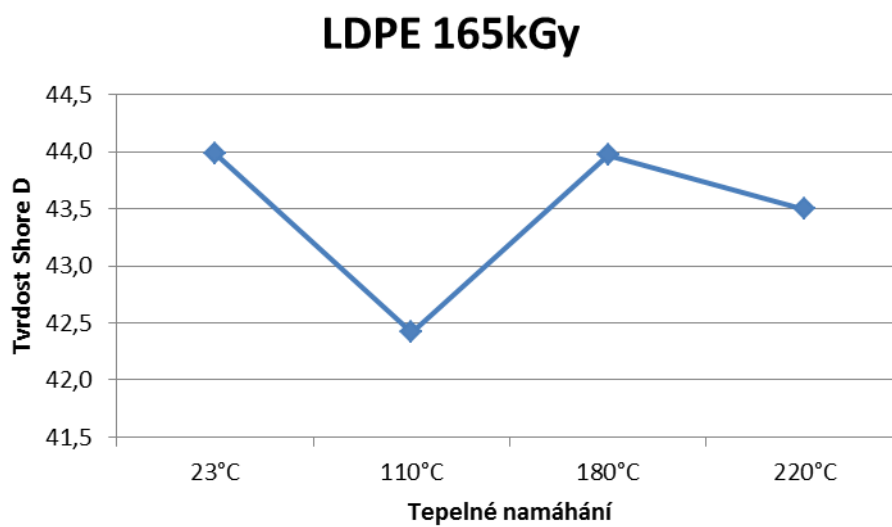
Obr. 46 Závislost tvrdosti na teplotě HDPE 198kGy.



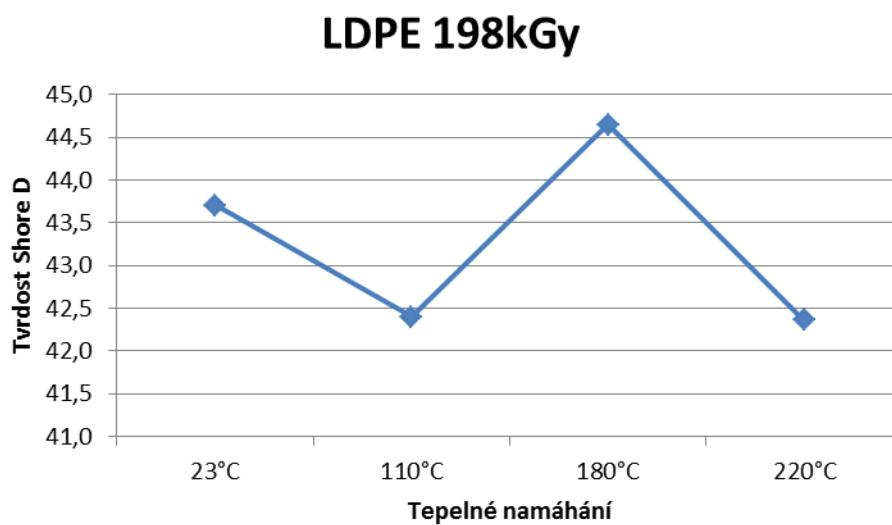
Obr. 47 Závislost tvrdosti na teplotě LDPE 99kGy.



Obr. 48 Závislost tvrdosti na teplotě LDPE 132kGy.



Obr. 49 Závislost tvrdosti na teplotě LDPE 165kGy.



Obr. 50 Závislost tvrdosti na teplotě LDPE 198kGy.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo ověřit chování a vlastnosti čistého a radiačně síťovaného polymerního materiálu. Práce byla zaměřena na jeho mechanické změny a vlastnosti po vystavení zkušebních těles tepelnému namáhání. Toto tepelné namáhání bylo simulováno zahřátím v horkovzdušné troubě po dobu 15 minut při teplotách 110°C, 180°C a 220°C.

Této tepelné zátěži byly vystaveny jak vzorky neozářené radiačním zářením tak vzorky ozářené a tím dodatečně sesíťované. Tyto ozářené vzorky byly rozděleny dle dávky ozáření na 33kGy, 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy a 198 kGy.

Po ozáření byly u vzorků pozorovány změny barvy. S rostoucí dávkou ozáření vzorky měnily barvu do odstínů žluté barvy.

Na těchto zkušebních tělesech byly provedeny základní mechanické zkoušky. Největší změny ve vlastnostech materiálu byly pozorovány při zkoušce vrubové houževnatosti. Zde docházelo k velkým zvýšením vrubové houževnatosti v závislosti na rostoucí dávce ozáření a rostoucí teplotě.

V širším úhlu pohledu se tato diplomová práce se zabývá pouze základními vlastnostmi vybraných modifikovaných polymerů, po jejich namáhání zvýšenou teplotou. Do budoucna lze očekávat navázání na výsledky této práce ať jako zařazení jejích poznatků do komplexní skupiny modifikovaných materiálu, tak rozvoj detailnějšího a podrobnějšího zkoumání výše pozorovaných změn, dějů a vlastností.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Polymery „stručně“. *Vscht.cz* [online]. 2005 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
- [2] Polymery : Výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vratislav Ducháček. Praha : VŠCHT Praha, 1995. 354 s.
- [3] MCKEEN, Laurence W. The effect of temperature and other factors on plastics and elastomers [online]. 2nd ed. Norwich, N.Y. : William Andrew, 2008 [cit. 2013-03-11]. 822 s. Dostupné z WWW: http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=2063. ISBN 9780815515685.
- [4] POSPÍCHAL, Jan. Stránky Jana Pospíchala [online]. 2008 [cit. 2013-03-11]. Makromolekulární chemie. Dostupné z WWW: <http://jan.pospichal.biz/kestazeni/Makromolekul%ED%20chemie.pdf>.
- [5] VLAS, Tomáš. Projekt Alfa [online]. 2003 [cit. 2013-03-11]. Polykondenzace. Dostupné z WWW: <http://projektafa.ic.cz/polykondenzace.htm>.
- [6] VLAS, Tomáš. Projekt Alfa [online]. 2003 [cit. 2013-03-11]. Polyadice. Dostupné z WWW: <http://projektafa.ic.cz/polyadice.htm>.
- [7] LAMBOROVÁ, Romana. Recyklace ozářených polymerů [online]. Zlín : UTB ve Zlíně, 2009. 89 s. Diplomová práce. UTB ve Zlíně. Dostupné z WWW: https://portal.utb.cz/wps/PA_StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=11907.
- [8] PTS marketing [online]. December 2010 [cit. 2013-04-10]. New Materials. Dostupné z WWW: http://pts-marketing.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=15&Itemid=29&lang=en.
- [9] *AstroNuklFyzika* [online]. 2009 [cit. 2012-12-12]. Jaderná a radiační fyzika. Dostupné z WWW: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm>.
- [10] *BGS* [online]. 2013 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.bgs.eu/>
- [11] LENFELD, P. Technologie II : Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti [online]. [cit. 2010-12-10]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm

- [12] High temperature plastics. *Ensinger* [online]. 2012 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z:
<http://www.ensinger-online.com/en/materials/high-temperature-plastics/>
- [13] Přenos tepla. *Www.jaroska.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z:
http://www.jaroska.cz/fo/_media/archiv/knihovna/termika.pdf
- [14] ADÁMEK, Roman. *Vliv záření na vlastnosti vybraných plastů*. Zlín, 2008. 133 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati, fakulta technologická.
- [15] MEISSNER, B.; ZILVAR, V.: Fyzika polymerů. Struktura a vlastnosti polymerních materiálů. 1.vyd. Praha: SNTL, 1987. 308 s.
- [16] VÁLEK, Martin. *Vliv ozařování na mechanické a termomechanické vlastnosti polypropylénu*. Zlín, 2006. 134 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati, fakulta technologická.
- [17] SOVA, M., KREBS, J. a kolektiv. *Termoplasty v praxi*. Praha: ONTL, 2001. ISBN 80-86229-15-7
- [18] SDROBNÝ, J.G.: *Radiation Technology for Polymers*, Boca Raton: CRC Press, 2003
- [19] MELBERG, R. S.: *Radiation processing*, SRI, 1978
- [20] MENCZEL, Joseph D; PRIME, R. *Thermal analysis of polymers*. Hoboken, N.J. : John Wiley, 2008. 688 s. ISBN 978-0-471-76917-0.
- [21] *Elektrorevue* [online]. 18.4.2008 [cit. 2013-05-1]. Teoretické a praktické aspekty termomechanické analýzy. Dostupné z WWW:
<<http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&cd=10&ved=0CFIQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fwww.elektrorevue.cz%2Fcz%2Fdownload%2Fteoreticke-a-prakticke-aspekty-termomechanicke-analyzy%2F&ei=jHqsTbCWO4fIsgbiqfmZCA&usg=AFQjCNHAhxOHwneQEWwI0oiqyeVY11nQRQ>>.
- [22] Creep kovů a viskoelastické chování polymerů. *Studijní listy* [online]. 2009, 6, [cit. 2013-02-11]. Dostupný z WWW:
<[http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwood.mendelu.cz%2Fcz%2Fsections%2FProps%2Ffiles%2Fverejny%2FMVD%2FStrnade1%2520-%2520Teorie%2520materialoveho%2520inzenyrstvi%2520%2B%2520nomogramy%2520\(CZ\)%2F06%2520-%2520Creep%2520kovu%2520a%2520viskoelasticke%2520chovani%2520polymeru.doc&ei=GiOtTcnMH43usgazqPHWDA&usg=AFQjCNEAoYpVqz8nE8wrDvbmLIutOYbeRg](http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBcQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwood.mendelu.cz%2Fcz%2Fsections%2FProps%2Ffiles%2Fverejny%2FMVD%2FStrnade1%2520-%2520Teorie%2520materialoveho%2520inzenyrstvi%2520%2B%2520nomogramy%2520(CZ)%2F06%2520-%2520Creep%2520kovu%2520a%2520viskoelasticke%2520chovani%2520polymeru.doc&ei=GiOtTcnMH43usgazqPHWDA&usg=AFQjCNEAoYpVqz8nE8wrDvbmLIutOYbeRg)>.
- [23] Konstrukční plasty. *Studijní listy* [online]. 2009, č. 3, [cit. 2012-12-11]. Dostupný z WWW:
<<http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&cd=5&sqi=2&ved=0CDAQFjAE&url=http%3A%2F%2Fime.fme.vutbr.cz%2Ffiles%2Fvyuka%2F5FM%2FFM12%2520Konstrukcni%2520>

- Oplasty.doc&ei=cyatTeL_EMYQswbgoYTYDA&usg=AFQjCNEg95uJ-4tqbCtiGCgXgVXTVcUzqw>.
- [24] Viskoelastické modely. *Studijní listy* [online]. 2009, č. 2, [cit. 2013-03-03]. Dostupný z WWW: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_pol/FP_09.pdf
- [25] *Navajo* [online]. 31.1.2011 [cit. 2013-03-03]. Součinitel teplotní roztažnosti. Dostupné z WWW: <<http://soucinitel-teplotni-roztaznosti.navajo.cz/>>.
- [26] *Vševěd* [online]. 2011 [cit. 2013-03-03]. Modul pružnosti. Dostupné z WWW: <<http://encyklopedie.vseved.cz/Young%C5%AFv+modul>>.
- [27] Zkouška ohybem. *Studijní listy* [online]. 2008, 2, [cit. 2013-03-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&cd=4&ved=0CCsQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.fch.vutbr.cz%2Fhome%2Fprikryl%2Fpraktikaeto%2Fuloha9.doc&ei=VTOtTYPIA8ep8APm-ozzAQ&usg=AFQjCNGyGXag199eiS1aiRyRPsTnBScWag>>.
- [28] Tepelné vlastnosti plastů. *Studijní listy*, univerzita Liberec [online]. 2010, č. 3, [cit. 2013-03-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/projekty/frvs2660/poster1.pdf>>.
- [29] Polymery. Karel Veselý. Brno : ČSPCH, 1992. 178 s.
- [30] *MatNet* [online]. 2006 [cit. 2011-01-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.matnet.sav.sk/>>.
- [31] *Slovnaft* [online]. 2006 [cit. 2011-05-10]. LDPE Nízkohustotný polyetylén. Dostupné z WWW: <http://www.slovnaft.sk/sk/obchodni_partneri/petchem/vyroby/tvk-ldpe/>.
- [32] *DOW* [online]. 2011 [cit. 2011-05-10]. HDPE. Dostupné z WWW: <<http://www.dow.com/polyethylene/eu/en/prod/hdpe.htm>>.
- [33] *PTS* [online]. 2010 [cit. 2011-05-10]. PTS. Dostupné z WWW: <<http://pts-marketing.de/>>.
- [34] [Http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/p14/polyestery.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/p14/polyestery.pdf). *Studijní listy*, univerzita Liberec [online]. 2009, 3, [cit. 2011-05-10]. Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/p14/polyestery.pdf>.
- [35] *Nilit plastics* [online]. 2011 [cit. 2011-05-10]. Nilit plastics. Dostupné z WWW: <<http://www.nilit.com/>>.
- [36] MIZERA, Aleš. *Teplotní odolnost vybraných polymerů*. Zlín, 2009. 102 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati, fakulta technologická.
- [37] Nízkohustotní polyetylen (LDPE). *Petroleum.cz* [online]. 2007 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyroby/ldpe.aspx>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PVC	Polyvinylchlorid
PS	Polystyren
PC	Polykarbonát
LDPE	Nízkohustotní polyetylen
HDPE	Vysokohustotní polyetylen
PA	Polyamid
PVC	Polyvinylchlorid
α	Označení alfa záření
β	Označení beta záření
γ	Označení gama záření
E	Energie
kGy	Jednotka intenzity záření kilo Gray
TD	Termodilatometrie
TMA	Termomechanická analýza
T _g	Teplota skelného přechodu
T _m	Teplota tání krystalů
GF	Glass fibber = plnivo skelné vlákno
A	Amorfni polymer
σ	Směrodatná odchylka
α	Součinitel tepelné roztažnosti

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení polymerních materiálů</i> [12].....	14
<i>Obr. 2 Prostup tepla jednoduchou stěnou</i> [13]	20
<i>Obr. 3 Sdílení tepla prouděním</i> [13]	21
<i>Obr. 4 ARBURG Allrounder 420C Vstřikovací stroj</i>	24
<i>Obr. 5 Schéma vstřikovacího stroje a jeho rozměry</i>	26
<i>Obr. 6 Rozměry pracovního prostoru vstřikovacího stroje.</i>	26
<i>Obr. 7 MORA 4807</i>	27
<i>Obr. 8 Ovládací a informační panel horkovzdušné trouby MORA 4807</i>	28
<i>Obr. 34 Schéma a rozměry horkovzdušné trouby MORA 4807.</i>	29
<i>Obr. 10 Měřicí přístroj Perkin Elmer DMA 7e</i>	30
<i>Obr. 11 Univerzální zkušební stroj Zwick 1456.</i>	31
<i>Obr. 12 Charpyho kladivo RESIL IMPACTOR Junior</i>	32
<i>Obr. 13 Tvrdoměr OMAG ART 13</i>	33
<i>Obr. 14 Molekulární struktura LDPE</i> .[37]	34
<i>Obr. 45 Molekulární struktura HDPE</i> .[37]	35
<i>Obr. 16 Otevřená vstřikovací forma s umístěným výrobkem a bez něj</i>	37
<i>Obr. 17 Roztříděné série zkušebních tělísek, označení a uložení při přepravě.</i>	38
<i>Obr. 18 BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co, pobočka Saal am Donau</i> [12].....	38
<i>Obr. 19 Zkušební tělíska před a po ozáření dávkou 33kGy.</i>	39
<i>Obr. 20 Nepoužitý dozimetr přiložený ke vzorkům.</i>	40
<i>Obr. 21 Zařízení pro výrobu vrubů značky CEAST.</i>	40
<i>Obr. 22 Graf TMA pro materiál LDPE.</i>	41
<i>Obr. 23 Graf TMA pro materiál HDPE</i>	41
<i>Obr. 24 Graf průběhu regulace teploty 100°C.</i>	42
<i>Obr. 25 Graf průběhu regulace teploty 170°C.</i>	43
<i>Obr. 26 Graf průběhu regulace teploty 200°C.</i>	43
<i>Obr. 27 Vzorky materiálu LDPE před zahřátím.</i>	45
<i>Obr. 28 Vzorky materiálu LDPE po 15 minutách při 220°C</i>	45
<i>Obr. 29 Vzorky materiálu HDPE po 15 minutách při 220°C</i>	46
<i>Obr. 30 Změna vrubové houževnatosti v závislosti na teplotě u materiálu HDPE</i> <i>99kGy</i>	49

<i>Obr. 31 Změna vrubové houževnatosti v závislosti na teplotě u materiálu HDPE 132kGy.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 32 Změna vrubové houževnatosti v závislosti na teplotě u materiálu HDPE 165kGy.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 33 Změna vrubové houževnatosti v závislosti na teplotě u materiálu HDPE 198kGy.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 34 Grafické znázornění průběhu síly při zkoušce vrubové houževnatosti.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 35 Závislost meze pevnosti na teplotě HDPE 99kGy.</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 36 Závislost meze pevnosti na teplotě HDPE 132kGy.</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 37 Závislost meze pevnosti na teplotě HDPE 165kGy.</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 38 Závislost meze pevnosti na teplotě HDPE 198kGy.</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 39 Závislost meze pevnosti na teplotě LDPE 99kGy.</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 40 Závislost meze pevnosti na teplotě LDPE 132kGy.</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 41 Závislost meze pevnosti na teplotě LDPE 165kGy.</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 42 Závislost meze pevnosti na teplotě LDPE 198kGy.</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 43 Závislost tvrdosti na teplotě HDPE 99kGy.</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 44 Závislost tvrdosti na teplotě HDPE 132kGy.</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 45 Závislost tvrdosti na teplotě HDPE 165kGy.</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 46 Závislost tvrdosti na teplotě HDPE 198kGy.</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 47 Závislost tvrdosti na teplotě LDPE 99kGy.</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 48 Závislost tvrdosti na teplotě LDPE 132kGy.</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 49 Závislost tvrdosti na teplotě LDPE 165kGy.</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 50 Závislost tvrdosti na teplotě LDPE 198kGy.</i>	<i>67</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Technické parametry vstřikovacího stroje Allrounder 420C</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 8 Technické parametry horkovzdušné trouby MORA 4807</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 3 Rozměry vzorků LDPE a HDPE po tepelné zátěži 110°C</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 4 Rozměry vzorků LDPE a HDPE po tepelné zátěži 180°C</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 5 Rozměry vzorků LDPE a HDPE po tepelné zátěži 220°C</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 6 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků HDPE tepelně nezatížených.</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 7 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků HDPE zatížených 110°C.</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 8 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků HDPE zatížených 180°C.</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 9 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků HDPE zatížených 220°C.</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 10 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků LDPE tepelně nezatížených.</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 11 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků LDPE zatížených 110°C.</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 12 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků LDPE zatížených 180°C.</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 13 Průměrné hodnoty tahové zkoušky vzorků LDPE zatížených 220°C.</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 14 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků LDPE nezatížených.</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 15 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků LDPE zatížených 110°C.</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 16 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků LDPE zatížených 180°C.</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 17 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků LDPE zatížených 220°C.</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 18 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků HDPE nezatížených.</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 19 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků HDPE zatížených 110°C.</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 20 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků HDPE zatížených 180°C.</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 21 Naměřené hodnoty tvrdosti Shore D vzorků HDPE zatížených 220°C.</i>	<i>63</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Materiálový list LDPE

Příloha P II: Materiálový list HDPE

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST LDPE

Technical Information



DOW™ HDPE 25055E High Density Polyethylene Resin

Overview

POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E High Density Polyethylene Resin is a very narrow molecular weight distribution resin, developed to impart excellent mechanical properties, high gloss and high surface finishing to injection moulded parts, while providing easy processing.

Note: POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E High Density Polyethylene Resin should comply with FDA regulation 177.1520(c) 3.2a and with most European food contact regulations when used unmodified and processed according to good manufacturing practices for food contact applications. Please, contact your nearest Dow office for food contact compliance statements. Complies with Canadian HPFB No Objection (With Limitations) and Europe EU-Directive 2002/72/EC (See Notes). The purchaser remains responsible for determining whether the use complies with all relevant regulations.

Applications:

- Housewares.
- Food containers.
- Toys.

Physical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Density	0.953 g/cm ³	0.953 g/cm ³	ASTM D792
Melt Index			ISO 1133
190°C/2.16 kg	25 g/10 min	25 g/10 min	
190°C/5.0 kg	62 g/10 min	62 g/10 min	
Molding Shrinkage - Flow	0.021 in/in	2.1 %	ASTM D955
Environmental Stress-Cracking Resistance			ASTM D1693
100% AntaroX CO-630, Compression Molded	0.700 hr	0.700 hr	
Spiral Flow Length			Dow Method
482°F (250°C), 2 seconds injection	43 in	109.00 cm	
Mechanical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Tensile Strength			ASTM D638
Yield, Compression Molded	3630 psi	25.0 MPa	
Break, Compression Molded	3920 psi	27.0 MPa	
Tensile Elongation			ASTM D638
Break, Compression Molded	200 %	200 %	
Flexural Modulus - 2% Secant (Compression Molded)	126000 psi	870 MPa	ASTM D790
Impact	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Tensile Impact Strength (Compression Molded)	26.2 ft-lb/in ²	55.0 kJ/m ²	ASTM D1822
Hardness	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Shore Hardness (Shore D, Compression Molded)	65	65	ISO 868
Thermal	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Vicat Softening Temperature	255 °F	124 °C	ISO 306/A

Notes

These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.

Product Stewardship

The Dow Chemical Company and its subsidiaries ("Dow") has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our Product Stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our Product Stewardship program rests with each and every individual involved with Dow products – from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.

Customer Notice

Dow strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of Dow products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that Dow products are not used in ways for which they are not intended or tested. Dow personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. Dow product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of Dow products. Current safety data sheets are available from Dow.

Medical Applications Policy

NOTICE REGARDING MEDICAL APPLICATION RESTRICTIONS: Dow will not knowingly sell or sample any product or service ("Product") into any commercial or developmental application that is intended for:

- long-term or permanent contact with internal bodily fluids or tissues. "Long-term" is contact which exceeds 72 continuous hours;
- use in cardiac prosthetic devices regardless of the length of time involved ("cardiac prosthetic devices" include, but are not limited to, pacemaker leads and devices, artificial hearts, heart valves, intra-aortic balloons and control systems, and ventricular bypass-assisted devices);
- use as a critical component in medical devices that support or sustain human life; or
- use specifically by pregnant women or in applications designed specifically to promote or interfere with human reproduction.

Dow requests that customers considering use of Dow products in medical applications notify Dow so that appropriate assessments may be conducted. Dow does not endorse or claim suitability of its products for specific medical applications. It is the responsibility of the medical device or pharmaceutical manufacturer to determine that the Dow product is safe, lawful, and technically suitable for the intended use. **DOW MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, CONCERNING THE SUITABILITY OF ANY DOW PRODUCT FOR USE IN MEDICAL APPLICATIONS.**

Disclaimer

NOTICE: No freedom from infringement of any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, the Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for the Customer's use and for ensuring that the Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. **NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.**

NOTICE: If products are described as "experimental" or "developmental": (1) product specifications may not be fully determined; (2) analysis of hazards and caution in handling and use are required; (3) there is greater potential for Dow to change specifications and/or discontinue production; and (4) although Dow may from time to time provide samples of such products, Dow is not obligated to supply or otherwise commercialize such products for any use or application whatsoever.

Additional Information

North America		Europe/Middle East	+800-3694-6367
U.S. & Canada:	1-800-441-4369		+31-11567-2626
	1-989-832-1426	Italy:	+800-783-825
Mexico:	+1-800-441-4369		
Latin America		South Africa	+800-99-5078
Argentina:	+54-11-4319-0100		
Brazil:	+55-11-5188-9000		
Colombia:	+57-1-219-6000	Asia Pacific	+800-7776-7776
Mexico:	+52-55-5201-4700		+603-7965-5392

www.dowplastics.com

This document is intended for use within Europe

Published: 2000-10-13

© 2011 The Dow Chemical Company





Material Safety Data Sheet

The Dow Chemical Company

Product Name: Polyethylene 25055E High Density

Issue Date: 11/04/2008
Print Date: 05 Nov 2008

The Dow Chemical Company encourages and expects you to read and understand the entire (M)SDS, as there is important information throughout the document. We expect you to follow the precautions identified in this document unless your use conditions would necessitate other appropriate methods or actions.

1. Product and Company Identification

Product Name
Polyethylene 25055E High Density

COMPANY IDENTIFICATION
The Dow Chemical Company
2030 Willard H. Dow Center
Midland, MI 48674
USA

Customer Information Number: 800-258-2436

EMERGENCY TELEPHONE NUMBER
24-Hour Emergency Contact: 989-636-4400
Local Emergency Contact: 989-636-4400

2. Hazards Identification

Emergency Overview

Color: White
Physical State: Pellets
Odor: Odorless
Hazards of product:

Slipping hazard.

OSHA Hazard Communication Standard

This product is not a "Hazardous Chemical" as defined by the OSHA Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200.

Potential Health Effects

Eye Contact: Solid or dust may cause irritation or corneal injury due to mechanical action. Elevated temperatures may generate vapor levels sufficient to cause eye irritation. Effects may include discomfort and redness.

Skin Contact: Prolonged contact is essentially nonirritating to skin. Mechanical injury only. Under normal processing conditions, material is heated to elevated temperatures; contact with the material may cause thermal burns.

Skin Absorption: No adverse effects anticipated by skin absorption.

Inhalation: No adverse effects are anticipated from single exposure to dust. Vapors/fumes released during thermal processing may cause respiratory irritation.

Ingestion: Very low toxicity if swallowed. Harmful effects not anticipated from swallowing small amounts. May cause choking if swallowed.

3. Composition Information

Component	CAS #	Amount
Ethene-1-octene copolymer	26221-73-8	> 99.0 %

4. First-aid measures

Eye Contact: Flush eyes thoroughly with water for several minutes. Remove contact lenses after the initial 1-2 minutes and continue flushing for several additional minutes. If effects occur, consult a physician, preferably an ophthalmologist.

Skin Contact: If molten material comes in contact with the skin, do not apply ice but cool under ice water or running stream of water. DO NOT attempt to remove the material from skin. Removal could result in severe tissue damage. Seek medical attention immediately.

Inhalation: Move person to fresh air; if effects occur, consult a physician.

Ingestion: If swallowed, seek medical attention. May cause gastrointestinal blockage. Do not give laxatives. Do not induce vomiting unless directed to do so by medical personnel.

Notes to Physician: If burn is present, treat as any thermal burn, after decontamination. No specific antidote. Treatment of exposure should be directed at the control of symptoms and the clinical condition of the patient.

5. Fire Fighting Measures

Extinguishing Media: Water fog or fine spray. Dry chemical fire extinguishers. Carbon dioxide fire extinguishers. Foam.

Fire Fighting Procedures: Keep people away. Isolate fire and deny unnecessary entry. Soak thoroughly with water to cool and prevent re-ignition. If material is molten, do not apply direct water stream. Use fine water spray or foam. Cool surroundings with water to localize fire zone. Hand held dry chemical or carbon dioxide extinguishers may be used for small fires.

Special Protective Equipment for Firefighters: Wear positive-pressure self-contained breathing apparatus (SCBA) and protective fire fighting clothing (includes fire fighting helmet, coat, trousers, boots, and gloves). If protective equipment is not available or not used, fight fire from a protected location or safe distance.

Unusual Fire and Explosion Hazards: Pneumatic conveying and other mechanical handling operations can generate combustible dust. To reduce the potential for dust explosions, do not permit dust to accumulate. Dense smoke is emitted when burned without sufficient oxygen.

Hazardous Combustion Products: During a fire, smoke may contain the original material in addition to combustion products of varying composition which may be toxic and/or irritating. Combustion products may include and are not limited to: Carbon monoxide. Carbon dioxide.

6. Accidental Release Measures

Steps to be Taken if Material is Released or Spilled: Contain spilled material if possible. Sweep up. Collect in suitable and properly labeled containers. See Section 13, Disposal Considerations, for additional information.

Personal Precautions: Spilled material may cause a slipping hazard. Use appropriate safety equipment. For additional information, refer to Section 8, Exposure Controls and Personal Protection.

Environmental Precautions: Prevent from entering into soil, ditches, sewers, waterways and/or groundwater. See Section 12, Ecological Information.

7. Handling and Storage

Handling

General Handling: No smoking, open flames or sources of ignition in handling and storage area. Good housekeeping and controlling of dusts are necessary for safe handling of product. Avoid breathing process fumes. Use with adequate ventilation. When appropriate, unique handling information for containers can be found on the product label. Workers should be protected from the possibility of contact with molten resin. Do not get molten material in eyes, on skin or clothing. Pneumatic conveying and other mechanical handling operations can generate combustible dust. To reduce the potential for dust explosions, electrically bond and ground equipment and do not permit dust to accumulate. Dust can be ignited by static discharge.

Storage

Store in accordance with good manufacturing practices.

8. Exposure Controls / Personal Protection

Exposure Limits

None established

Personal Protection

Eye/Face Protection: Use safety glasses. If there is a potential for exposure to particles which could cause eye discomfort, wear chemical goggles. If exposure causes eye discomfort, use a full-face respirator.

Skin Protection: No precautions other than clean body-covering clothing should be needed.

Hand protection: Chemical protective gloves should not be needed when handling this material. Consistent with general hygienic practice for any material, skin contact should be minimized. Use gloves to protect from mechanical injury. Selection of gloves will depend on the task. Use gloves with insulation for thermal protection, when needed.

Respiratory Protection: Respiratory protection should be worn when there is a potential to exceed the exposure limit requirements or guidelines. If there are no applicable exposure limit requirements or guidelines, wear respiratory protection when adverse effects, such as respiratory irritation or discomfort have been experienced, or where indicated by your risk assessment process. Use an approved air-purifying respirator when vapors are generated at increased temperatures or when dust or mist is present. The following should be effective types of air-purifying respirators: When dust/mist are present use a/an Particulate filter. When combinations of vapors, acids, or dusts/mists are present use a/an Organic vapor cartridge with a particulate pre-filter.

Ingestion: Use good personal hygiene. Do not consume or store food in the work area. Wash hands before smoking or eating.

Engineering Controls

Ventilation: Use local exhaust ventilation, or other engineering controls to maintain airborne levels below exposure limit requirements or guidelines. If there are no applicable exposure limit requirements or guidelines, general ventilation should be sufficient for most operations. Local exhaust ventilation may be necessary for some operations.

9. Physical and Chemical Properties

Physical State
Color

Pellets
White

Odor	Odorless
Flash Point - Closed Cup	No test data available
Flammable Limits In Air	Lower: No test data available Upper: No test data available
Autoignition Temperature	No test data available
Vapor Pressure	No test data available
Boiling Point (760 mmHg)	No test data available.
Vapor Density (air = 1)	No test data available
Specific Gravity (H2O = 1)	0.83 - 0.97 <i>Literature</i>
Freezing Point	No test data available
Melting Point	No test data available
Solubility in Water (by weight)	<i>Literature</i> Nil
pH	No test data available
Decomposition Temperature	No test data available
Partition coefficient, n-octanol/water (log Pow)	No data available for this product.
Kinematic Viscosity	No test data available

10. Stability and Reactivity

Stability/Instability

Stable.

Conditions to Avoid: Exposure to elevated temperatures can cause product to decompose.

Incompatible Materials: None known.

Hazardous Polymerization

Will not occur.

Thermal Decomposition

Decomposition products depend upon temperature, air supply and the presence of other materials. Processing may release fumes and other decomposition products. At temperatures exceeding melt temperatures, polymer fragments can be released. Fumes can be irritating. Decomposition products can include and are not limited to: Aldehydes. Alcohols. Organic acids. Decomposition products can include trace amounts of: Hydrocarbons.

11. Toxicological Information

Acute Toxicity

Ingestion

Estimated LD50, Rat > 5,000 mg/kg

Skin Absorption

Estimated LD50, Rabbit > 2,000 mg/kg

Repeated Dose Toxicity

Additives are encapsulated in the product and are not expected to be released under normal processing conditions or foreseeable emergency.

Chronic Toxicity and Carcinogenicity

No relevant information found.

Developmental Toxicity

No relevant information found.

Reproductive Toxicity

No relevant information found.

Genetic Toxicology

No relevant information found.

12. Ecological Information

ENVIRONMENTAL FATE

Movement & Partitioning

No bioconcentration is expected because of the relatively high molecular weight (MW greater than 1000). In the terrestrial environment, material is expected to remain in the soil. In the aquatic environment, material is expected to float.

Persistence and Degradability

This water-insoluble polymeric solid is expected to be inert in the environment. Surface photodegradation is expected with exposure to sunlight. No appreciable biodegradation is expected.

ECOTOXICITY

Not expected to be acutely toxic, but material in pellet or bead form may mechanically cause adverse effects if ingested by waterfowl or aquatic life.

13. Disposal Considerations

DO NOT DUMP INTO ANY SEWERS, ON THE GROUND, OR INTO ANY BODY OF WATER. All disposal practices must be in compliance with all Federal, State/Provincial and local laws and regulations. Regulations may vary in different locations. Waste characterizations and compliance with applicable laws are the responsibility solely of the waste generator. AS YOUR SUPPLIER, WE HAVE NO CONTROL OVER THE MANAGEMENT PRACTICES OR MANUFACTURING PROCESSES OF PARTIES HANDLING OR USING THIS MATERIAL. THE INFORMATION PRESENTED HERE PERTAINS ONLY TO THE PRODUCT AS SHIPPED IN ITS INTENDED CONDITION AS DESCRIBED IN MSDS SECTION: Composition Information. FOR UNUSED & UNCONTAMINATED PRODUCT, the preferred options include sending to a licensed, permitted: Recycler. Reclaimer. Incinerator or other thermal destruction device. Landfill.

14. Transport Information

DOT Non-Bulk

NOT REGULATED

DOT Bulk

NOT REGULATED

IMDG

NOT REGULATED

ICAO/IATA

NOT REGULATED

This information is not intended to convey all specific regulatory or operational requirements/information relating to this product. Additional transportation system information can be obtained through an authorized sales or customer service representative. It is the responsibility of the transporting organization to follow all applicable laws, regulations and rules relating to the transportation of the material.

15. Regulatory Information

OSHA Hazard Communication Standard

This product is not a "Hazardous Chemical" as defined by the OSHA Hazard Communication Standard, 29 CFR 1910.1200.

Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 Title III (Emergency Planning and Community Right-to-Know Act of 1986) Sections 311 and 312

Immediate (Acute) Health Hazard	No
Delayed (Chronic) Health Hazard	No
Fire Hazard	No
Reactive Hazard	No
Sudden Release of Pressure Hazard	No

Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 Title III (Emergency Planning and Community Right-to-Know Act of 1986) Section 313

To the best of our knowledge, this product does not contain chemicals at levels which require reporting under this statute.

Pennsylvania (Worker and Community Right-To-Know Act): Pennsylvania Hazardous Substances List and/or Pennsylvania Environmental Hazardous Substance List:

To the best of our knowledge, this product does not contain chemicals at levels which require reporting under this statute.

Pennsylvania (Worker and Community Right-To-Know Act): Pennsylvania Special Hazardous Substances List:

To the best of our knowledge, this product does not contain chemicals at levels which require reporting under this statute.

California Proposition 65 (Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act of 1986)

This product contains no listed substances known to the State of California to cause cancer, birth defects or other reproductive harm, at levels which would require a warning under the statute.

US. Toxic Substances Control Act

All components of this product are on the TSCA Inventory or are exempt from TSCA Inventory requirements under 40 CFR 720.30

CEPA - Domestic Substances List (DSL)

All substances contained in this product are listed on the Canadian Domestic Substances List (DSL) or are not required to be listed.

16. Other Information

Recommended Uses and Restrictions

A polyethylene plastic - For industrial conversion as a raw material for manufacture of articles or goods. We recommend that you use this product in a manner consistent with the listed use. If your intended use is not consistent with the stated use, please contact your sales or technical service representative.

Revision

Identification Number: 80280 / 0000 / Issue Date 11/04/2008 / Version: 2.1

Most recent revision(s) are noted by the bold, double bars in left-hand margin throughout this document.

Legend

N/A	Not available
-----	---------------

W/W	Weight/Weight
OEL	Occupational Exposure Limit
STEL	Short Term Exposure Limit
TWA	Time Weighted Average
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Inc.
DOW IHG	Dow Industrial Hygiene Guideline
WEEL	Workplace Environmental Exposure Level
HAZ_DES	Hazard Designation
Action Level	A value set by OSHA that is lower than the PEL which will trigger the need for activities such as exposure monitoring and medical surveillance if exceeded.

The Dow Chemical Company urges each customer or recipient of this (M)SDS to study it carefully and consult appropriate expertise, as necessary or appropriate, to become aware of and understand the data contained in this (M)SDS and any hazards associated with the product. The information herein is provided in good faith and believed to be accurate as of the effective date shown above. However, no warranty, express or implied, is given. Regulatory requirements are subject to change and may differ between various locations. It is the buyer's/user's responsibility to ensure that his activities comply with all federal, state, provincial or local laws. The information presented here pertains only to the product as shipped. Since conditions for use of the product are not under the control of the manufacturer, it is the buyer's/user's duty to determine the conditions necessary for the safe use of this product. Due to the proliferation of sources for information such as manufacturer-specific (M)SDSs, we are not and cannot be responsible for (M)SDSs obtained from any source other than ourselves. If you have obtained an (M)SDS from another source or if you are not sure that the (M)SDS you have is current, please contact us for the most current version.

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST LDPE

Technical Information



DOW™ LDPE 780E Low Density Polyethylene Resin

Overview LDPE 780E Low Density Polyethylene Resin can be readily processed using conventional injection moulding techniques utilising melt temperatures between 140 and 250°C, a mould temperature between 10 and 50°C, and injection pressure between 50 and 150 MPa.

When properly injection moulded, 780E Low Density Polyethylene Resin exhibit:

- Excellent flow
- Good rigidity
- Good surface gloss

Note: LDPE 780E Low Density Polyethylene Resin should comply with FDA regulation 177.1520 and with most European food contact regulations when used unmodified and processed according to good manufacturing practices for contact applications. Please, contact your nearest Dow office for food contact compliance statements. The purchaser remains responsible for determining whether the use complies with all relevant regulations.

Applications:

- Housewares.
- Toys & leisures.
- Containers.
- Compounding.

Physical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Density	0.923 g/cm ³	0.923 g/cm ³	ASTM D792
Melt Index (190°C/2.16 kg)	20 g/10 min	20 g/10 min	ISO 1133
Molding Shrinkage			ASTM D955
Flow	0.023 in/in	2.3 %	
Across Flow	0.015 in/in	1.5 %	
Environmental Stress-Cracking Resistance			ASTM D1693
Compression Molded	1.40 hr	1.40 hr	
Spiral Flow Length			
–	3.3 in	8.50 cm	Dow Method ¹
–	1.9 in	4.90 cm	Dow Method ²
Mechanical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Tensile Modulus - 2% Secant (Compression Molded)	23800 psi	164 MPa	ISO 527-2
Tensile Stress			ISO 527-2
Yield, Compression Molded	1190 psi	8.20 MPa	
Break, Compression Molded	1520 psi	10.5 MPa	
Tensile Strain (Break, Compression Molded)	50 %	50 %	ISO 527-2
Films	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Tensile Elongation			ASTM D882
MD: Break, 7.9 mil (200 µm)	700 %	700 %	
TD: Break, 7.9 mil (200 µm)	750 %	750 %	
Impact	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Tensile Impact Strength	136 ft·lb/in ²	286 kJ/m ²	ISO 8256
Hardness	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Shore Hardness (Shore D)	49	49	ISO 868
Thermal	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Vicat Softening Temperature	199 °F	93.0 °C	ASTM D1525

Notes

These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.

¹ 1200 bar

² 600 bar

Product Stewardship

The Dow Chemical Company and its subsidiaries ("Dow") has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our Product Stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our Product Stewardship program rests with each and every individual involved with Dow products – from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.

Customer Notice

Dow strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of Dow products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that Dow products are not used in ways for which they are not intended or tested. Dow personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. Dow product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of Dow products. Current safety data sheets are available from Dow.

Medical Applications Policy

NOTICE REGARDING MEDICAL APPLICATION RESTRICTIONS: Dow will not knowingly sell or sample any product or service ("Product") into any commercial or developmental application that is intended for:

- long-term or permanent contact with internal bodily fluids or tissues. "Long-term" is contact which exceeds 72 continuous hours;
- use in cardiac prosthetic devices regardless of the length of time involved ("cardiac prosthetic devices" include, but are not limited to, pacemaker leads and devices, artificial hearts, heart valves, intra-aortic balloons and control systems, and ventricular bypass-assisted devices);
- use as a critical component in medical devices that support or sustain human life; or
- use specifically by pregnant women or in applications designed specifically to promote or interfere with human reproduction.

Dow requests that customers considering use of Dow products in medical applications notify Dow so that appropriate assessments may be conducted. Dow does not endorse or claim suitability of its products for specific medical applications. It is the responsibility of the medical device or pharmaceutical manufacturer to determine that the Dow product is safe, lawful, and technically suitable for the intended use. **DOW MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, CONCERNING THE SUITABILITY OF ANY DOW PRODUCT FOR USE IN MEDICAL APPLICATIONS.**

Disclaimer

NOTICE: No freedom from infringement of any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, the Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for the Customer's use and for ensuring that the Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. **NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.**

NOTICE: If products are described as "experimental" or "developmental": (1) product specifications may not be fully determined; (2) analysis of hazards and caution in handling and use are required; (3) there is greater potential for Dow to change specifications and/or discontinue production; and (4) although Dow may from time to time provide samples of such products, Dow is not obligated to supply or otherwise commercialize such products for any use or application whatsoever.

Additional Information

North America		Europe/Middle East	+800-3694-6367
U.S. & Canada:	1-800-441-4369		+31-11567-2626
	1-989-832-1426	Italy:	+800-783-825
Mexico:	+1-800-441-4369		
Latin America		South Africa	+800-99-5078
Argentina:	+54-11-4319-0100		
Brazil:	+55-11-5188-9000		
Colombia:	+57-1-219-6000	Asia Pacific	+800-7776-7776
Mexico:	+52-55-5201-4700		+603-7965-5392

www.dowplastics.com

This document is intended for use within Europe

Published: 2005-05-05

© 2013 The Dow Chemical Company

