

# Vliv radičního síťování na chemickou odolnost vybraných polymerů

Bc. Ondrej Štetina

---

Diplomová práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondrej ŠTETINA**

Osobní číslo: **T09577**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Vliv radiačního síťování na chemickou odolnost  
vybraných polymerů**

Zásady pro vypracování:

- 1, Vypracování literární rešerše
- 2, Návrh zkušební metody
- 3, Provedení zkoušek
- 4, Vyhodnocení výsledků experimentu

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**HAWKINS, W. L., Polymer Stabilization. USA : John Wiley and Sons, 1972. 452 s. ISBN 0-471-36300-6.**

**GRELLMAN, Wolfgang; SEIDLER, Sabine . Polymer Testing. Munich : Carl Hanser Verlag, 2007. 452 s. ISBN 978-3-446-40900-2.**

**ROSATO, Dominik ; ROSATO, Donald; ROSATO, Matthew. Plastical Product Material and process Selection Handbook. Oxford : Elsevier Advance Technology, 2004**

**DOLEZEL, B.. : Odolnost plastů a pryží, Praha, SNTL, 1981**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Daněk**  
BGS

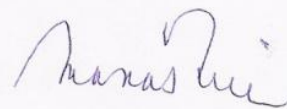
Datum zadání diplomové práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2011**

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



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

Ve Zlíně .....

.....

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem radiačního síťování na chemickou odolnost vybraných polymerů.

Teoretická část se zabývá základním rozdělením polymerů, různými druhy chemické degradace. V poslední části je zpracována literární rešerše z normativů o chemické odolnosti (ISO, DIN, podnikové normy).

V praktické části je popis použitých zařízení, postupů a materiálů. Materiály byly ozářeny jednou úrovní záření. Testovaná tělíska byla ponořena v šesti typech zkušebních kapalin (motorový olej, nemrznoucí směs, směs do ostříkovačů, bionafta B30, FAM-B). U polymerů byly provedeny zkoušky rázové houževnatosti a zkoušky botnání. U vybraných polymerů byla provedena také zkouška koroze pod napětím.

Klíčová slova: síťování, chemická odolnost, rázová houževnatost, botnání, koroze pod napětím.

## ABSTRACT

The purpose of graduation thesis is Effect of radiation cross-linking on chemical resistance of selected polymers.

The theoretical part of the work is intended on description of basic splitting polymers, procedures, types of chemical degradations. In last part of theoretical part is literature search of norm about chemical resistance (ISO, DIN, company norms).

In the practical part of the work is description of used machines and materials. The materials have been irradiated of one level of Dosis. Tests specimen was immersed into six types of testing fluids (motor oil, antifreeze (glycol), antifreeze of glass spray (ethanol), brake fluid, biodiesel B30, FAM-B). The tests of impact strength were accomplished for two kinds of polyamides 66, high density polyethylene, polybutyleneterephthalate, polyamide 11 and polyamide 12. The tests of environmental stress cracking were accomplished for chosen of these polymers.

Keywords: cross-linking, chemical resistance, impact, swelling, environmental stress cracking.

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalovi Daňkovi z firmy BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG, za pomoc a odborné rady při psaní, za jeho vstřícnost, poskytnutí odborné literatury a odborné vedení při vedení této práce. Také bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňkovi Holíkovi za pomoc při praktické realizaci praktické části diplomové práce. Dále mé poděkování patří také Ing. Udo Biedermanovi z firmy BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG za provedení radiačního zesíťování v ozařovacím zařízení ve firmě v městě Sall am Donau. Také děkuji všem zaměstnancům firmy Robert Bosch s.r.o. České Budějovice za možnosti a odbornou pomoc, které mi poskytli při mé návštěvě fabriky. Mé poděkování patří také pracovníkům školních dílen. Panu Ing. Vladimíru Šumberovi za technickou pomoc při výrobě zkušebních tělísek. Panu Ing. Jiřímu Šálkovi a panu Ing. Jakubovi Černému za pomoc se zhotovením přípravku pro měření ESC.

**OBSAH**

<b>I</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>12</b>
<b>1</b>	<b>POLYMERY.....</b>	<b>13</b>
1.1	ROZDĚLENÍ POLYMERŮ .....	13
1.1.1	Technické rozdělení .....	15
1.1.1.1	Termoplasty .....	15
1.1.1.2	Reaktoplasty.....	15
<b>2</b>	<b>CHEMICKÁ ODOLNOST .....</b>	<b>16</b>
2.1	MECHANIZMY ÚČINKŮ PROSTŘEDÍ .....	17
2.1.1	Fyzikálně aktivní prostředí.....	17
2.1.1.1	Sorpce vody a botnání.....	17
2.1.1.2	Solvolytické reakce.....	18
2.1.2	Chemicky aktivní prostředí .....	19
2.1.3	Koroze pod napětím .....	20
<b>3</b>	<b>ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ .....</b>	<b>22</b>
3.1.1	Röntgenové záření.....	22
3.1.2	Záření alfa .....	22
3.1.3	Záření beta.....	23
3.1.4	Záření gama.....	23
<b>4</b>	<b>RADIAČNÍ TECHNOLOGIE .....</b>	<b>25</b>
4.1	ZÁŘENÍ BETA.....	27
4.2	ZÁŘENÍ GAMA .....	28
4.3	POUŽITÍ RADIAČNÍHO SÍŤOVÁNÍ V PRAXI.....	29
<b>5</b>	<b>ZKOUŠKY CHEMICKÉ ODOLNOSTI.....</b>	<b>30</b>
5.1	STANDARDNÍ PODMÍNKY PRO ZKOUŠENÍ – ISO 291.....	30
5.2	CHEMICKÁ ODOLNOST PŘI PONOŘENÍ DO KAPALINY ISO 175.....	30
5.2.1	Chemická kapalina .....	31
5.2.2	Podmínky zkoušení .....	32
5.2.3	Zkušební tělíska .....	32
5.2.4	Postup zkoušky.....	33
5.2.5	Vyjádření výsledků .....	33
5.3	CHEMICKÉ ZATÍŽENÍ ISO 16750-5 .....	34
5.3.1	Testování a podmínky .....	34
5.4	KOROZE POD NAPĚTÍM ISO 22088 .....	36
5.4.1	Stanovení odolnosti proti korozi pod napětím (ESC) - Část 2: Metoda konstantního tahového zatížení .....	36
5.4.1.1	Testování a podmínky testování .....	37
5.4.1.2	Vyhodnocení .....	39
5.4.2	Stanovení odolnosti proti korozi pod napětím (ESC) - Část 3: Metoda ohnutého pásku.....	39
5.4.2.1	Testování a podmínky testování .....	39
5.4.2.2	Vyhodnocení .....	40
5.4.3	Stanovení odolnosti proti korozi pod napětím (ESC) - Část 4: Metoda vtlačování kuličky nebo hrotu .....	41
5.4.3.1	Vyhodnocení .....	42



5.4.4	Stanovení odolnosti proti korozi pod napětím (ESC) - Část 5: Metoda konstantní deformace v tahu .....	42
5.4.4.1	Vyhodnocení .....	43
5.4.5	Stanovení odolnosti proti korozi pod napětím (ESC) - Část 6: Metoda pomalé deformační rychlosti .....	44
5.4.5.1	Vyhodnocení .....	46
<b>6</b>	<b>STANOVENÍ RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI METODOU CHARPY (INSTRUMENTOVANÁ ZKOUŠKA).....</b>	<b>47</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>50</b>
<b>8</b>	<b>POUŽITÝ MATERIÁL.....</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TELÍSEK.....</b>	<b>52</b>
9.1	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	52
9.1.1	Vstřikovací podmínky .....	53
9.2	RADIAČNÍ SÍŤOVÁNÍ .....	54
9.3	NALOŽENÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK.....	55
9.3.1	Testovací chemikálie.....	55
9.3.2	Testovací kapalina FAM B - DIN 51604.....	56
9.3.3	Směsná motorová nafta Biodiesel B30 .....	57
9.3.4	Motorový olej Mogul®SAE 10 W 40.....	58
9.3.5	Koncentrovaná chladicí kapalina na bázi etylenglykolu s organickými inhibitory korozeSheron® Antifreeze G48 .....	59
9.3.6	Nemrznoucí směs do ostřikovačů Carlson®-30°C .....	59
9.3.7	Brzdová kapalina ABS® SAE J 1703 DOT4.....	60
<b>10</b>	<b>RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST .....</b>	<b>61</b>
10.1	POUŽITÝ PŘÍSTROJ.....	61
<b>11</b>	<b>KOROZE POD NAPĚTÍM (ESC).....</b>	<b>63</b>
<b>12</b>	<b>PODMÍNKY MĚŘENÍ.....</b>	<b>64</b>
<b>13</b>	<b>RÁZOVÉ VLASTNOSTI .....</b>	<b>65</b>
13.1	POLYBUTYLEN TEREFTHALAT V-PTS-CREATEC-B3HZC *M800/25 NATUR (PBT).....	65
13.1.1	Vyhodnocení POLYBUTYLEN TEREFTHALAT V-PTS-CREATEC-B3HZC *M800/25 natur.....	73
13.2	POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD *M800/13 NATUR (PA12) .....	76
13.2.1	Vyhodnocení POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD *M800/13 natur .....	83
13.3	POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T *M600/13 TRANSPARENT (PA11) .....	87
13.3.1	Vyhodnocení POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T *M600/13 transparent (PA 11) .....	94
13.4	POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E DOW (HDPE) .....	97
13.4.1	Vyhodnocení POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E DOW .....	105
13.5	POLYAMID 6.6 FRIANYLA63 VNGV30.....	108
13.5.1	Vyhodnocení POLYAMID 6.6 FRIANYL A63 VNGV30 .....	112

13.6	POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF .....	114
13.6.1	Vyhodnocení POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF .....	118
13.7	POLYAMID 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6*0129/12 - .....	120
13.7.1	Vyhodnocení POLYAMID 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6*0129/12 .....	122
13.8	POLYAMID 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8*0129/10 .....	124
13.8.1	Vyhodnocení POLYAMID 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8*0129/10 .....	126
<b>14</b>	<b>KOROZE POD NAPĚTÍM .....</b>	<b>128</b>
14.1	POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T *M600/13 TRANSPARENT (PA 11) ...	128
14.1.1	Vyhodnocení POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T *M600/13 transparent (PA 11) .....	134
14.2	POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD *M800/13 NATUR.....	135
14.2.1	Vyhodnocení POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD *M800/13 natur .....	138
<b>15</b>	<b>ZKOUŠKY BOTNÁNÍ .....</b>	<b>139</b>
15.1	VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK BOTNÁNÍ .....	145
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>147</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>150</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>153</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>155</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>160</b>

## ÚVOD

Od doby svého vzniku polymery nahrazují klasické konvenční materiály ve stále větším množství. V těchto oblastech použití jsou na materiály kladeny stále nové požadavky. Je potřeba, aby materiály měli lepší vlastnosti, větší pevnost, tvrdost, otěruvzdornost a podobně. K dalším požadavkům patří také zlepšení tepelných vlastností, jako je tepelná vodivost, teplotní roztažnost a stálost materiálových charakteristik za zvýšených teplot. V současné době existuje mnoho způsobů modifikace těchto vlastností. Mezi moderní a progresivní metody patří bezpochyby síťování termoplastických polymerů pomocí radiačního ozařování. Takto vytvořená síť modifikuje vlastnosti vybraných materiálů a ve většině případů přichází k zlepšení jejich zlepšení. Toto zlepšení nám umožňuje používat výrobky i u aplikací, kde bylo jejich použití s různých důvodů zcela nemožné.

Cílem této diplomové práce je prostudovat a odzkoušet chemickou odolnost vybraných polymerů a zjistit vliv radiačního zesíťování na její změny. Jedná se o zmapování vlivů kapalin působících na různé vlastnosti těchto polymerů (především kapalin z automobilového průmyslu). U této diplomové práci se budu zabývat změnou rázových vlastností, změnou hmotnosti a celkovým vlivem chemické kapaliny působící na materiál, který je pod napětím. V případě, že by se prokázalo zlepšení těchto vlastností, budou moci takto modifikované polymery být použity v chemicky agresivnějším prostředí. Bylo by tak možno používat polymerní materiály i v dalších oblastech průmyslu, kde to doposud nebylo možné z důvodu jejich nízké chemické odolnosti.

Diplomová práce si klade za cíl zjistit změnu mechanických vlastností při ponoření do chemické kapaliny. Další cílem této práce bude zjistit změny vzhledu vybraných materiálů, které budou pod mechanickým zatížením dlouhodobě vystaveny chemicky agresivnímu prostředí, tzv. korozi za napětím. Poslední, neméně důležitou oblastí, bude také vliv radiačního síťování na změny hmotnosti, tj. botnání.

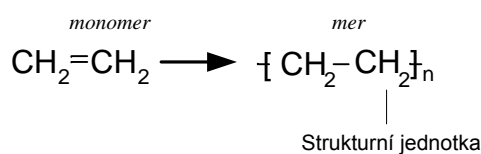
Diplomová práce je realizována v spolupráci s firmou Robert Bosch, spol. s.r.o. - České Budějovice a firmou BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG, kde budou materiály zesíťovány pomocí radiačního záření. V práci budou použity materiály od firem Plastic Technology Service Ltd, Frisetta Polymer GmbH a jeden materiál od firmy The Dow Chemical Company.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERY

V průběhu 20. století nastal obrovský rozvoj a mohutné zavádění polymerních materiálů do praxe. V současné době jsou výrobky z polymerů běžnou součástí všedního života a jejich oblast použití se s vývojem jejich zpracování rozšiřuje.

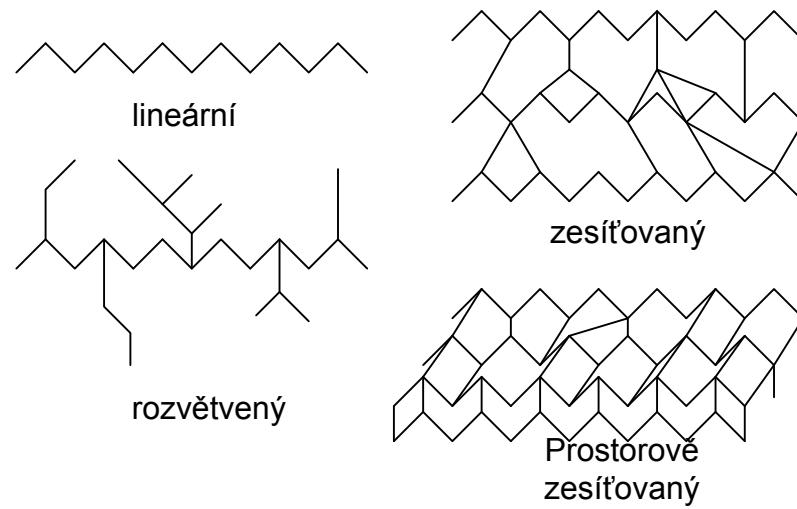
Polymer jsou tvořeny z makromolekulových systémů. Jsou to dlouhé řetězce jednodušších částí pravidelně se opakujících. Tyto jednodušší části se nazývají monomery. Počet monomerů v řetězci udává polymerační stupeň (obr 1).



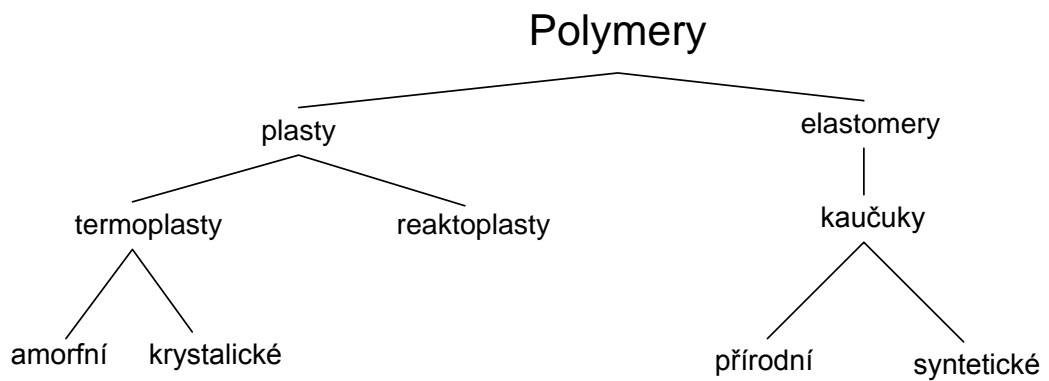
Obr. 1: Struktura makromolekulární látky.

### 1.1 Rozdělení polymerů

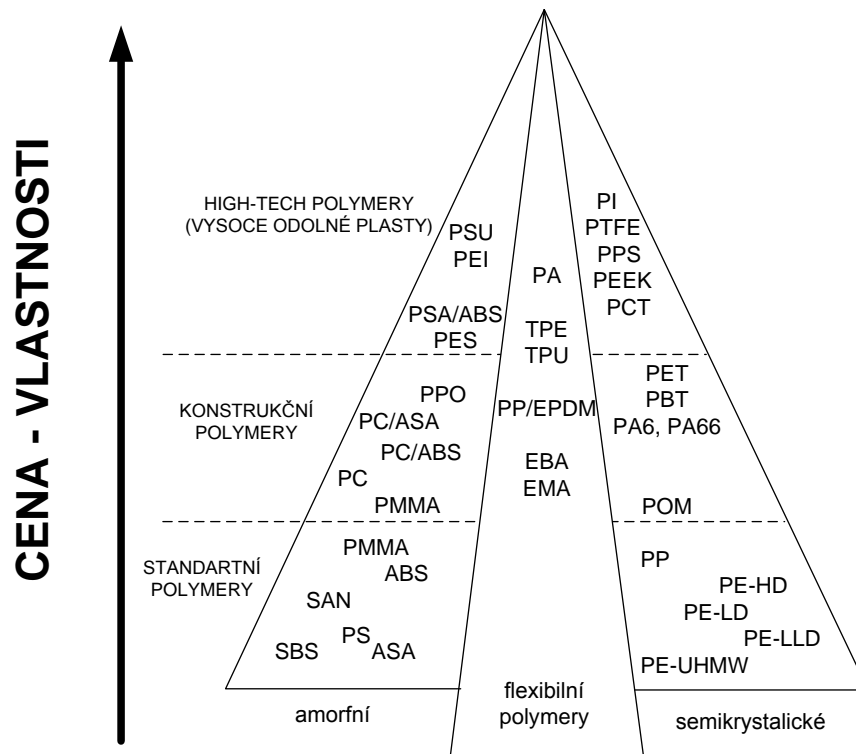
Polymery se mohou dělit z více hledisek. Můžeme je dělit podle původu. Podle tohoto dělení rozeznáváme skupiny syntetických a přírodních polymerů. Přírodní polymery se dále dělí na původní a modifikované. Dále se mohou dělit podle tvaru molekul. Z daného hlediska můžeme polymery dělit na lineární, rozvětvené, zesíťované a prostorově zesíťované. Dalším důležitým rozdělením je podle struktury. Pro naše potřeby je nejdůležitější rozdělení z technického hlediska. Toto rozdělení je znázorněno na obr. 3. [9]



Obr. 2: Schematické znázornění molekulární struktury.



Obr. 3: Rozdělení polymerů z technického hlediska.



Obr. 4: Rozdělení polymerů dle jejich aplikace, nadmolekulární struktury a ceny.

[12]

## 1.1.1 Technické rozdělení

### 1.1.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou plastické materiály, které se po průchodu danou teplotou stávají měkké a lehce deformovatelné. Proces tvrdnutí je reverzibilní, po ochlazení a ztuhnutí je možné opět je zahřátím převést do tvárné oblasti. Makromolekulární řetězce jsou navzájem vázány Van der Waalovými silami, dipólovými interakcemi, silami mezi aromatickými systémy.

### 1.1.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty se občas uvádějí také pod názvy termosety, duromery, duroplasty. Po zahřátí přichází k prostorovému zesíťování, tento proces je nevratný.

## 2 CHEMICKÁ ODOLNOST

Plasty používané v praxi bývají vystaveny působení chemikálii a chemicky aktivním látek. Tyto chemikálie mohou vyvolávat reakce s polymerem a tím působit na jeho vlastnosti, od změn mechanických až po změny vzhledu.

Chemická odolnost jednotlivých polymerů je závislá na několika faktorech, např. na schopnosti reagovat s danou působící chemickou látkou, na rychlosti reakce a na její koncentraci. Polymery resp. výrobky s polymerů jsou běžně vystaveny působení přírodních vlivů. Mezi základní příčiny chemické degradace polymerů patří reaktivita polymeru s kyslíkem. Tato reaktivita způsobuje problémy nejen u vnějšího působení vzdušného kyslíku na „zvětvování polymerů“, ale také již při zpracování. V poslední době je do zkoušení nutno také zařazovat působení takzvaných skleníkových plynů, které mohou reagovat s polymery vystavenými průmyslovému znečištění vzduchu. Tyto látky jsou zejména plyny  $\text{NO}_2$  a  $\text{SO}_2$ . Reakce působících chemických látek a jejich rychlost jsou ovlivňovány také podmínkami, v kterých působí chemická látka. Proto může být chemická reakce iniciována nebo ovlivněna různým typem působícího záření, mechanickým namáháním, teplotou, vlhkostí, přítomností katalyzátorů apod. Neméně důležité jsou vlastnosti působících chemických látek, prostředí ale i polymerů. [2]

Odolnost polymerů vůči rozpouštědlům je výsledkem vnitřního uspořádání struktury makromolekulárních látek. Mezi tyto vlastnosti patří hlavně molekulová hmotnost a distribuční molekulová hmotnost, podíl krystalické a amorfni fáze, druhy vazeb nacházející se v polymeru. Například polymer obsahující nenasycenou vazbu uhlík-uhlík jsou velmi náchylné k podvojným reakcím a degradaci pomocí ozonu.

Testování chemické odolnosti upravují hlavně normy ISO 16750-5, ČSN EN ISO 175, EN ISO 22088.

Proces působení korozivního prostředí na polymerní materiály lze rozdělit na tyto části:

1. sorpci prostředí na povrchu polymeru,
2. difúzi prostředí polymerem,
3. interakci mezi polymerem a pronikajícím prostředím,
4. difúzi reakčních produktů z vnitřku polymeru na povrch,
5. difúzi reakčních produktů z povrchu polymeru do okolního prostředí.[1]



O tom, zda a do jaké míry dojde ke znehodnocení polymerního materiálu, rozhoduje také chemické složení a struktura plastu (složení polymeru, plniv, změkčovadel a jiných přísad nebo nečistot), složení prostředí a podmínky jeho působení. [1]

## 2.1 Mechanizmy účinků prostředí

Podle povahy vzájemného působení polymeru a prostředí můžeme rozdělit mechanizmy aktivních prostředí na následující:

- fyzikálně aktivní
- chemicky aktivní

### 2.1.1 Fyzikálně aktivní prostředí

Ve fyzikálně aktivním prostředí nejsou vyvolány chemické reakce s polymerním materiálem. Mechanismus spočívá v porušení vazeb mezi makromolekulami polymeru. Typickými projevy jsou botnání a rozpouštění.

Vzájemné fyzikální působení lze přibližně určit podle polarit polymeru a aktivního prostředí. Při nepolárních polymerech je jejich odolnost vůči látkám polárním vysoká. Při to v látkách nepolárních botnají a rozpouštějí se. U polárních polymerů je tomu naopak. [1]

Mezi další faktory, které mají vliv na fyzikální odolnost polymeru, patří také struktura polymeru. U vyššího stupně krystalinity je polymer odolnější proti působení rozpouštědel. Dále má pak velký vliv i orientace polymeru. Při vzrůstajícím stupni zesílení polymeru se snižuje jeho botnání.[1]

Rozpustnost polymeru je dána jejich kohezními silami. Schopnost rozpustnosti polymerů se charakterizuje parametrem rozpustnosti  $\delta [(Jm^{-3})^{1/2}]$ . [8]

#### 2.1.1.1 Sorpce vody a botnání

Botnání je proces, u kterého je do objemu tělesa absorbována kapalina. Difundovaná kapalina vytváří sekundární vazby s řetězci makromolekul a tím tyto řetězce oddaluje. Botnání je u trojrozměrných sítí omezené. Zvětšení vzdálenosti makromolekul se projeví,

zvětšením objemu a změnou vlastností materiálu. Absorbováním a zvětšením objemu vzniká třírozměrná elastická deformace vnitřní struktury. Tato difuze je popsána pomocí matematického modelu, tzv. prvního Fickova zákona:

$$J = -D\nabla(c) \quad (1)$$

$J$  je hustota toku,  $\nabla(c)$  je gradient koncentrace,  $D$  je difuzní koeficient.

Dalším důležitým parametrem potřebným k určení odolnosti proti botnání je tzv. anilinový bod. Tento bod určuje agresivitu kapaliny (zejména oleje). Je to nejnižší teplota, při které je olej dokonale rozpustný v anilinu v objemovém poměru 1:1, je mírou obsahu aromatických uhlovodíků v oleji a charakterizuje rozpustnost základového oleje.

Hnací síla botnání závisí i od dalších parametrů. Mezi základní důležité patří vzrůst entropie a pokles vnitřní energie. Dále je také důležitá objemová koncentrace použitého rozpouštědla. Pro botnání je velmi důležitým ukazatelem interakční parametr, který je možné úpravou několika rovnic dostat do podoby tzv. Floryho-Hugginsova vztahu pro směšovací Gibbsovu energii

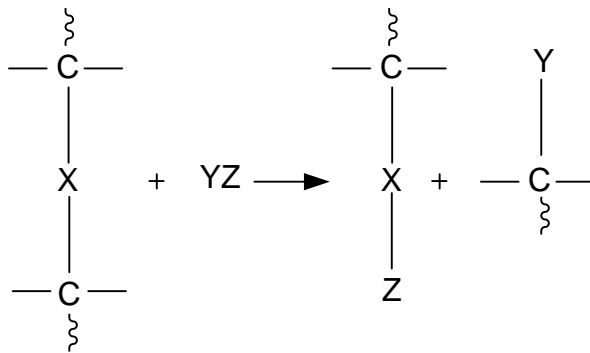
$$\Delta G_M = RT (n_1 \cdot \ln \varphi_1 + n_2 \cdot \ln \varphi_2 + \chi n_1 \varphi_2) \quad (2)$$

Prostřednictvím této rovnice se popisuje botnáci rovnováha v polymerních soustavách.

Podstatou zkoušky botnání je stanovení změn hmotnosti, objemu, popř. změn mechanických vlastností. Botnání se provádí v kapalinách, se kterými se materiál dostává do kontaktu v aplikacích, k nimž je určen. [8]

### 2.1.1.2 Solvolytické reakce

K významným dějům, které způsobují chemickou degradaci polymerních materiálů, patří také solvolytické děje. Solvolytickými ději se označují rozkladné reakce, při nichž se rozkládají vazby uhlíku s jinými prvky (kyslík, dusík, fosfor, síra, křemík, halogeny). Pokud se rozklad děje pomocí vody nazývá se hydrolýzou, za působení alkoholu alkoholýza, glukózy glykolýza apod. [8]



Obr. 5: Příklad solvolytické reakce.

### 2.1.2 Chemicky aktivní prostředí

Chemicky aktivní prostředí reaguje s polymerem a způsobuje nevratné změny jeho vlastností. U chemické reakce polymeru s prostředím dochází k nejzávažnějšímu poškození polymerních materiálů.

U chemických reakcí dochází ke změně vlastností u makromolekulárních. Chemické reakce u polymerů probíhají podle stejných zákonitostí jako u nízkomolekulárních látek. Přichází k nerovnoměrné účasti jednotlivých skupin na reakci. Jejich průběh je značně ovlivněn difuzními pochody (reakce probíhají v heterogenním systému).

Většina polymeru je stála vůči kyselinám, zásadám, solím a slabým oxidačním činidlům. Tato stálost se dá ovlivnit změnou struktury polymerů. Zavedením substituentů do řetězce se ovlivňuje odolnost proti korozi. Přítomností hydroxylové skupiny se zvyšuje nasákavost vody a snižuje se odolnost vůči kyselinám a zásadám. Přítomností neuhlíkatých prvků v člancích se zvyšuje možnost destrukce chemickými činidly.

Průběh chemické reakce se zvyšuje:

- exponenciálně s teplotou
- při přechodu přes teplotu  $T_g$
- koncentrace agresivní látky

Dále se zvyšuje rychlost chemické reakce během mechanického namáhání. Způsobuje to roztržení kovalentních vazeb v makromolekule. [1]

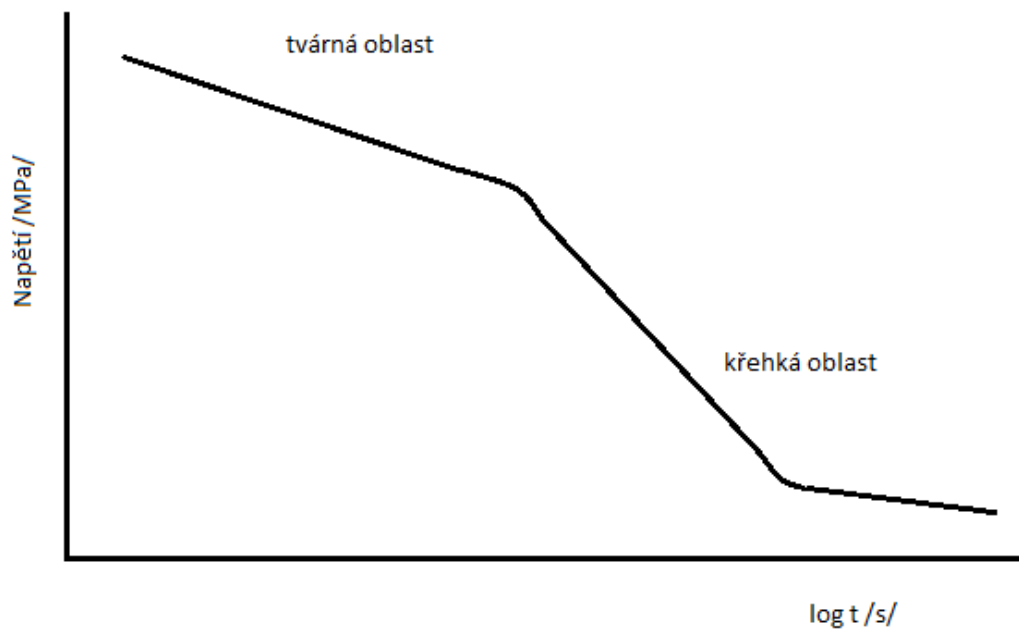
### 2.1.3 Koroze pod napětím

Při současném působení napětí a chemicky agresivního (korozivního) prostředí vznikají trhliny. Tento jev se nazývá koroze pod napětím. Napětí, které působí, může být vnější, vnitřní nebo jejich kombinace. Tento proces je pro polymerní materiály velmi nebezpečný.[1]

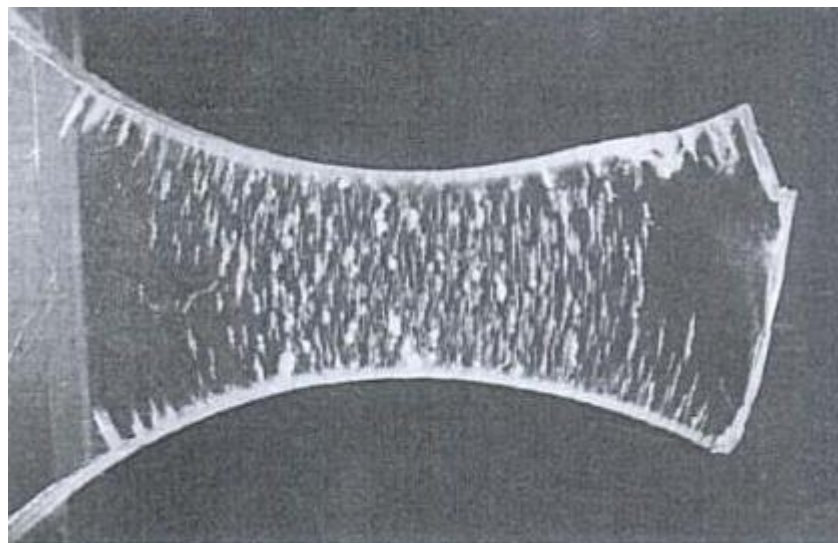
Při vysvětlování mechanismu koroze pod napětím se vychází z těchto předpokladů:

- v materiálu působí molekulové interakce
- v materiálu existují strukturní vady
- při deformaci se v místě těchto defektů koncentruje napětí
- napětí na defektních místech může dosáhnout hodnot postačujících k roztržení kovalentní vazby
- při velkých napětích se obvykle tvoří jedna trhlina, při malých napětích vzniká velké množství trhlín.

Koroze pod napětím je závislá na mnoha faktorech. U polymerů je to například způsob jejich výroby, stupeň krystalinity, povrchové drsnosti, molární hmotnosti a vnitřním napětím. U působící chemické kapaliny hraje hlavní roli chemická povaha této kapaliny a její koncentrace. Průběh koroze pod napětím je výrazně závislý na celkové teplotě systému a velikosti působícího napětí. Velmi důležité je také má výrobek vystavený korozivnímu prostředí rozměry a tvar. Způsob jeho výroby a její parametry ovlivňují mnoha parametry následnou odolnost materiálu vůči působení napětí v chemicky aktivním prostředí. Velmi důležitá je i vnitřní struktura materiálu a její orientace, vnitřní napětí a celková tepelná historie. Závislost průběhu síly na čase na obr. 5 zobrazuje změnu tvárných vlastností polymeru, z tvárné do křehké oblasti. [1,13]



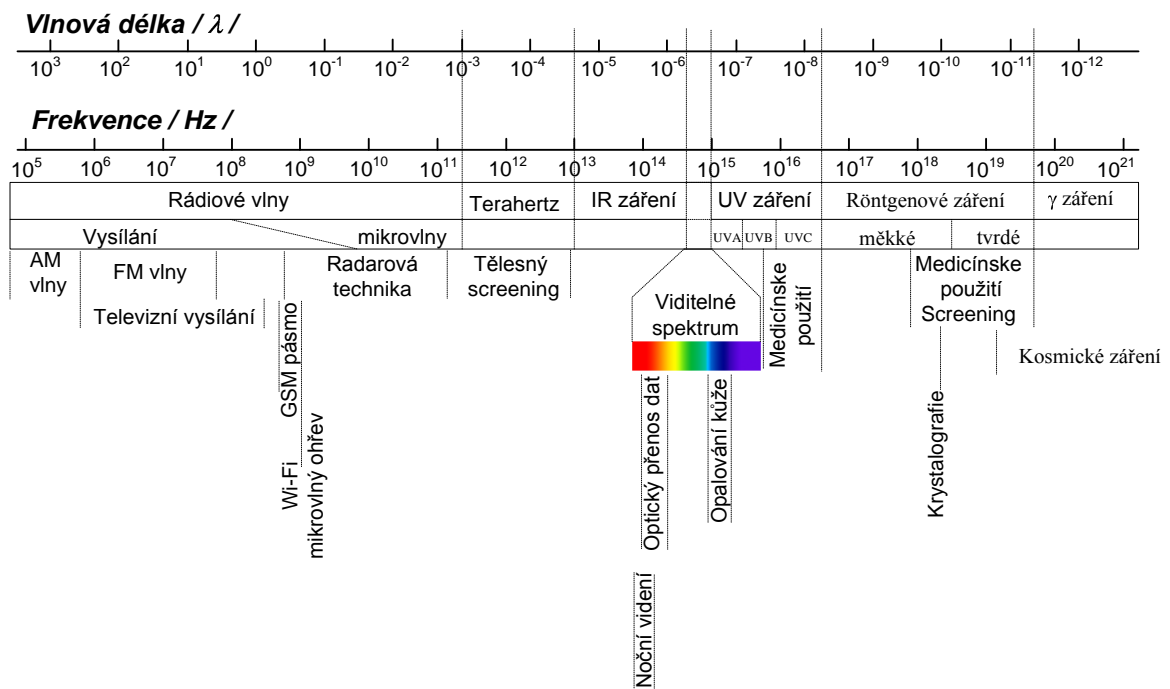
Obr. 6: Závislost průběhu síly na čase.



Obr. 7: Praskání PC na vzduchu.[13]

### 3 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

Záření se prostorem šíří pomocí elektromagnetických vln. Elektromagnetické záření má dvojí charakter, o kvantový model a vlnový. Elektromagnetické vlnění je vyzařováno pohybujícím se elektronem s nenulovým zrychlením. Elektromagnetická vlna je charakterizována rychlost šíření, vlnová délka a frekvence.[17]



Obr. 8: Elektromagnetické spektrum.

#### 3.1.1 Röntgenové záření

Röntgenové záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou  $10^{-8}$ -  $10^{-10}$  nm. Rozděluje se na měkké a tvrdé. Má vysokou schopnost průniku do materiálů. Používá se v medicíně, analytické chemii a rentgenový mikroskop. [17]

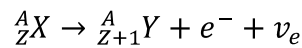
#### 3.1.2 Záření alfa

Záření alfa je charakterizováno jako proud alfa částic, jader hélia. Jde o atom hélia, kde je odstraněn elektronový obal,  $\text{He}^{2+}$ . Záření alfa se dá vychýlit elektrický, nebo magnetickým polem. Při srážce a elektronovým obalem mohou nastat dva případy. Elektrony budou vytrženy z valenční vrstvy. Po tomto jevu zůstává atom ionizovaný. V druhém případě

není energie předaná dostatečná k vytržení elektronu z obalu. Přejde pouze k excitaci elektronu, k přeskočení na vyšší energetickou hladinu. [17]

### 3.1.3 Záření beta

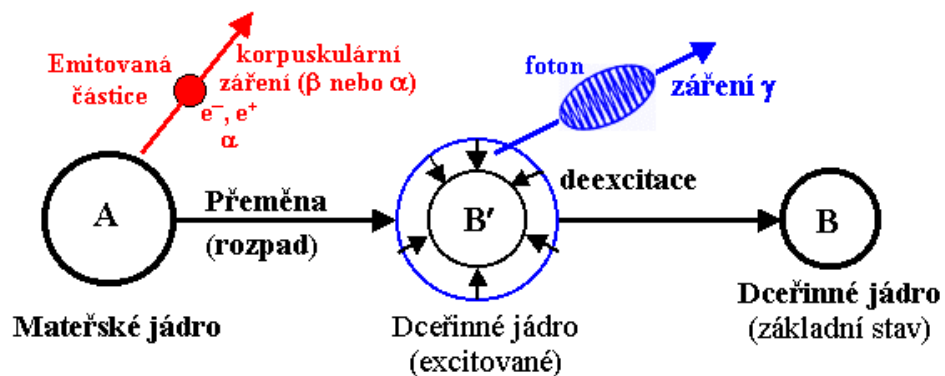
Záření beta je charakterizováno jako proud částic, elektronů a pozitronů. Tyto částice jsou vysílány radioaktivními jádry. Protože mají elektrický náboj, je možné je vychýlit pomocí elektrického pole. Záření je schopné pronikat materiálem s nízkou hustotou nebo malou délkou. Záření je možné zastavit vrstvou vzduchu s tloušťkou 1 m nebo kovem o tloušťce 1mm. [17]



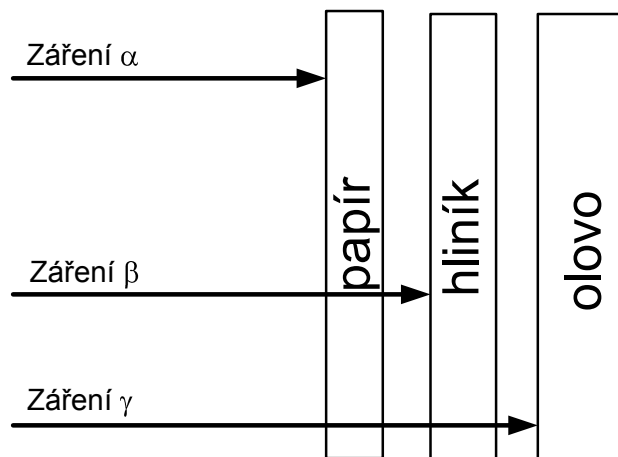
Obr. 9: Obecný přepis beta přeměny.

### 3.1.4 Záření gama

Záření beta je charakterizováno jako energie fotonů s energií vyšší než 10 keV a frekvencí  $2,42 \cdot 10^{20}$  Hz. Gama záření vzniká u radioaktivního rozpadu jader. Jádro vyzáří proud alfa a beta částic a přejde do excitovaného stavu. U přechodu do nižšího energetického stavu vyzáří proud fotonů gama. Toto záření je nízko ionizační, ovšem je velmi nebezpečné pro živé organizmy. Způsobuje popáleniny, rakovinu a genové mutace. [17]



Obr. 10: Schéma radioaktivní přeměny jádra A na excitované jádro B' a jeho následné deexcitace za vyzáření fotonu záření  $\gamma$ . [15]



Obr. 11: Prostup záření materiálem.



## 4 RADIČNÍ TECHNOLOGIE

Radiační technologie se v průmyslové praxi používají pro sterilizaci zdravotnických produktů, pro modifikaci plastových výrobků síťováním, nebo pro řízenou degradaci polymerů. [24]

Síťování polymerů je vysvětlováno pomocí dvou hlavních teorií. Tyto teorie se nazývají statistická a kinetická teorie. Samotné síťování je závislé na několika faktorech. Základním předpokladem pro síťování je přítomnost funkčních skupin a jejich schopnost navzájem reagovat. Dále je možné síťovací reakci kontrolovat pomocí dalších parametrů. K první skupině patří například chemická rovnováha a chemická kinetika, reaktivita funkčních skupin a topologie makromolekul síťovaného polymeru. Další skupinou, která ovlivňuje síťovací reakce, jsou difuzní veličiny. Síťování je ovlivňováno difuzním translačním koeficientem a celkovým difuzním koeficientem. Velký podíl na schopnosti polymeru zesíťovat má také velikost jednotlivých makromolekul a jejich konformací. [24]

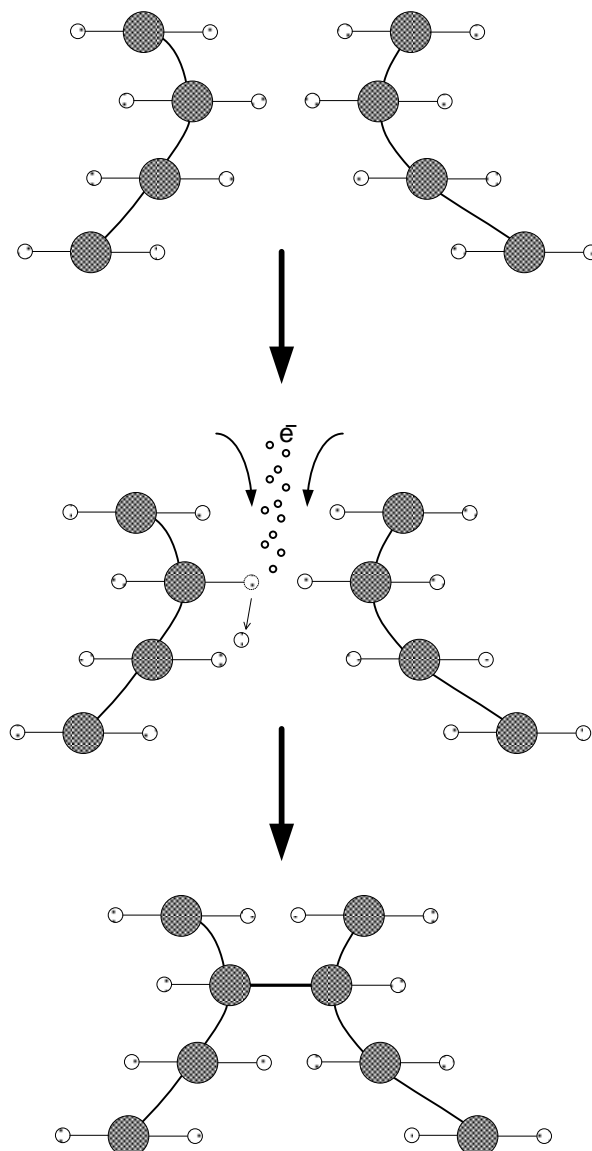
Radiační síťování se provádí nejčastěji pomocí beta a gama záření. V porovnání se síťováním pomocí chemických přísad, síťovacích činidel, se u radiačního síťování objevují nesporné výhody. Síťování v porovnání se síťovacími činidly probíhá výrazně rychleji. Není potřeba výrobek zahřívat na síťovací teplotu a tlak, celý děj probíhá za pokojových podmínek. Neopomenutelné je také bezpečnostní hledisko, neboť při nepoužití síťovacích činidel se zmenšuje pravděpodobnost kontaminace okolí nebezpečnými látkami. To nejen u přípravy materiálu, ale i u jeho použití je výrobek méně toxicky nebezpečný, ale také šetrnější k životnímu prostředí. Nespornou výhodou je i ekonomická výhodnost této metody.

Působení gama paprsků nebo proudu vysokoenergetických elektronů iniciuje v ozařovaném materiálu chemické reakce. Vlivem absorbované energie dochází k rozpadu vazeb C-H a tím ke vzniku volných radikálů. Volné radikály následně reagují a vytvářejí spojení C-C a tím požadovanou síť. Tyto strukturní změny vedou ke zlepšení mechanických, tepelných a chemických vlastností. Mezi zlepšené mechanické vlastnosti patří zejména zvýšení meze únavy, otěruvzdornost. Také se zmenšuje vnitřní pnutí v polymeru. Snižuje se plastická deformace způsobena dlouhodobým působením teploty a času, tzv. creep. [24]

Ke zlepšeným chemickým vlastnostem patří zejména odolnost vůči hydrolyze a botnání, zvýšením prahu rozpustitelnosti a celkové odolnosti vůči chemikáliím. Čímž se zabývá tato diplomová práce.

Ozařování probíhá až na hotových výrobcích po procesu zpracování. Obvykle jsou materiály nemodifikované, ovšem u některých materiálů (např. PA, PBT,...) je nutno pro zlepšení procesu síťování a výsledných vlastností použít síťovací činidla jako např. Triallylisokyanurát (TAIC).

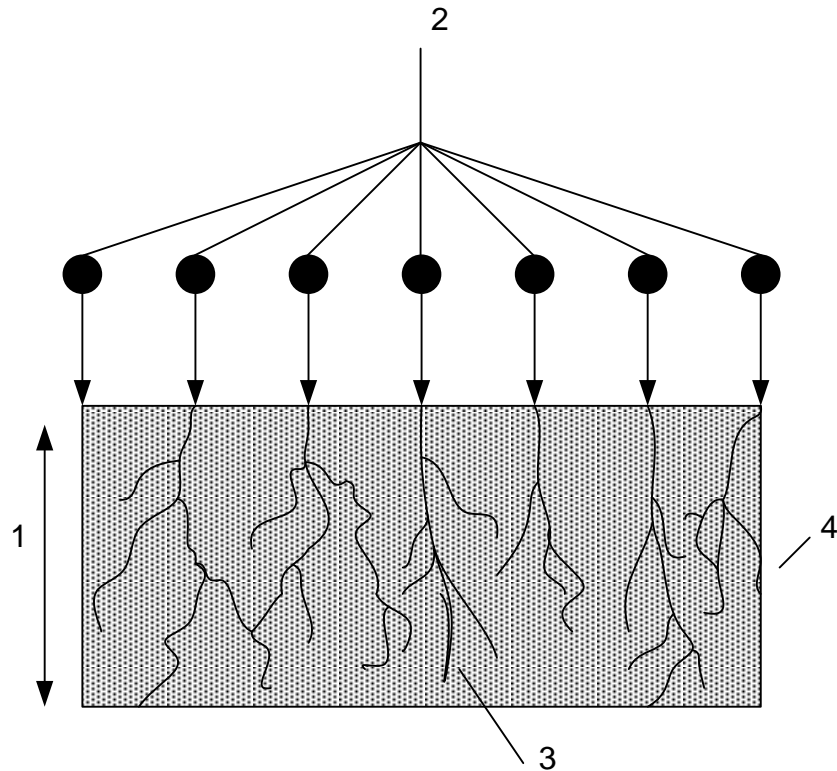
Použitím záření o energii menší než 10 MeV nepřichází v úvahu nebezpečí vzniku radioaktivity v ozařovacím zařízení ani v ozařovaném produktu.



Obr. 12: Schéma radiačního síťování PE beta zářením.

## 4.1 Záření beta

Záření beta je tvořeno jako zrychlený proud elektronů. Toto záření se rozděluje na  $\beta^-$  a  $\beta^+$ . Záření  $\beta^-$  je proud elektronů nesoucích náboj  $e^-$ . U  $\beta^+$  záření se jako nositel energie používá proud pozitronu. Průchod prostředím daleko méně záření ionizuje a má daleko větší dosah.



Obr. 13: Elektronové záření.

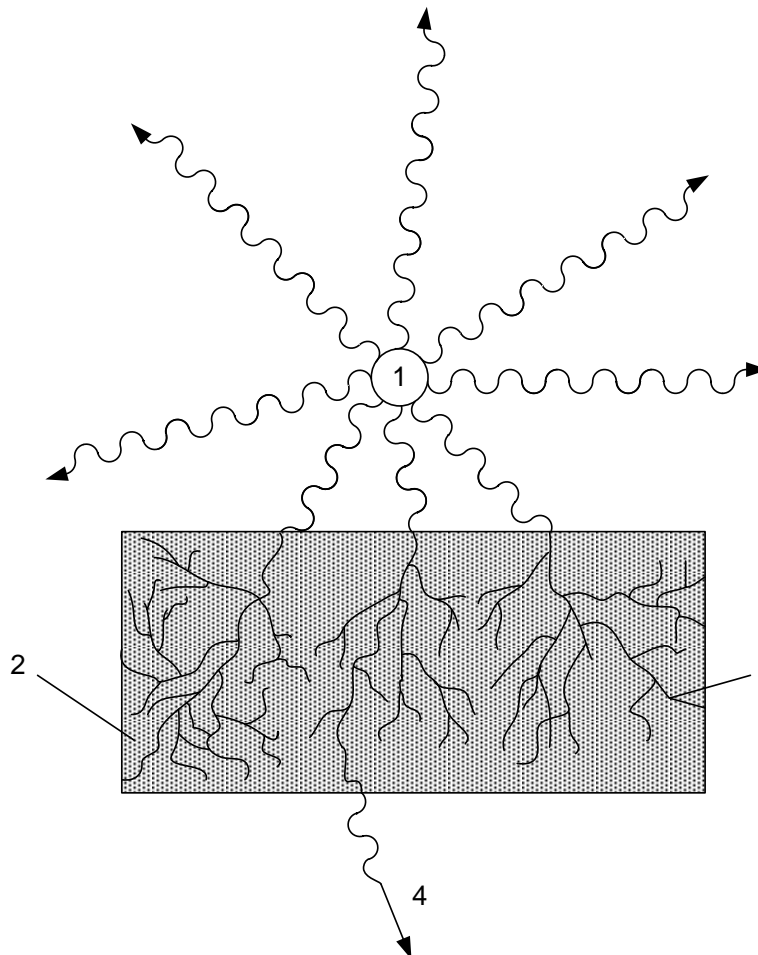
- 1- hloubka vniknutí elektronů 2- primární elektrony  
3 – sekundární elektrony 4 - ozářený materiál

Zdroje beta záření jsou nejčastěji používány elektronové urychlovače elektronů (lineární, toroidní). Ze žhavicí katody jsou emitovány elektrony, které jsou urychlovány v elektromagnetickém poli, jejich rychlost je regulována pomocí střídavého napětí mezi žhavicí katodou a anodou. Užité hloubka vniknutí je nastavitelná volbou energie. Její velikost je však omezena výkonem a typem daného urychlovače, proto se často používá ozařování materiálu z obou stran. [24]

## 4.2 Záření gama

Záření gama je definováno jako proud částic – fotonů. Jejich frekvence se pohybuje v oblasti nad 2,42 GHz a vlnou délkou 124 pm. Do materiálů proniká lépe než záření beta. Jádro je vybuzeno do excitovaného stavu. Po návratu na původní energetickou hladinu vyzáří energii v podobě proud fotonů.

Vysokoenergetická povaha záření gama z něj činí účinný prostředek hubení mikroorganismů, čehož se využívá zejména při sterilizaci zdravotnických produktů, dekontaminaci potravin, nebo archiválii. K radiačnímu zesílení plastů se gama záření využívá nejčastěji pro ozařování rozměrných, masivních plastových dílů (např. UHMPE tyče), či více materiálů současně.



Obr. 14: Princip radiačního sítěvání gama.

Jako zdroj záření se používá radionuklid kobaltu  $\text{Co}^{60}$ . Jeho výhodou je velká hloubka průniku.

### 4.3 Použití radiačního síťování v praxi

Tab. 1: Plasty používané pro radiační síťování. [24]

<b>Termoplasty</b>	
<i>Polyolefiny:</i>	<i>Polyestery:</i>
CSM – chlorosulfonovaný polyetylen	PBT – polybutylentereftalát*
EEA – kopolymer estylenu s akrylátém	UP – nenasyčená polyesterová pryskyřice
EPDM - etylenpropylendienový kaučuk	<i>Halogenové polymery:</i>
EVA – kopolymer etylenu s vynilacetátem	CSM – chlorosulfonovaný polyetylen
EPM – etylenpropylenový kaučuk	ETFE – kopolymer etylenu s tetrafluorethylenem
PE – polyetylen	FPM – fluorkaučuk
CM - chlorovaný polyetylen	PVC – polyvinylchlorid*
PP – polypropylen*	PVDF - Polyvinylidenfluorid
Další polymery: PA – polyamid 6., 6.6, 12*	
PVAL - polyvinilalkohol	
<i>Elastomery</i>	<i>Termoplastické elastomery</i>
ACM – polyakrylátový kaučuk	FPM – fluor kaučuk
BR – polybutadienový kaučuk	TPE-E – polyesterový termoplastický elastomer*
CR – polychloprenový kaučuk	TPE-O - polyolefinický termoplastický elastomer
FPM – fluor kaučuk	TPE-S - polyesterový termoplastický elastomer
IR – polyizoprenový kaučuk	TPE-U – polyuretanový termoplastický elastomer*
NBR – butadien akrylonitrilový kaučuk	TPE-V – zesíťovaný polyolefinický termoplastický elastomer
NR – přírodní kaučuk	* - u některých polymerů, resp. receptur je potřebný přídavek pomocného síťovacího činidla. Skoro u všech komerčních směsí pro radiační síťování jsou v současnosti používány síťovací činidla (ke zlepšení vlastností, k redukci dávek záření)
SBR – butadien styrenový kaučuk	
SBS - styren-butadien-styrenový kopolymer*	
SI - silikon	

## 5 ZKOUŠKY CHEMICKÉ ODOLNOSTI

Chemické zkoušky jsou normalizovány podle norem ISO. Normy ovšem jsou velmi rozšířeny a zkoušky jsou normalizovány pro mnoho aplikací (chemická odolnost pro trubky, elektromateriál, koroze pod napětím atd.)

### 5.1 Standardní podmínky pro zkoušení – ISO 291

Norma upřesňuje standardní podmínky pro zkoušení polymerních materiálů. Pro jednotlivé materiály jsou předepsány jednotlivé podmínky pro kondicionování a vysoušení před provedení zkoušek nebo zpracováním. Je potřeba v materiálu dosáhnout rovnoměrné teploty a relativní vlhkosti.

Tab. 2: Podmínky zkoušení podle ISO 291.

Označení standardního prostředí	teplota vzduchu $t$ /°C/	dovolená odchylka $\Delta t$ /°C/	relativní vlhkost $U$ /%/	dovolená odchylka $\Delta U$ /%/	poznámka
23/50	23	±1	50	±1	používaná pokud není domluveno jinak
27/65	27	±2	65	±2	může být použita v tropických oblastech po dohodě všech stran

Tyto hodnoty jsou dosažitelné v normální nadmořské výšce s atmosférickým tlakem 86kPa a 106 kPa a rychlostí cirkulace vzduchu  $\geq 1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

### 5.2 Chemická odolnost při ponoření do kapaliny ISO 175

V provozu jsou výrobky z plastů vystaveny působení chemicky kapalin. Mohou je absorbovat nebo s nimi reagovat. Typ kapaliny, která bude testovat daný materiál, se volí podle použití materiálu v provozu. Výběr zkušebních podmínek, které jsou uvedeny v normě, se volí podle vlastností materiálu a jeho aplikace.

Odolnost je specifikovaná následovně:

- změny v hmotnosti, rozměrech, vzhledu po odstranění z kapaliny a vysušení
- změna fyzikálních vlastností (mechanické, teplotní, optické atd.)
- množství absorbované kapaliny

### 5.2.1 Chemická kapalina

Chemická kapalina by měla být volena podle praktického využití zkoušeného materiálu, s jakým kapalinami přichází polymer do kontaktu. Z důvodu, že průmyslové kapaliny nemívají konstantní složení, proto musí být chemická látka přesně definována. Tato látka musí dosahovat stanovené kvality a složení.

Tab. 3: Používané chemikálie podle ISO175.

<i><b>název</b></i>	<i><b>koncentrace</b></i>		<i><b>hustota při 20°C</b></i>
	<i><b>hm. %</b></i>	<i><b>kg.m<sup>-3</sup></b></i>	<i><b>kg.m<sup>-3</sup></b></i>
kyselina octová	99,5		1050
kyselina octová	5	50	
aceton	100		785
roztok hydroxidu amonného	25	230	907
roztok hydroxidu amonného	10	96	958
anilín	100		1021
roztok kyseliny chromové	40	550	
roztok kyseliny citronové	10	100	
dietyl éter	100		719
destilovaná voda	100		
etanol		770	802
etanol	50	460	
etylacetát	100		901
n-heptan	100		683
kyselina chlorovodíková	36		1180
kyselina chlorovodíková	10	105	
kyselina fluorovodíková °	40	450	1160
peroxid vodíka	30	330	
peroxid vodíka	3	31	
kyselina mléčná	10	100	

<i>název</i>	<i>koncentrace</i>		<i>hustota při 20°C</i>
	<i>hm. %</i>	<i>kg.m<sup>-3</sup></i>	<i>kg.m<sup>-3</sup></i>
metanol	100		790
kyselina dusičná	70		1420
kyselina dusičná	40	500	1250
kyselina dusičná	10	105	1050
kyselina olejová	100		890
roztok fenolu	5	50	
roztok uhličitanu sodného	20	216	1080
roztok uhličitanu sodného	2	20	1010
roztok chloridu sodného	10	108	1070
roztok hydroxidu sodného	40	575	1430
roztok hydroxidu sodného	1	10	1010
roztok chlornanu sodného	10		
kyselina sírová	98		1840
kyselina sírová	75	1250	1670
kyselina sírová	10		
kyselina sírová	5		
toluen	100		871
2,2,4 – trimetylpentan	100		698

### 5.2.2 Podmínky zkoušení

Preferované teploty jsou  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Pokud vznikne při chemické reakci teplo, které zvýší teplotu, je potřeba ochladit materiál na teplotu  $23^{\circ}\text{C}$ .

Norma určuje časy ponoření. Tyto časy jsou pouze preferovány, pokud se zúčastněné strany nedohodnou jinak. Preferované časy jsou:

- 24 hodin pro krátkodobý test
- 1 týden pro standardní test (zejména  $23^{\circ}\text{C}$ )
- 16 týdnů pro dlouhodobý test

### 5.2.3 Zkušební tělíska

Typ zkušebních tělísek závisí podle hodnot, které budou vyhodnoceny (hmotnost, rozměry, fyzikální vlastnosti), tělíska ve formě desky fólie, trubky podle použití ve výrobě. Zkušební tělíska můžeme vyrábět obráběním z desky nebo přímo vstřikováním (ISO 294-



3). Je potřebné zajistit, aby testované vzorky byly bez otřepů, aby nebyl ovlivněn průběh chemické reakce a tím výsledek testu.

#### 5.2.4 Postup zkoušky

Testované vzorky musí být ponořeny v nádobě celým svým objemem. Je vhodná, aby celá série byla ponořena ve stejné nádobě. U dlouhodobého testu je potřebné, aby se chemická kapalina měnila každých 7 dní. Mění se celý objem. V případě velké nasákavosti materiálu je potřeba zajistit aby i po absorbování kapaliny materiálem byly zkušební tělíska ponořena v kapalině celým svým objemem.

Tělíska se po vyjmutí z chemické kapaliny musejí sušit. Způsob sušení má dvě formy:

- pro tělíska ponořeny v kyselině, zásadě nebo jiném vodním roztoku, je potřeba důkladné omytí čistou vodou. U hygroskopických látek (např. kyseliny sírové) je potřeba absorbovanou vlhkost z povrchu před měřením odstranit
- u prchavých látek, nebo u ve vodě nerozpustných organických kapalin bude omyta prchavými neagresivními látkami (např. nafta).

#### 5.2.5 Vyjádření výsledků

Vyhodnocení výsledků může mít dvě podoby, číselné nebo grafické. Číselné hodnocení může být vyjádřeno v absolutních hodnotách, v procentech, nebo v jednotkách na plochu. Grafické vyhodnocení je závislost funkce na čase. Čas se zadává v absolutních hodnotách nebo v případě dlouhotrvajících testů v logaritmickém měřítku. Mezi vyhodnocované vlastnosti patří hmotnost zkušebního tělíska, změna rozměrů a množství absorbované kapaliny. Do výsledného protokolu je potřeba zadat hodnoty před vložením do kapaliny, po vyjmutí z kapaliny a po vysušení. Další vyhodnocovanou vlastností je změna barevnosti nebo jiných vzhledových vlastností. U vzhledových vlastností se porovnává testované tělísko s původním.

Mezi další vzhledové vlastnosti, které se hodnotí, patří:

- lesklost a průhlednost
- průběh praskání
- průběh tvoření bublinek, tvoření jamek, apod.
- lepivý povrch
- štěpení, kroucení a jiné deformace
- částečný rozpad

Tab. 4: Odhad změn.

Kvalitativní odhad změn
Žádné
Nepodstatné
Nepatrné
Mírné
Značné

### 5.3 Chemické zatížení ISO 16750-5

#### 5.3.1 Testování a podmínky

Norma popisuje chemické zatížení pro polymerní materiály v automobilovém průmyslu. Vizuální vyhodnocení probíhá volným okem. Při hodnocení je potřeba, aby byla místnost dostatečně osvětlena. Vyhodnocují se stejně hodnoty jak v normě ISO 175 (viz. 5.2.5.). Celkovou kontaminaci je potřeba zajistit u každého zkušebního tělíska. Možnosti aplikace těchto chemikálií:

- bavlněné tkaniny
- kartáče
- ponoření
- nasprejováním
- nalitím

Zkoušky musí proběhnout během 24 hodin za teploty podle tabulky 1z normy ISO 16750-4.

Tab. 5: Doporučené teploty podle ISO 16750-5.

Název	T <sub>min</sub> /°C/	T <sub>max</sub> /°C/	Název	T <sub>min</sub> /°C/	T <sub>max</sub> /°C/
A	-20	65	J	-40	120
B	-30	65	K	-40	125
C	-40	65	L	-40	130
D	-40	70	M	-40	140
E	-40	80	N	-40	150
F	-40	85	O	-40	155
G	-40	90	P	-40	160
H	-40	100	Z		
I	-40	110			

Tab. 6: Chemické kapaliny podle ISO 16750-5.

<i>Označení</i>	<i>Chemická kapalina</i>	<i>Popis</i>	<i>Teplota pro zatížení</i>
A	nafta	podle ISO 3170 (EN 590)	T <sub>max</sub>
B	bio nafta	podle DIN 51606	T <sub>max</sub>
C	bezolovnatý benzín	podle ISO 3170 (EN 228)	RT
D	benzín s 15 % metanolu	podle DIN 53245	RT
E	zkušební palivo FAM	podle DIN 51604 B	RT
F	bateriová kapalina	37% kyselina sírová nebo KOH	80°C
G	brzdná kapalina	DOT 4 (SAE J 1790)	T <sub>max</sub>
H	chladičí aditiva (nezředitelná nemrznoucí směs)	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
I	ochranný lak	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
J	odstraňovač ochranného laku	<sup>c</sup>	RT
K	motorový olej	SAE 10 W 50	T <sub>max</sub>
L	přípravek pro čištění za studena	<sup>c</sup>	TA
M	metanol	podle DIN 53245	RT
N	olej pro diferenciály	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
O	kapalina do převodovky	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
P	čistič pro interiéry	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
Q	občerstvení obsahující kofein a cukr	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
R	hydraulická kapalina	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
S	autokosmetika	<sup>c</sup>	RT
T	čistič čelního skla	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
U	čistič skla	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
V	čistič kol	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
W	čistič motoru	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
X	petrolej	<sup>c</sup>	RT
Y	denaturovaný líh	<sup>c</sup>	RT
Z	ochrana proti kavitaci	<sup>c</sup>	T <sub>max</sub>
0	dodatečné přísady	<sup>c</sup>	

<sup>a</sup> Tmax se vybírá podle ISO 16750-4:2003 tab. 1

<sup>b</sup> RT, ISO 16750-1:2003,7.2 (pokožková teplota)

<sup>c</sup> dohodnuto mezi zákazníkem a výrobcem

## 5.4 Koroze pod napětím ISO 22088

Stanovení koroze pod napětím se určuje pomocí relativního proměnného parametru odolnosti působení chemického prostředí. Při zkoušení se mění pouze jeden s následujících parametrů, ostatní zůstávají konstantní. Mezi parametry patří:

- rozměry zkušební tělesa
- stav zkušební tělesa (orientace, struktura, vnitřní napětí)
- příprava zkušební tělesa
- tepelná historie zkušební tělesa
- trvání zkoušky
- chemické prostředí
- metoda aplikace napětí a deformace
- kritérium porušení

Výsledkem měření bude stanovení hodnoty koroze pod napětím, která se nazývá ESC index. Tato norma definuje ESC index třemi způsoby:

- poměr určené lomové vlastnosti stanovené v referenčním prostředí (většinou vzduch), měřené za stejné teploty a době trvání zkoušky
- poměr hodnoty deformace u lomu stanovené ve zkušebním prostředí k hodnotě stanovené v referenčním prostředí pro stejnou dobu vystavení
- poměrná hodnota odklonu napětí, které snímá ESC citlivost různých materiálů vystavených specifickému prostředí

Zkušební tělíska jsou během zkoušky vystavena normální teplotě  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$  nebo zvýšené teplotě (norma specifikuje  $(40\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,  $(55\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,  $(70\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,  $(85\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ,  $(100\pm 2)^{\circ}\text{C}$  nebo podle dohody zúčastněných stran).

### 5.4.1 Stanovení odolnosti proti korozi pod napětím (ESC) - Část 2: Metoda konstantního tahového zatížení

Zkušební tělísko je zatíženo silou menší, než je síla při napětí na mezi kluzu. Tělísko je během zkoušky ponořeno v kapalině o stanovené teplotě. Tato norma specifikuje tři metody testování:

- metoda A: závislost tahového napětí, které vede k praskání za 100h. Toto napětí je získáno interpolací z grafu závislosti času praskání na tahovém napětí.

- metoda B: závislosti času do lomu za stanoveného napětí. Tato metoda se používá v případě, že čas praskání přesahuje 100h.
- metoda C: stanovení času do lomu pro sérii aplikovaných hodnot napětí. Z grafu závislosti času do lomu proti napětí se usuzuje, zda čas do lomu pro předem odsouhlasené napětí je vyhovující

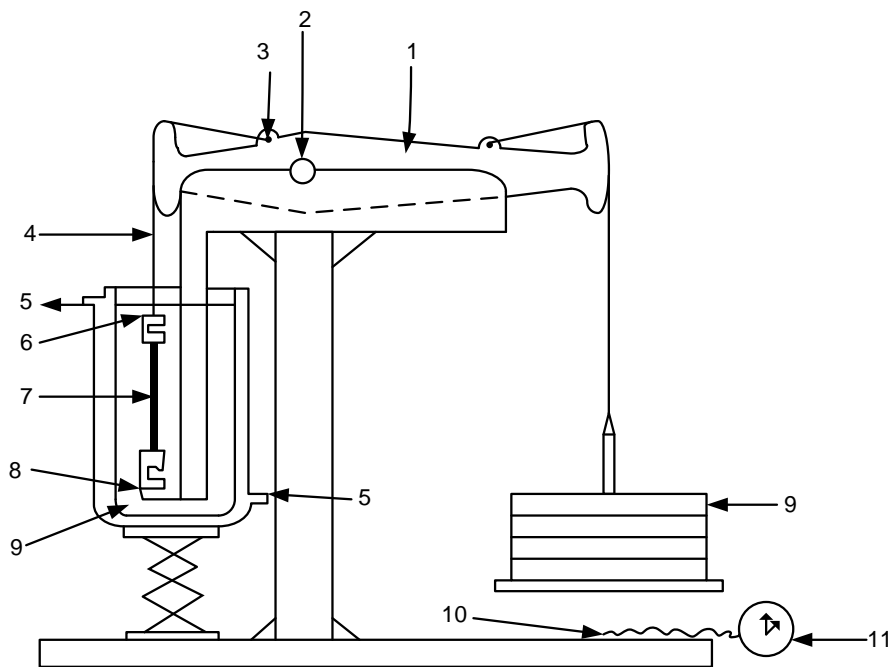
#### 5.4.1.1 Testování a podmínky testování

V průběhu testování musí být testovací tělísko vystaveno tahovému napětí současně s působením chemické kapaliny. Těleso je celým svým objemem ponořeno v kapalině a vystaveno napětí, které je menší, než je mez kluzu. V případě kapaliny, která je za normálních teplot viscoelastická je možné, aby těleso bylo potřeno kapalinou, vrstvou velikosti nejméně 2 mm. Všechny ostatní části zkoušecího zařízení musí být vůči chemické kapalině inertní. Zařízení musí být též odolné vůči přenášení otřesů a vibrací. Aplikované napětí u metody A je napětí, které je potřebné pro vznik lomu za 100 hodin. Vypočítá se podle normy. Stejně tak pro metodu B, kde se používá pouze jedna hladina napětí. U metody C se stanovuje čas do lomu pro sérii napětí.

Teplota zkoušení je v normě upřednostňovaná v hodnotách  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$  a  $(105\pm 2)^{\circ}\text{C}$ .

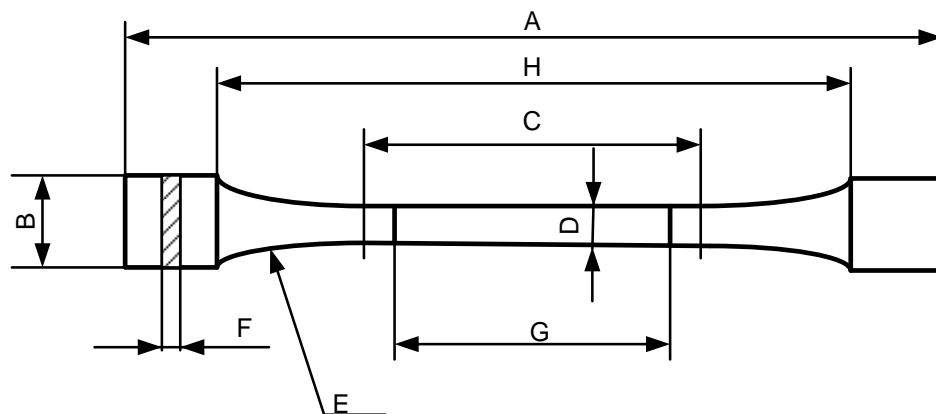
Tab. 7: Příklad použitého napětí doporučeno normou.

<i>typ materiálu</i>	<i>teplota</i> <i>/°C/</i>	<i>maximální použité napětí</i> <i>/MPa/</i>
polyamid 66	55	30
polykarbonát	55	40
polykarbonát	23	50
PVC (neměkčené)	55	21
polyetylen (vysoce hustotní)	55	závisí na molekulární hmotnost
polymethylmetakrylát	55	25
polymethylmetakrylát	23	40
polyoxometylen	55	28



Obr. 15: Příklad přístroje na měření koroze pod napětím.

1 - páka, 2 – třecí ložisko nebo břitové, 3 – vedení lanka, 4 – lanko, 5- míchadlo chemické kapaliny, 6 – upínací čelisti, 7 – testované tělísko, 8 – chemické prostředí, 9 – závaží, 10 – kontrolní spínač časovače, 11 - časovač



Obr. 16: Zkušební tělísko.

A – celková délka minimálně 75 mm, B – šířka konců 10 mm  $\pm$  0,5 mm, C – délka rovnoběžné části  $\pm$  0,5 mm, D – šířka rovnoběžné části 5 mm  $\pm$  0,5 mm, E – zaoblení minimálně 30 mm, F – tloušťka 2mm  $\pm$  0,2 mm, G – vzdálenost mezi měřícími značkami 25 mm, H – počáteční vzdálenost mezi uchopením 57 mm

#### 5.4.1.2 Vyhodnocení

Zpráva o průběhu zkoušky musí obsahovat veškeré podrobnosti. Mezi nejdůležitější patří typ chemické kapaliny, typ zkoušeného materiálu, podmínky testování, čas praskání, aplikovaná síla, druh lomu při přetržení a podobně. Podrobnější informace jsou uvedeny v normě ISO 22088-2 v oddílu 9 a 10.

#### 5.4.2 Stanovení odolnosti proti korozi pod napětím (ESC) - Část 3: Metoda ohnutého pásku

Metoda ohýbaného pásku se používá pro tuhé a neohebné plasty s mírným relaxačním napětím v čase. Jedná se pouze o hodnotící zkoušku, která neslouží k získání dat pro navrhování nebo předpověď provozních hodnot.

##### 5.4.2.1 Testování a podmínky testování

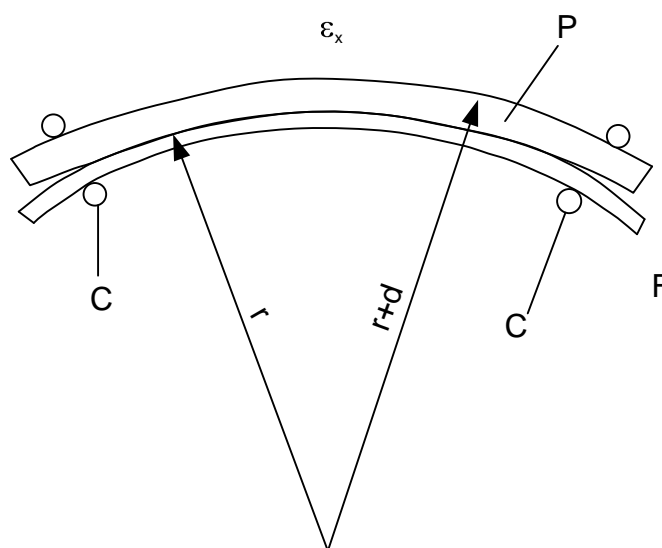
Na ohýbaný pásek je vyvíjeno nominální ohybové napětí. Toto napětí se vypočte podle obrázku dosazením do rovnice

$$\varepsilon_x = \frac{d}{2r+d} \times 100 (\%) \quad (3)$$

Pasek je ohýbán a zároveň vystaven působení prostředí chemické kapaliny. Testované tělíčko je vyhodnocováno vizuálně, uvolněno a hodnoceno mechanickým nebo jinými testy. Zkouška se provádí za normální teploty  $23 \pm 2$  °C, případně zvýšené  $40 \pm 2$  °C nebo 55°C. Chemická kapalina je v kontaktu s povrchem ve vrstvě 2 - 4 mm nebo namočením zkoušeného tělíčka. Zkoušení může probíhat jako krátkodobý test 24 hodin  $\pm$  15 minut. Nebo dlouhodobý, u kterého se doba zkoušení stanoví vzájemnou dohodou.

Po ukončení zkoušky se stanoví tzv. určující vlastnosti. U krátkodobého testu je to co nejdříve po vyjmutí s chemického korozivního prostředí. U dlouhodobého testu jsou zkušební tělíčka ponechány na vzduchu 22-24 hodin za teploty  $(23 \pm 2)$ °C. U zkoušky v ohybu a rázové zkoušce Charpy musí být povrch tělesa, který nebyl v kontaktu s formou na podporách.

Kritické napětí koresponduje s kritériem selhání, která je získána s tabulkových hodnot nebo z grafu.



Obr. 17: Princip zkoušení.

$P$  – zkušební tělísko,  $d$  – tloušťka materiálu,  $F$  – přidržovač,  
 $r$  – zaoblení přidržovače,  $c$  – svorka,  $\varepsilon_x$  – nominální napětí

Tab. 8: Sledované vlastnosti podle.

označení	sledovaná vlastnost	ISO	kritérium selhání
A1	stav povrchu (vyhodnoceno vizuálně)	-	trhliny a praskání na dlouhé straně
A2	stav povrchu (vyhodnoceno vizuálně)	-	trhliny a praskání na větší ploše
A3	stav povrchu (vyhodnoceno vizuálně)	-	jiné pozorování: změna barvy apod.
B1	Napětí při přetržení nebo mez kluzu v tahu	ISO 527 - 2	80% z hodnoty získané z tělísek nezatížených předpětím
B2	ohybové napětí při maximálním zatížení	ISO 178	80% z hodnoty získané z tělísek nezatížených předpětím
B3	percentuálně prodloužení při protržení	ISO 527	50% z hodnoty získané z tělísek nezatížených předpětím
B4	Charpyho rázová zkouška (bez vrubu)	ISO 179	50% z hodnoty získané z tělísek nezatížených předpětím
B5	smyková rázová zkouška	-	50% z hodnoty získané z tělísek nezatížených předpětím
B6	vlastnosti zkoušené po vzájemné dohodě	-	po vzájemné dohodě

#### 5.4.2.2 Vyhodnocení

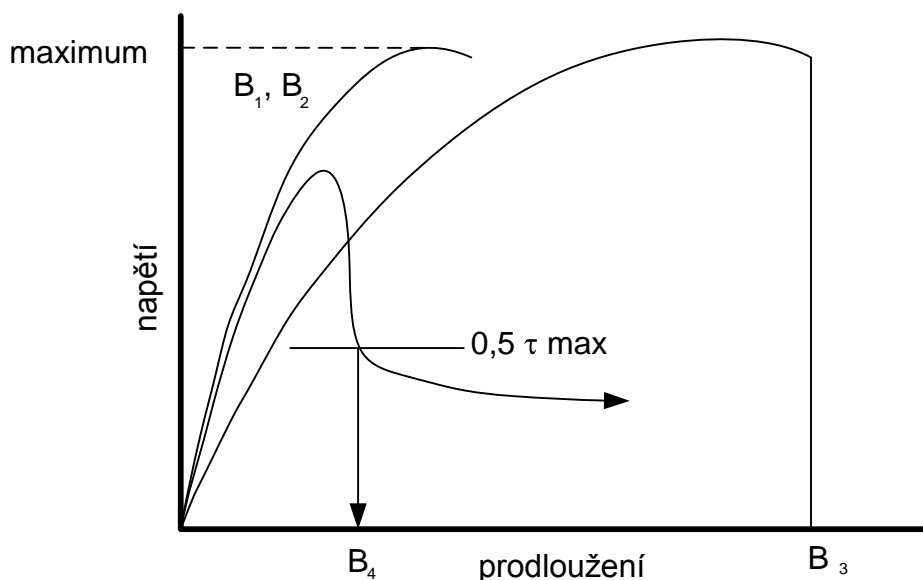
Zkouška se vyhodnocuje graficky a písemně. Všechny potřebné údaje o zkoušce jsou uvedeny v poslední kapitole normy. Zpráva o zkoušce musí být podrobná, protože norma dává velké možnosti v přizpůsobení podmínek zkoušení a kritérií selhání.



### 5.4.3 Stanovení odolnosti proti korozi pod napětím (ESC) - Část 4: Metoda vtlačování kuličky nebo hrotu

Metoda je vhodná pro amorfny plasty. Méně vhodné je použití pro semikrystalické materiály, které mají výraznější tendenci ke krípu nebo relaxaci.

U této metody je kulička nebo hrot vtlačován do před vrtané díry a přitom vystaven působení prostředí chemické kapaliny. Norma rozděluje dva způsoby testování. U metody A, která se používá pro hotové výrobky, se hodnotí vzniknuté viditelné praskání. U metody B, používané u zkušebních tělísek, se vyhodnocují kritéria znázorněna na obrázku 1. Používá se také ještě třetí způsob vyhodnocování takzvaný porovnávací faktor praskání. Zde se určuje poměr praskání u tělíska v prostředí v porovnání s referenčním prostředím (např. vzduch).



Obr. 18: Hodnotící kritéria pro metodu B.

*X – prodloužení, Y – napětí, B1- 5% pokles maximální síly v tahu, B2 – 5% pokles maximální síly v ohybu, B3 – 20% pokles prodloužení v tahu při lomu, B4 – prodloužení v tahu při 50% dosažené síly v tahu*

V průběhu testování je kulička nebo kolík vtlačován do testovaného tělíska v prostředí chemické kapaliny. Jejich průměr se u každého kroku zvyšuje (viz tabulka). Pro zkrácení doby trvání testování mohou být použity také pomocní mechanické zkoušky. Tělíska musí

být v prostředí chemické kapaliny ponořeno 20 hodin. Po vyjmutí s kapaliny je tělísko osušeno a během tří hodin je provedena zkouška.

Tab. 9: Upřednostňované průměry.

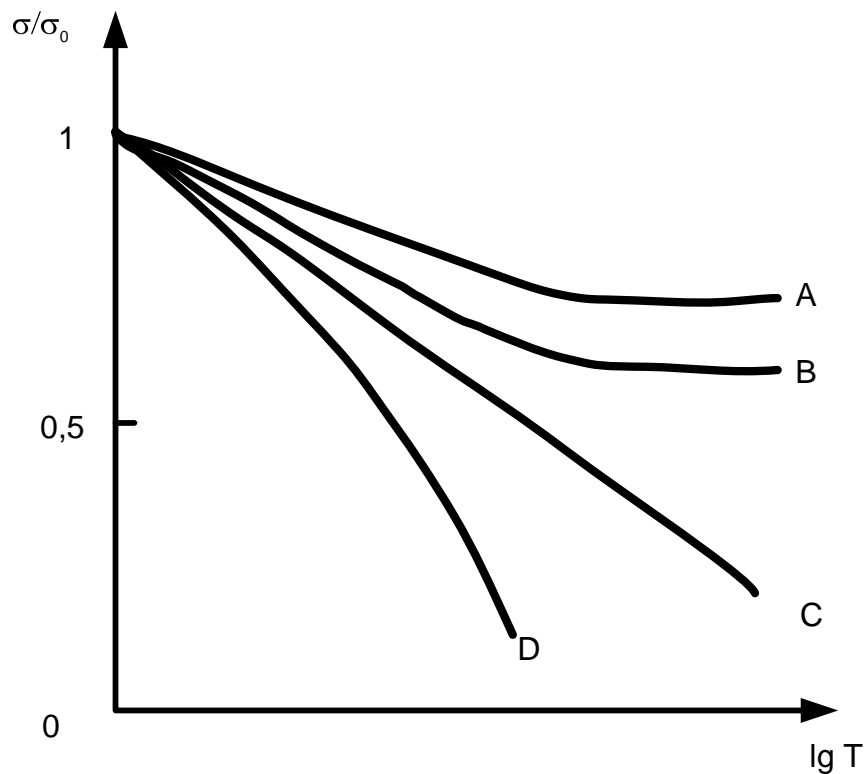
průměr /mm/	přírůstek /mm/
2,98 až 3,20	0,01
3,20 až 3,50	0,05
3,50 až 4,00	0,10
4,0 až 6,0	0,50

#### 5.4.3.1 Vyhodnocení

Vyhodnocení zkoušky se provádí standardně jako u většiny ostatních zkoušek. U daného typu zkoušení je ovšem potřeba specifikovat u zkoušení metodou A velikost, u které došlo k prvnímu praskání, nebo kdy došlo k výraznějšímu praskání. U metody B je potřeba specifikovat způsob mechanického testování, kritérium selhání, grafické vyjádření a porovnávací poměr.

#### 5.4.4 Stanovení odolnosti proti korozi pod napětím (ESC) - Část 5: Metoda konstantní deformace v tahu

Těleso je vystaveno působení chemicky aktivního prostředí a tahové síle, která je menší než mez kluzu (popř. mez pevnosti). Index ESC je stanoven porovnáním kritického napětí u testovaného tělíska s tělískem vystaveným referenčnímu prostředí. Dále se pak srovnává tvar relaxační křivky (obr. 20). Na obrázku jsou znázorněny 4 typy relaxačních křivek. Křivka A je křivky pro referenční prostředí. Odklon křivky B je způsoben botnáním, molekulární struktura není porušena. U křivek typu A a B jsou vzorky vyhovující. Křivky typu C znázorňují materiál, kde došlo vlivem chemické kapaliny narušení vnitřní struktury (porušení makromolekulárních vazeb, přerušení vazeb. U křivky D je vidět významný vliv koroze pod napětím.



Obr. 19: Relaxační křivky.

$T$ - čas,  $\sigma_0$ - počáteční napětí,  $\sigma$  – napětí v čase  $T$ ,  $\sigma_0/\sigma$ -poměr napětí

Tělisko musí být kompletně ponořeno v zkušebním médiu. Teplota zkoušení je upřednostněna normou  $(23\pm 2)^\circ\text{C}$ , nebo za zvýšené teploty  $(100\pm 2)^\circ\text{C}$ . Zkušební tělisko je zatíženo počátečním napětím, které je nižší, než je mez kluzu (popř. mez pevnosti). Tělisko je zatěžováno silou odpovídající zvolenému napětí a to při udržení konstantního napětí. Síla se zaznamenává po dobu 200 hodin a pomocí ní se vynáší napět'ová relaxační křivka.

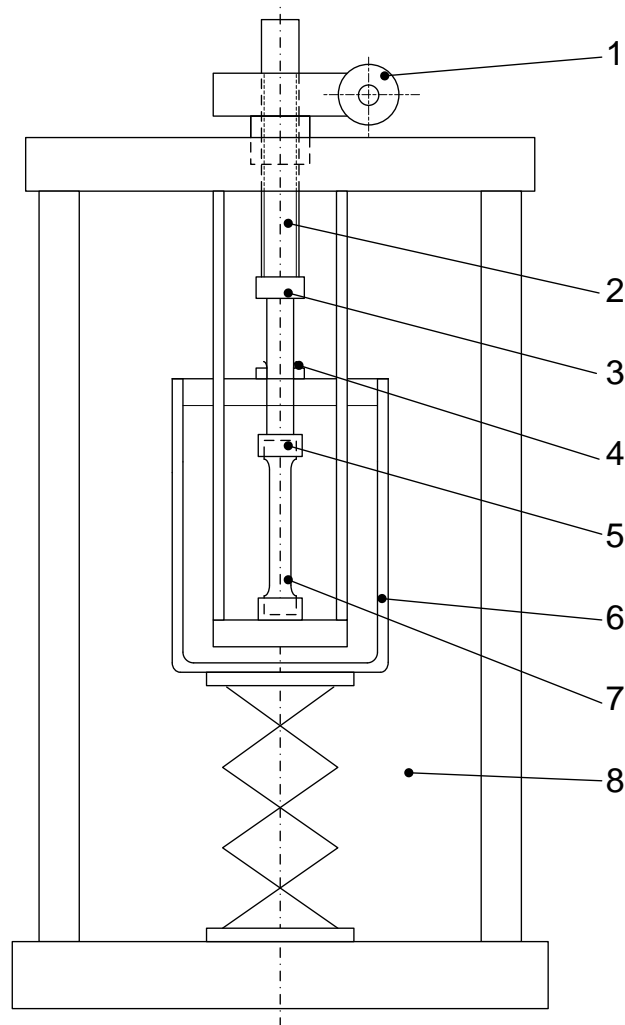
#### 5.4.4.1 Vyhodnocení

Zkouška se vyhodnocuje standardně. Všechny potřebné údaje o zkoušce jsou uvedeny v 12 kapitole normy. V protokolu o zkoušce je tako mimo jiné potřeba uvést kritické napětí stanovené ze zkoušky v médiu a v referenčním prostředí a jejich rozdíl. Zkouška se vyhodnocuje rovněž graficky a to pomocí závislostí napět'ových křivek.

### 5.4.5 Stanovení odolnosti proti korozi pod napětím (ESC) - Část 6: Metoda pomalé deformační rychlosti

Tato metoda je další metodou určující odolnost vůči korozivnímu prostředí pod napětím.

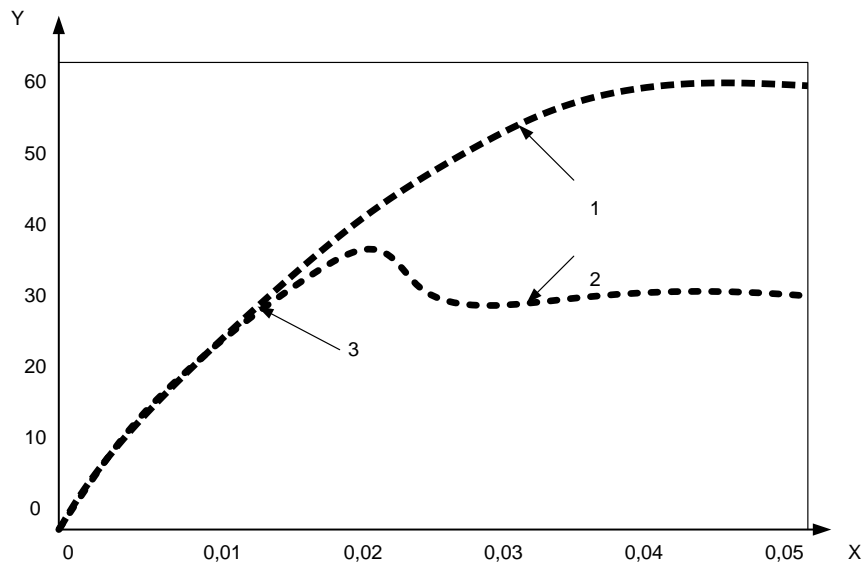
Výhodou oproti předešlým metodám je rychlost dané zkoušky.



Obr. 20: Princip zkoušení.

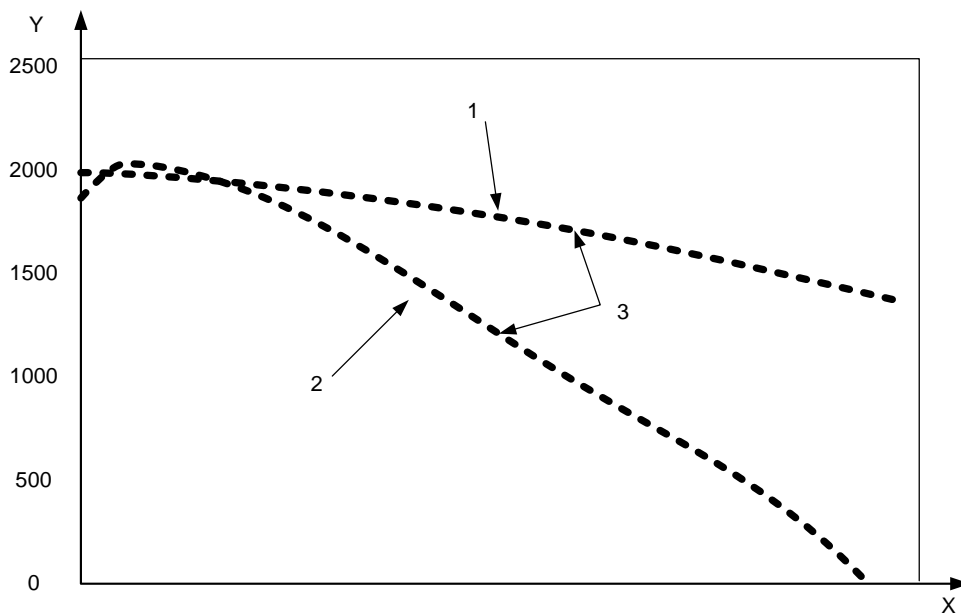
*1 - šnekové soukolí, 2 – šroub, 3 – cela, 4 – kryt, 5 – čelist, 6 – skleněný válec, 7 - zkušební těleso, 8 – chemické médium*

Zkušební tělísko je podrobena zvyšující se deformaci při konstantní rychlosti příčnicku. Zároveň je tělísko vystaveno působení chemické kapaliny. Zkoušky se provádí v tahu a deformační rychlost je velmi nízká. Cílem zkoušky je identifikovat počátek vzniku trhlin a praskání. Tento děj je spojen s odklonem křivky napětí-deformace porovnáváním tělísek vystavených chemickému prostředí a tělísek uložených na vzduchu.



Obr. 21: Typická závislost napětí-deformace.

*X – deformace, Y – napětí, 1 – zkušební těleso zkoušené na vzduchu, 2 – zkušební těleso zkoušené ve zkušebním médiu, 3 – bod odklonu*



Obr. 22: Typická závislost ukazující tangentský modul z křivky napětí deformace jako funkci deformace.

*(odklon je definován jako bod, u kterého derivace křivky získané zkoušky v médiu klesne na 75 % derivace křivky získané ze zkoušky na vzduchu)*

*X – deformace, Y – napětí, 1 – zkušební těleso zkoušené na vzduchu, 2 – zkušební těleso zkoušené ve zkušebním médiu, 3 – bod odklonu*

#### **5.4.5.1 Vyhodnocení**

Zkouška se vyhodnocuje obdobně jako předchozí oddíly. Do protokolu je potřeba také zanezt způsob vypočtu zatížení, které vyvozuje potřebné napětí. U daného typu zkoušení se zaznamenává i deformační rychlost a deformace zkušebního tělesa.

## 6 STANOVENÍ RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI METODOU CHARPY (INSTRUMENTOVANÁ ZKOUŠKA)

Zkušební těleso pro zkoušku rázových vlastností tvaru hranolu. Tělíska se umísťují vodorovně na podpěry a je namáháno ve směru kolmém k přímce rázu. Norma ovšem umožňuje i jiné způsoby umístění, např. ráz na širší stranu (zejména kompozitní materiály). Během rázu se zaznamenává rázová síla. Podle způsobu vyhodnocení lze průhyb zkušebního tělesa buď měřit přímo vhodným měřicím zařízením, nebo v případě nosiče energie.

Pro rázovou zkoušku se vyhodnocuje hlavně rázová houževnatost Charpy resp. vrubová houževnatost Charpy

$$a_{cU} = \frac{W_B}{h \cdot b} \cdot 10^3 \quad \text{resp.} \quad a_{cN} = \frac{W_B}{h \cdot b_N} \cdot 10^3 \quad (5)$$

kde  $h$  /mm/ - tloušťka zkušebního tělesa

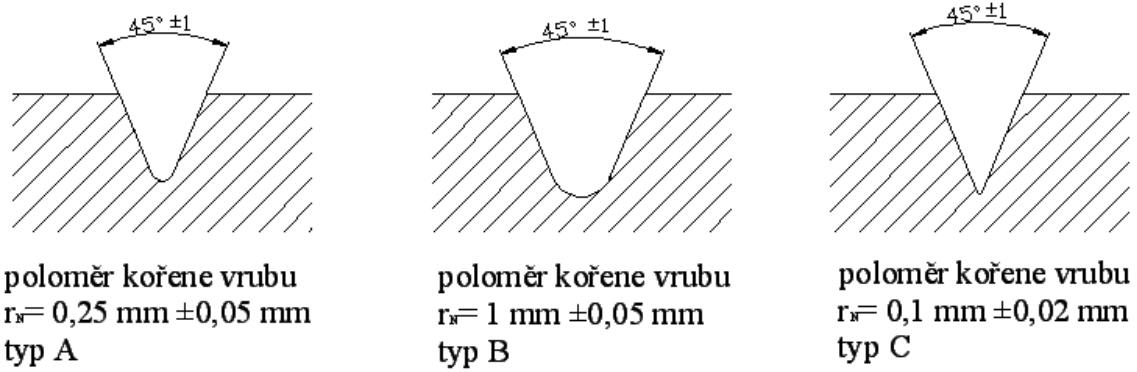
$b$  /mm/ - šířka zkušebního tělesa

$b_N$  /mm/ - šířka zkušebního tělesa pod vrubem

$W_B$  /J/ - energie při přeražení

U rázové zkoušky se udává i typ přeražení, tj. typ deformačního chování zkoušeného plastu:

- nepřeraženo N
- částečně přeraženo P
- úplné přeražení C a kloubové přeražení H - tvárné přeražení t
  - křehké přeražení b
  - tříštivé přeražení s



Obr. 23: Typy vrubu

### ***Zkušební zařízení***

Základními částmi zkušebního stroje jsou nosiče energie, břit a rám s podpěrami pro zkušební těleso. Nosič energie může být setrvačného typu (tj. kyvadlo nebo padající tlouk, s možností jeho urychlení pružinou nebo pneumaticky před provedením rázu) nebo hydraulického typu.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je zjistit působení chemických kapalin na mechanické vlastnosti, zesíťovaných a nezesíťovaných zkušebních tělísek, vzhledové vlastnosti a změny hmotností radiačně ozářených polymerních materiálů v porovnání s neozářenými materiály.

Práce bude probíhat podle následujících bodů:

- výroba zkušebních tělísek
- zesíťování tělísek radiačním zářením
- naložení tělísek do chemikálií.
- rázová zkouška metodou Charpy
- návrh a výroba přípravku pro zkoušení ESC
- provedení zkoušení ESC
- provedení zkoušek botnání
- vyhodnocení a porovnání naměřených výsledků.

## 8 POUŽITÝ MATERIÁL

Pro měření bylo použito několik druhů polymerů. Jako zástupce běžně používaných polymerů byly použity polyamidy PA 11 a PA12 od firmy Plastic Technology Service Ltd, PA6 30%GF a PA6.6 30%GF od firmy Frisetta jako zástupce polyolefinů HDPE od firmy DOW. Dále byly použity speciální materiály pro chemickou odolnost PA66 30%GF a PA66 40%GF od firmy Plastic Technology Service Ltd. Tento materiál je specifikován jako vysoce odolný termoplastický polymer, odolný proti rozpustnosti a s vyššími mechanickými vlastnostmi.

### *Seznam použitých materiálů:*

- POLYBUTYLEN TEREFTHALAT V-PTS-CREATEC-B3HZC \*M800/25 natur
- POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T \*M600/13 transparent
- POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD \*M800/13 natur
- POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E DOW
- POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF FRISSETTA
- POLYAMID 6.6 FRIANYL A63 VNGV30 30GF FRISSETTA
- POLYAMID 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6\*0129/12
- POLYAMID 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8\*0129/10

## 9 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TELÍSEK

### 9.1 Vstřikovací stroj

Pro vstřikování byl použit vstřikovací stroj firmy Arburg typ Allrounder 420C Advance. Jedná se o horizontální vstřikovací.



Obr. 24: Arburg Allrounder 420C Advance

Tab. 9: Technické údaje vstřikovacího stroje Allrounder 420C.

<b><i>Uzavírací jednotka</i></b>	
uzavírací síla	1000 max. kN
otevírací síla / zvýšená otevírací síla	35 / 250 max. kN
otevření	500 max. mm
vzdálenost mezi vodícími sloupy	420x420 mm
velikost upínací desky (šířka x výška)	570x570 mm
vyhazovací síla	40 max. kN
zdvih vyhazovače	175 max. mm
<b><i>Hydraulika a pohon</i></b>	
výkon čerpadla	22 kW
celkový příkon stroje	33,9 kW
<b><i>Vstřikovací jednotka</i></b>	
průměr šneku	40 mm
poměr šneku	20 L / D
zdvih šneku	145 max. mm
objem dávky	182 max. cm <sup>3</sup>
vstřikovací tlak	2120 max. bar
vstřikovací rychlost	168 max. cm <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>
zpětný tlak pozitivní / negativní	350/160 max. bar
krouticí moment šneku	700 max. Nm
přítlačná síla trysky	70 max. kN
objem násypky	50 l

### 9.1.1 Vstřikovací podmínky

Pro práci bylo použito 8 materiálů, z toho byly tělíska z 6 materiálů vyrobeny vstřikováním v univerzitní dílně. Parametry pro jejich vstřikování jsou uvedeny v tabulce 19.

Tab. 10: Parametry nastavení vstřikovacího stroje.

<i>materiál</i> →	<i>PA 11 V-PTS-CREAMID-11T</i> *M600/13 transparent	<i>PA12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD</i> *M800/13 natur	<i>PBT PTS-CREATEC - B3HZC*M</i> 800/25 natur	<i>PE HIGH DENSITY</i> 25055E	<i>Polyamid 6 Frianyl B63</i> VNGV30	<i>Polyamid 6.6 Frianyl A63</i> VNGV30
<i>Parametr</i>						
vstřikovací rychlost/mm.s <sup>-1</sup> /	40	45	40	60	45	60
vstřikovací tlak /MPa/	80	62	80	80	65	80
doba chlazení /s/	20	17	20	7	17	35
teplota formy /°C/	70	70	70	40	70	40
dráha dávkování /mm/	26	25	26	30	25	39
celkový čas dotlaku /s/	-	10,2	-	25	10,2	10
dotlak/MPa/	30	-	30	60	-	-
teplota trysky /°C/	250	310	250	250	310	250
teplota pod násypkou /°C/	70	40	70	40	40	40
teplotní pásmo 2 /°C/	220	220	220	200	220	205
teplotní pásmo 3 /°C/	225	250	225	220	250	220
teplotní pásmo 4 /°C/	230	270	230	230	270	230
teplotní pásmo 5 /°C/	240	280	240	240	280	240
teplota trysky /°C/	250	310	250	245	310	250

Dále byly firmou BGS dodány materiály PA66 40 % GF PTS-CREAMID-A3H9G8\*0129A/10 a PA 66 30% GF PTS- CREAMID-A3H7.1G6\*0129/12 ve formě již hotových tělísek.

## 9.2 Radiační sít'ování

Zesít'ování zkušebních tělísek proběhlo ve firmě BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG se sídlem v Saal an der Donau v Německu. Pro zesít'ování byl použit toroidní elektronový urychlovač typu Rhodotron ®. Toto zařízení je schopno používat pole s maximální energií 10 MeV. Jednotlivé hodnoty ozáření u materiálů jsou uvedeny v tabulce 20.



Obr. 25: Uložení tělísek ve firmě BGS.



Obr. 26: Uložení tělísek ve firmě BGS, se značením ozáření.

Tab. 11: Velikost ozáření materiálů.

Materiál	Velikost ozáření Dosis [kGy]
PA 11 V-PTS-CREAMID-11T *M600/13 transparent	99
PA12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD *M800/13 natur	99
PBT V-PTS-CREATEC-B3HZC *M800/25 natur	165
POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E	165
POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF FRISETTA	99
POLIAMID 6.6 FRIANYL A63 VNGV30 30GF FRISETTA	99
PA 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6*0129/12	99
PA 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8*0129/10	99

### 9.3 Naložení zkušebních tělísek

#### 9.3.1 Testovací chemikálie

Nádoby s testovacími kapalinami motorový olej, brzdová kapalina, chladicí kapalina na bázi etylenglykolu a kapalina do oštrikovačů na bázi ethanolu byly uloženy ve školních digestořích. Kapaliny FAM-B a bionafta B30 byly uloženy v ocelových nádobách v autoklávech ve firmě Robert Bosch s.r.o.



Obr. 27: Naložení tělísek.



Obr. 28 Uložení tělísek v školských digestořích.

Tab. 12: Naložení materiálů ve zkušebních kapalinách.

<b>Materiál</b>	prostředí – vzduch	Motorový olej	Nemrzoucí směs (ethanol)	Chladicí kapalina (etylglykol)	Brzdová kapalina	Bionafta B 30	FAM B
PA 11 V-PTS-CREAMID-11T *M600/13 transparent	X	X	X	X	X	X	X
PA12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD *M800/13 natur	X	X	X	X	X	X	X
PBT V-PTS-CREATEC-B3HZC *M800/25 natur	X	X	X	X	X	X	X
POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E	X	X	X	X	X	X	X
POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF FRISETTA	X	X	X	X	X		
POLIAMID 6.6 FRIANYL A63 VNGV30 30GF FRISETTA	X	X	X	X	X		
PA 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6*0129/12	X					X	X
PA 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8*0129/10	X					X	X

### 9.3.2 Testovací kapalina FAM B - DIN 51604

Testovací kapalina FAM-B je standardní testovací kapalina pro testování polymerních materiálů. Jedná se o kapalinu na bázi metanolu používaná v automobilovém průmyslu, kde přichází do kontaktu s motorovými palivy.



Tab. 13: Složení kapaliny FAM-B.

FAM-B	
<i>název složky</i>	<i>zastoupení</i> / % /
toluen	50 %
izooktan	30 %
diisobutylen	15 %
ethanolové činidlo	5 %
methanol	15 %
dionizační voda	0,5 %

Tab. 14: Vlastnosti kapaliny FAM-B.

<i>Vlastnosti</i>	<i>jednotka</i>	<i>množství</i>
hustota /při 20°C/	g.cm <sup>-3</sup>	0,79
index lomu /při 20°C/	-	1,427 – 1,429
fyzikální stav	-	kapalina
barva	-	bezbarvá
pach	-	charakteristický
teplota vznícení	°C	410
bod vzplanutí	°C	-12
počáteční bod varu	°C	65
hořlavina	-	I. třída
limit hořlavosti – horní	% obj.	44
limit hořlavosti – dolní	% obj.	1,1

### 9.3.3 Směsná motorová nafta Biodiesel B30

Biodiesel je komerčně prodávané ekologické palivo. Je založeno na bázi metylesterů FAME. Metylestery FAME jsou nenasycené mastné kyseliny rostlinného původu. Směsná

motorová nafta B30 je volně mísitelná se standardní motorovou naftou. Mezi její hlavní nevýhody patří její hygroskopické vlastnosti.

Tab. 15: Složení směsné motorové nafty B30.

<i>B30</i>	
<i>název složky</i>	<i>zastoupení</i> / % /
fosilní motorová nafta	69 %
metylester řepkového oleje	31 %

Tab. 16: Vlastnosti směsné motorové nafty B30.

<i>Vlastnosti</i>	<i>jednotka</i>	<i>množství</i>
hustota /při 20°C/	g.cm <sup>-3</sup>	0,825 - 0,86
index lomu /při 20°C/	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	2 - 4,5
fyzikální stav	-	kapalina
barva	-	bezbarvá
pach	-	minerální olej
bod vzplanutí	°C	>55
destilační rozmezí	°C	170 – 370
tenze par při 20°C	hPa	min. 59

#### 9.3.4 Motorový olej Mogul®SAE 10 W 40

Jedná se o motorový olej pro mazání benzinových a naftových motorů osobních automobilů. Jeho použití je možné za velkého rozptylu teplot.

Klasifikace a specifikace:SAE 10W-40 • API SL/CF • VW 500.00/505.00 • MB 229.1



Obr. 29: Mogul SAE 10 W 40.

### 9.3.5 Koncentrovaná chladicí kapalina na bázi etylenglykolu s organickými inhibitory koroze Sheron® Antifreeze G48

Tato chladicí kapalina je založena na bázi etylenglykolu pro celoroční použití. Její použití je velmi široké od osobních po nákladní automobily s motory s hliníkových slitin. Obsahuje silikátovo-organická aditiva. Kapalina splňuje normu VW TL 774 C/G11.



Obr. 30: Sheron® Antifreeze G48.

### 9.3.6 Nemrznoucí směs do ostřikovačů Carlson®-30°C

Tato nemrznoucí směs je založena na bázi vody, ethanolu a etylenglykolu. Obsahuje povrchově aktivní látky pro odstranění nečistot.



Obr. 31:Nemrznoucí směs do ostřikovačů Carlson® -30°C.

### 9.3.7 Brzdová kapalina ABS® SAE J 1703 DOT4

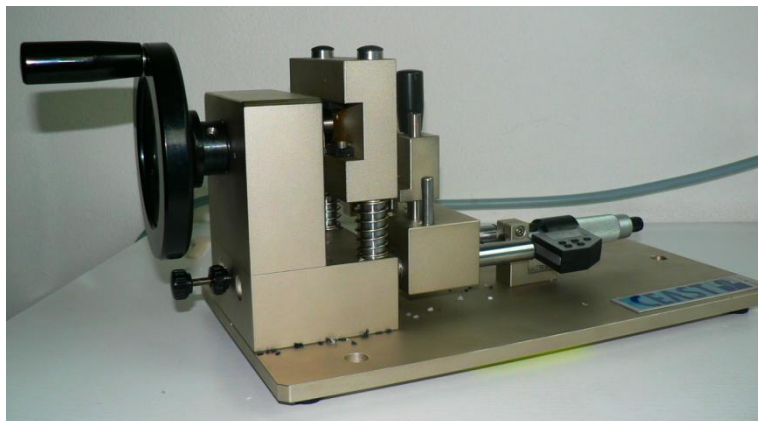
Jedná se o klasickou brzdovou kapalinu založenou na bázi 2,2'-oxybisethanolu a butylpolyglykolu. Pro více informací je přiložen materiálový list v příloze.



Obr. 32:ABS® SAE J 1703 DOT4.

## 10 RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST

Zkouška rázové houževnatosti byla provedena na zkušebním stroji Resil Impactor Junior. Zkouška probíhala podle normy ČSN EN ISO 179-2. Zkušební tělíska byly vyrobeny vstřikováním, vrub byl zhotoven na vrubovacím přístroji Notchvis.



Obr. 33: Vrubovací přístroj Notchvis.

### 10.1 Použitý přístroj

Pro dynamickou zkoušku vrubové houževnatosti byla použita Charpyho metoda. Bylo měřeno na zkušebním stroji Resil Impactor Junior. Z technických důvodů musely být některé testy provedeny na zkušebním stroji ZWICK 5113.



Obr. 34: Zkušební přístroj Resil Impactor Junior.

Tab. 17: Technické specifikace Resil Impactor Junior.

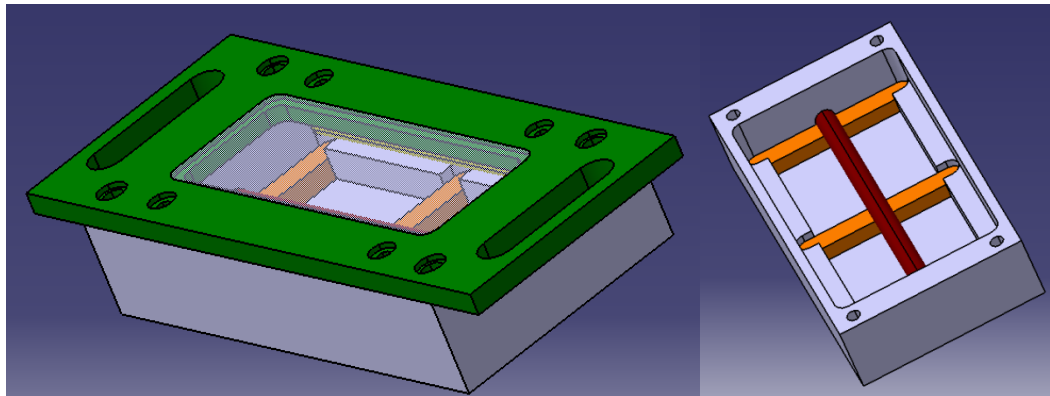
<i>Resil Impactor Junior</i>	
rázová energie	25J
celkové rozměry	900x500x800 mm
hmotnost	180 kg
napětí	230V – 50 Hz
výkon	50W

Tab. 18: Technické specifikace Zwick 5113

<i>Zwick 5113</i>	
rázová energie	50J
uhel, stupně	160/124.4
rázová rychlost	(2,93/3,46/3,85) m.s <sup>-1</sup>

## 11 KOROZE POD NAPĚTÍM (ESC)

Pro zkoušky koroze pod napětím byla zvolena metoda ohnutého pásku ISO 22 088 -2. Přípravek pro zkoušení byl připraven na školní CNC frézce. Výkresy a model návrhu přípravku v programu CATIA V5 jsou přiloženy v příloze.



Obr. 35: Model přípravku pro zkoušení ESC v programu CATIA V5.



Obr. 36: Přípravek pro zkoušení ESC.

## 12 PODMÍNKY MĚŘENÍ

Tab. 19: Podmínky naložení pro jednotlivé materiály.

Název kapaliny	teplota naložení /°C/	čas naložení /hodin/
referenční prostředí - vzduch	23	-
Testovací kapalina FAM B - DIN 51604	90	72
Směsná motorová nafta Biodiesel B30	90	72
Motorový olej Mogul®SAE 10 W 40	23	168
Koncentrovaná chladicí kapalina Sheron® Antifreeze G48	23	168
Nemrzoucí směs do ostřikovačů Carlson®-30°C	23	168
Brzdová kapalina ABS® SAE J 1703 DOT4	23	168

Tab. 20: Podmínky měření rázových vlastností.

Parametr	jednotka	hodnota
technická norma	-	ISO 179-2/1 e A
teplota měření	°C	23
doba měření po vytažení tělísek z kapaliny	hod.	24
hloubka vrubu	mm	2
rozměry tělíska	mm	b x h x l      4 x 10 x 80
typ vrubu	-	A
metoda zkoušky	-	ráz na tenkou stěnu

Tab. 21: Podmínky měření koroze pod napětí.

Parametr	jednotka	hodnota
teplota měření	°C	23
doba měření po vytažení tělísek z kapaliny	hod.	168
rozměry tělíska	mm	b x h x l      4 x 10 x 80
metoda zkoušky	-	ISO 22 088-3 metoda ohýbaného pásku



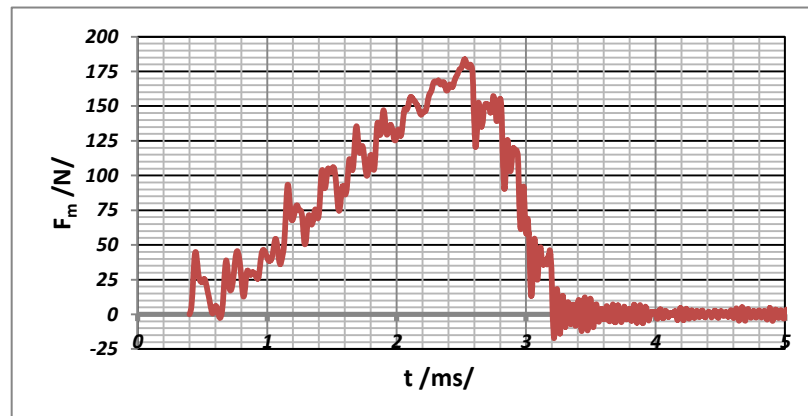
### 13 RÁZOVÉ VLASTNOSTI

#### 13.1 POLYBUTYLEN TEREFTHALAT V-PTS-CREATEC-B3HZC

\*M800/25 natur (PBT)

Neozářené

- referenční prostředí

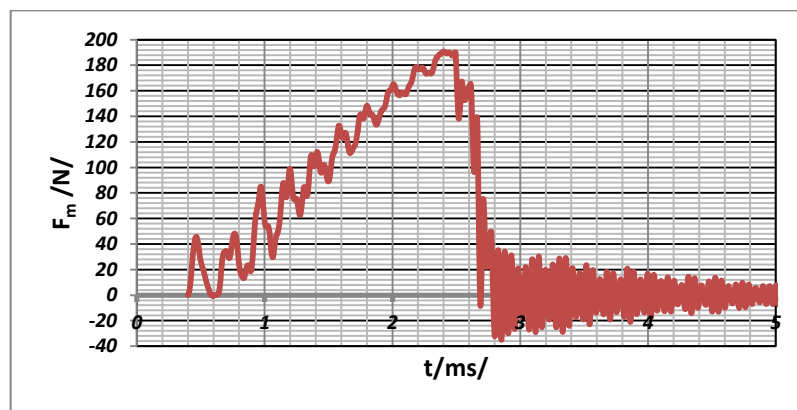


Obr. 37: Graf síly v závislosti na čase PBT v referenčním prostředí

Tab. 22: Rázová houževnatost PBT v referenčním prostředí.

n=5	maximální špička		maximální průhyb		Ab [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	F <sub>m</sub> [N]	E <sub>m</sub> [J]	E [J]	max. průhyb [mm]	
x	197,4	0,21	0,22	4,99	8,43
s	4,14	0,1	0,1	0,04	0,67

- motorový olej

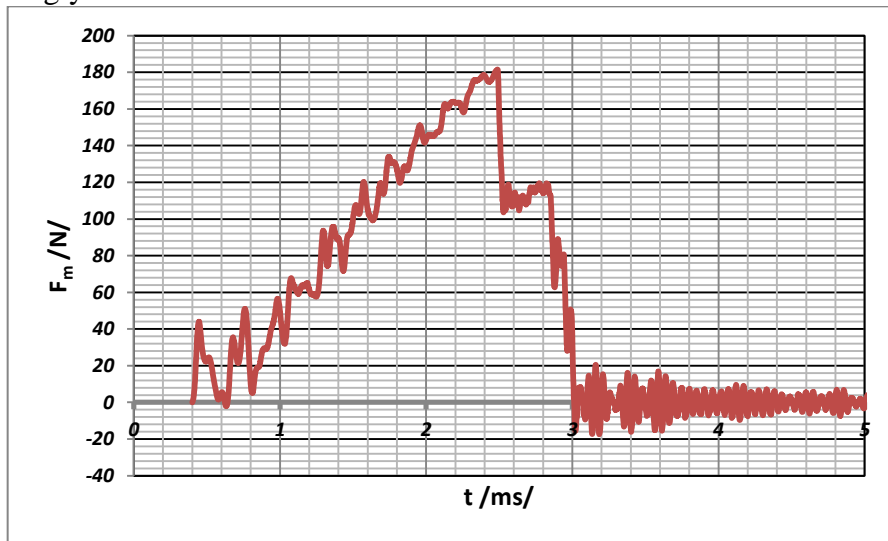


Obr. 38: Graf síly v závislosti na čase PBT v motorovém oleji

Tab. 23: Rázová houževnatost PBT v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	202,45	0,24	0,25	5,00	8,36
$s$	8,80	0,02	0,01	0,02	1,75

- etylenglykol

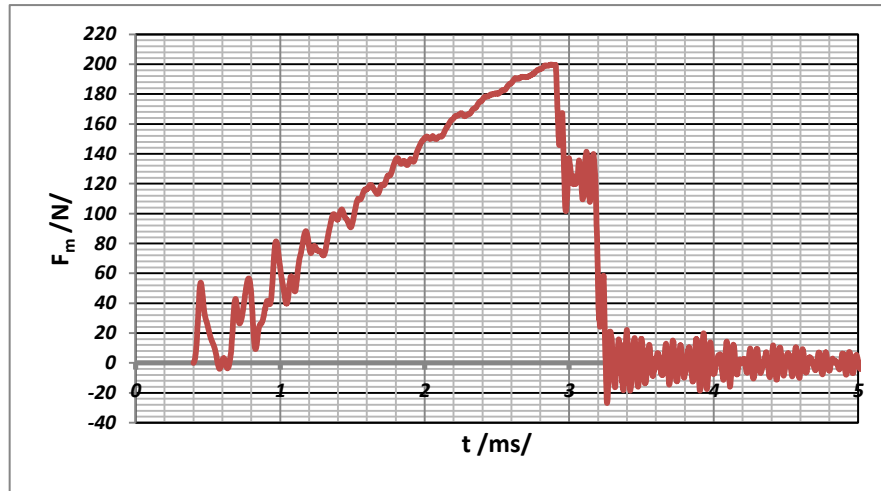


Obr. 39: Graf síly v závislosti na čase PBT v etylenglykolu

Tab. 24: Rázová houževnatost PBT v etylenglykolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	199,40	0,24	-3,48	0,25	5,01
$s$	7,62	0,03	4,44	0,03	0,03

- ethanol

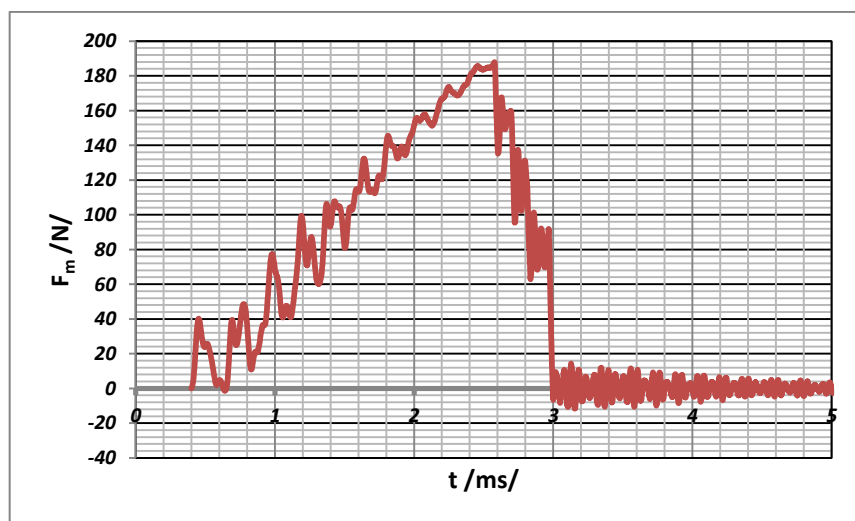


Obr. 40: Graf síly v závislosti na čase PBT v ethanolu

Tab. 25: Rázová houževnatost PBT v ethanolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	204,48	0,30	0,32	4,92	10,15
$s$	7,66	0,03	0,03	0,04	0,91

- brzdová kapalina



Obr. 41: Graf síly v závislosti na čase PBT v brzdové kapalině

Tab. 26: Rázová houževnatost PBT v brzdové kapalině.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	201,72	0,26	0,27	4,99	8,46
<i>s</i>	4,29	0,01	0,02	0,02	0,64

- FAM-B

Tab. 27: Rázová houževnatost PBT v kapalině FAM-B.

<i>n=5</i>	<i>E</i> [J]	<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
<i>x</i>	2,66	8,32
<i>s</i>	0,06	0,20
<i>v</i>	2,38	2,38

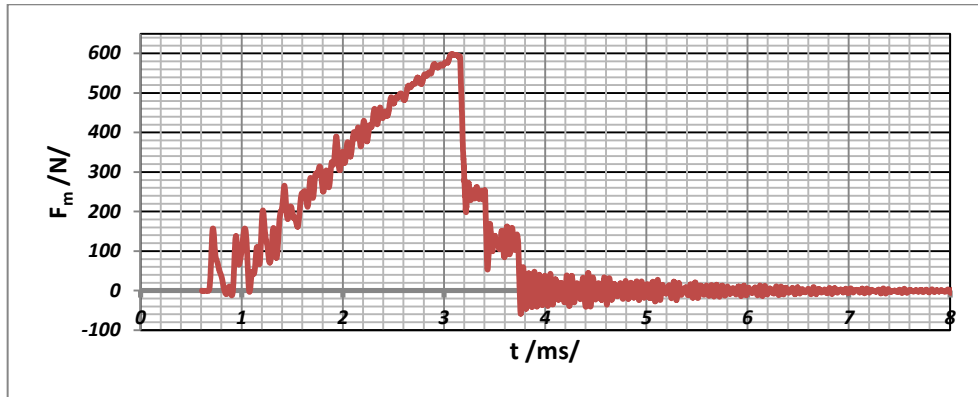
- B30

Tab. 28: Rázová houževnatost PBT v bionaftě B30.

<i>n=5</i>	<i>E</i> [J]	<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
<i>x</i>	0,51	1,26
<i>s</i>	0,05	0,13
<i>v</i>	10,57	10,57

**Ozářené**

- referenční prostředí

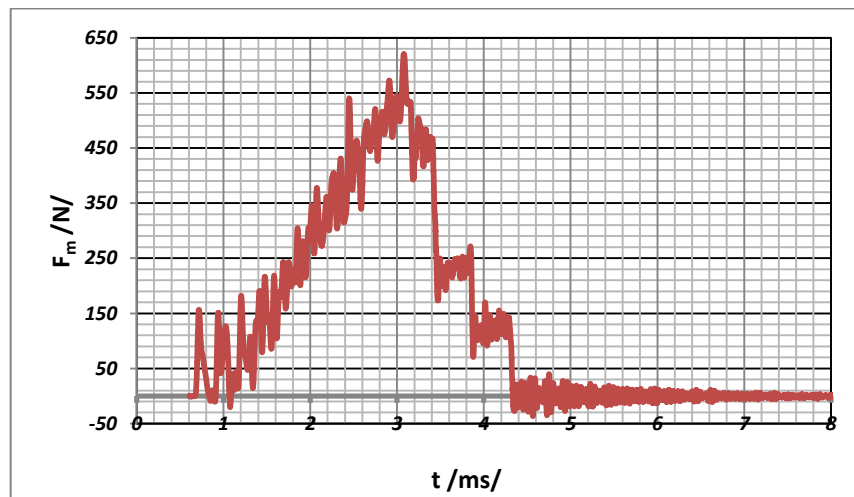


Obr. 42: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PBT v referenčním prostředí

Tab. 29: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v referenčním prostředí.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	626,54	0,65	0,67	4,94	24,04
$s$	20,18	0,01	0,02	0,07	0,59

- motorový olej

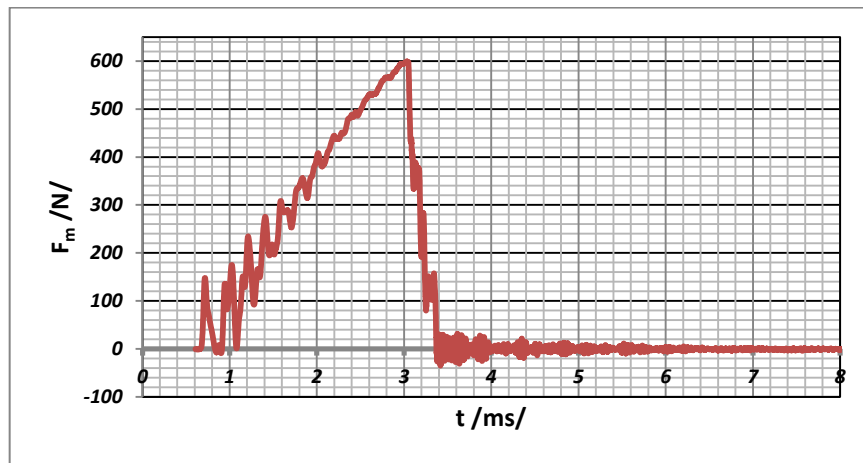


Obr. 43: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PBT v motorovém oleji

Tab. 30: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v motorovém oleji

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	644,05	0,65	0,67	4,56	7,78
$s$	13,95	0,02	0,02	0,34	0,58

- etylenglykol

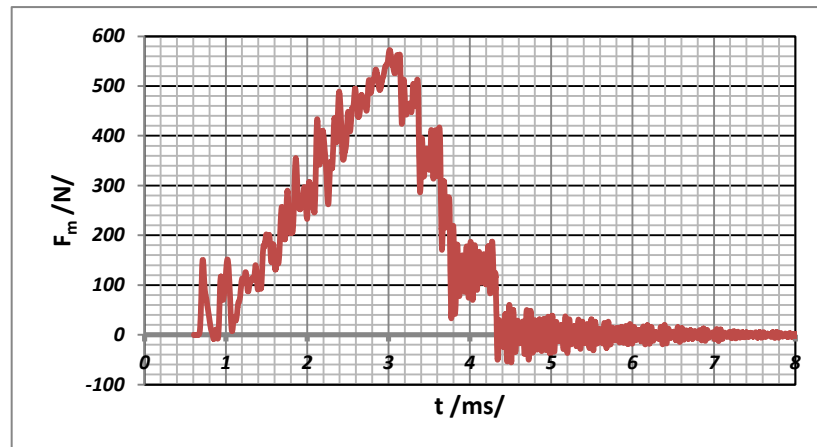


Obr. 44: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PBT v etylenglykolu

Tab. 31: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v etylenglykolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	611,41	0,62	0,65	4,89	20,17
$s$	8,21	0,02	0,03	0,22	0,80

- ethanol

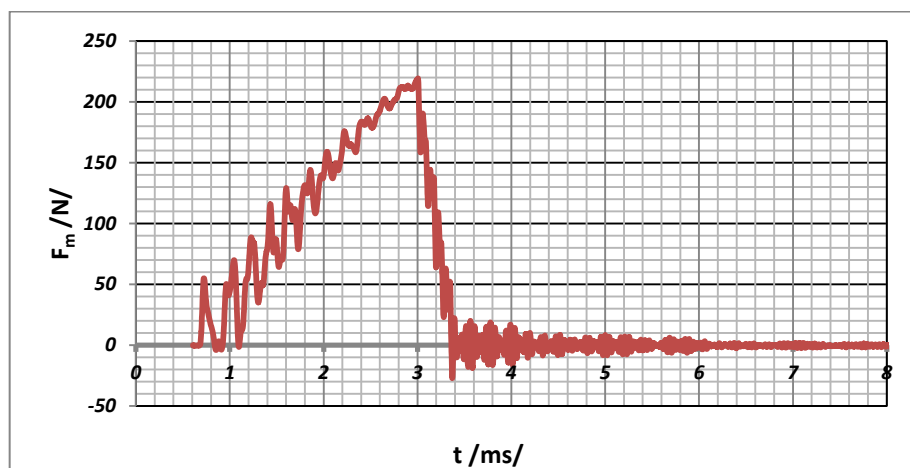


Obr. 45: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PBT v ethanolu

Tab. 32: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v ethanolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	649,85	0,66	0,69	4,55	21,43
$s$	45,06	0,04	0,04	0,37	1,16

- brzdová kapalina



Obr. 46: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PBT v brzdové kapalině

Tab. 33: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v brzdové kapalině.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	224,65	0,26	0,27	6,31	26,26
<i>s</i>	4,76	0,01	0,01	0,09	1,24

- FAM-B

Tab. 34: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v kapalině FAM-B.

<i>n=5</i>	<i>E</i> [J]	<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
<i>x</i>	2,81	7,02
<i>s</i>	0,29	0,72
<i>v</i>	-	-

- B30

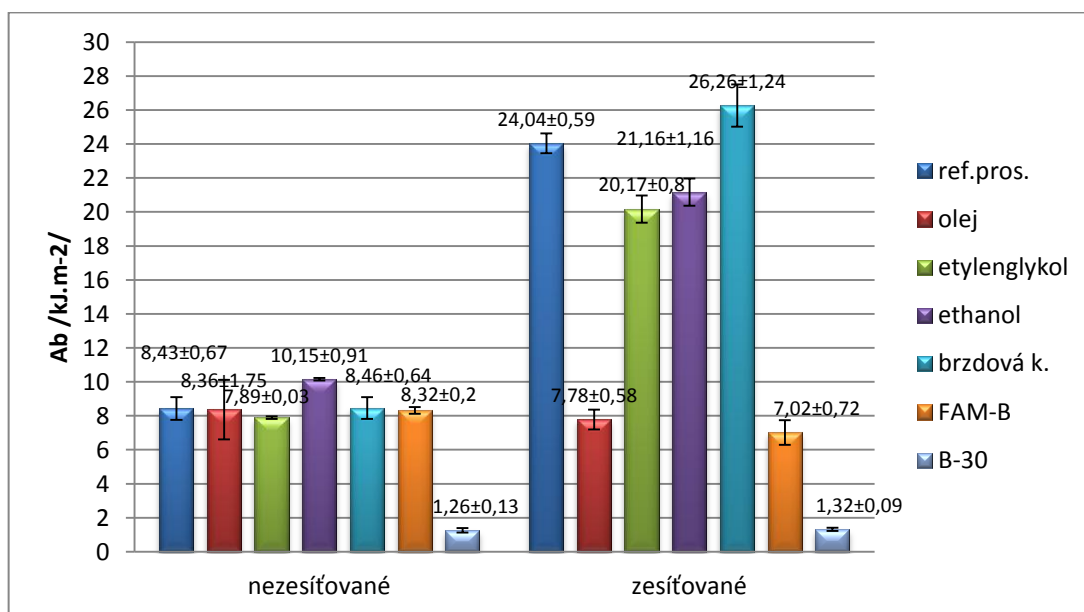
Tab. 35: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v bionaftě B30.

<i>n=5</i>	<i>E</i> [J]	<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
<i>x</i>	0,53	1,32
<i>s</i>	0,04	0,09
<i>v</i>	6,99	6,99



### 13.1.1 Vyhodnocení POLYBUTYLEN TEREFTHALAT V-PTS-CREATEC-B3HZC \*M800/25 natur

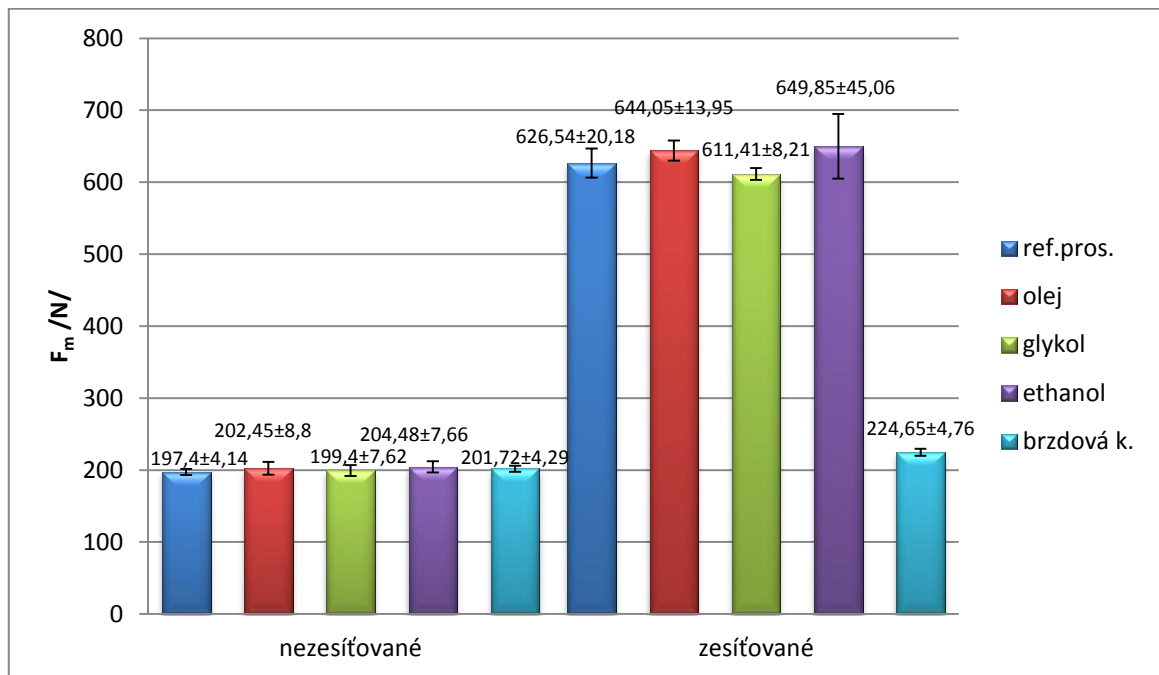
Rázová houževnatost u materiálu PBT nebyla vlivem vybraných zkušebních kapalin výrazněji změněna. Pouze u dvou kapalin došlo ke změnám. Nemrznoucí směs do ostřikovačů na bázi ethanolu způsobila nabotnění materiálu a tím zvýšila jeho rázovou houževnatost přibližně o 17% z hodnoty referenčního vzorku. Ovšem u vzorku naloženého v bionaftě B30 došlo k snížení rázové houževnatosti až na 15% hodnoty referenčního vzorku. Zesíťování PBT vedlo k nárůstu rázové houževnatosti na 285% původní hodnoty referenčního nezesíťovaného PBT. U motorového oleje nastal pokles hodnoty rázové houževnatosti přibližně na hodnotu neozářeného PBT, hodnota byla o 7% nižší než u nezesíťovaného PBT naloženého v motorovém oleji. U tělísek zesíťovaného PBT naložených v oleji již nedochází k nabotnění, ale k poklesu rázové houževnatosti o 12% oproti referenčnímu vzorku. Podobně jako u působení etylenglykolu, kde byl pokles 16%. K nabotnění přichází u tělísek naložených v brzdové kapalině, tím se zvyšuje rázová houževnatost o 8,5%. U agresivních kapalin FAM-B a B30 došlo k výraznému poklesu hodnot téměř až na úroveň nezesíťovaného materiálu. Hodnota byla u B30 vyšší o 5% u zesíťovaného a u kapaliny FAM-B ještě o 18% nižší než hodnoty neozářených vzorků.



Obr. 47: Rázová houževnatost PBT.

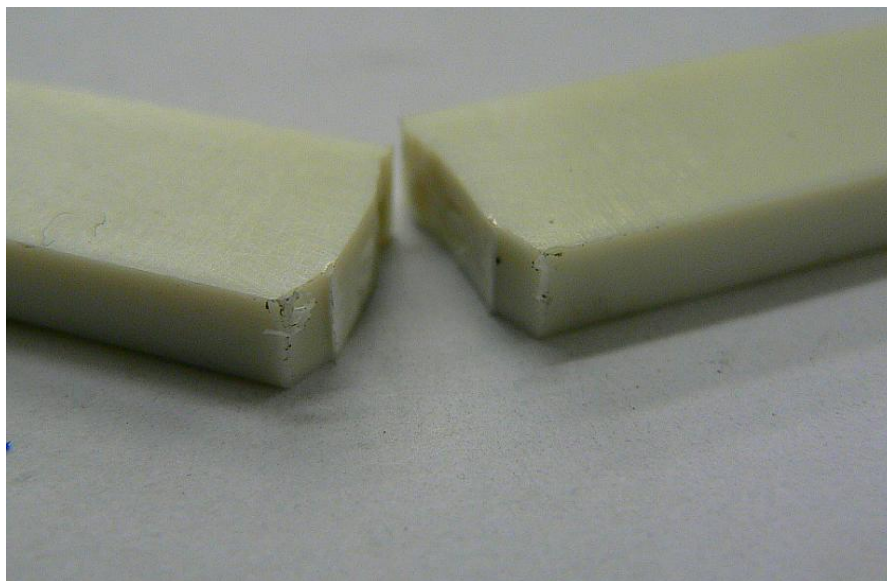
Měření maximální rázové síly ukázalo, že tato hodnota se u nezesíťovaných tělísek nemění v závislosti na použité kapalině. Hodnota síly se pohybovaly v rozmezí maximálně

+4,5% z původní hodnoty referenčních vzorků. Podobně jako u nezesítovaných materiálů byla hodnota maximální rázové síly na úrovni referenčních vzorků (-2,5% až +4,5%). Výrazný pokles nastal pouze u PBT naložených v brzdové kapalině. Pokles z hodnoty referenčního zesítovaného materiálu byl 35,8% a v porovnání s nezesítovaným vzorkem vystaveným stejné kapalině byla tato hodnota o 11,4% vyšší,

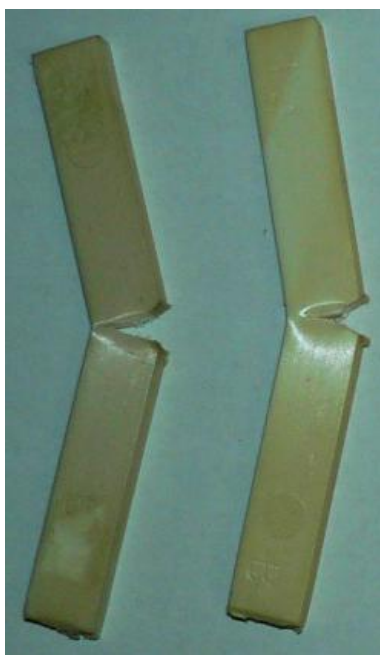


Obr. 48: Síla při maximální špičce PBT.

U tělísek nastal lom kompletní a tvárný, u všech kapalin a to i u ozářených tělísek. Pouze u tělísek naložených v kapalině FAM-B nebyla tělíska přeražena úplně. Jednalo se o typ přeražení P-částečné (Obr. 49, 50).



Obr. 49: Lom zkušebního tělíska z PBT.

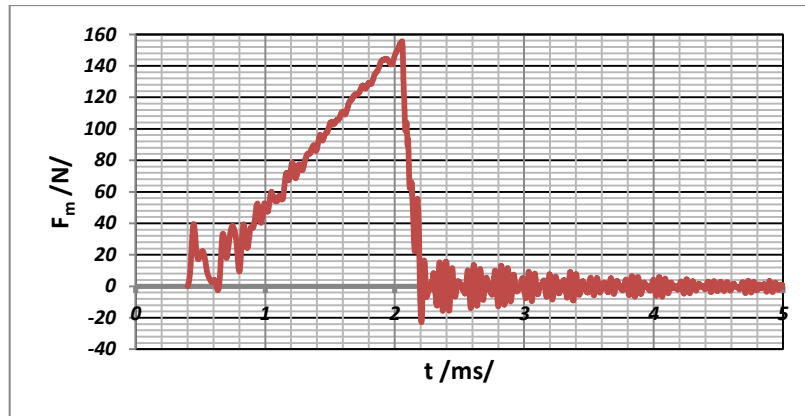


Obr. 50: Lom zkušebních tělísek naložených ve FAM-B.  
(nezesíťované PBT vlevo, zesíťované PBT vpravo)

**13.2 POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD \*M800/13  
natur (PA12)**

*Neozářené*

- referenční prostředí

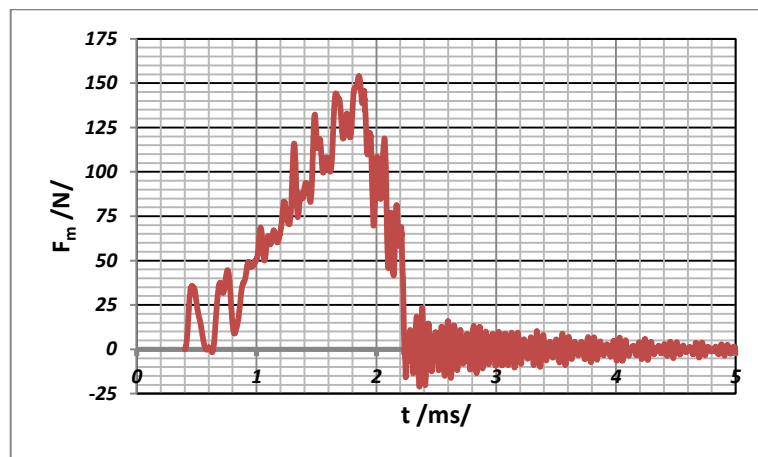


Obr. 51: Graf síly v závislosti na čase PA12 v referenčním prostředí

Tab. 36: Rázová houževnatost PA12 v referenčním prostředí.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	165,74	0,12	0,12	5,19	4,43
<i>s</i>	7,84	0,04	0,04	0,06	0,11

- motorový olej

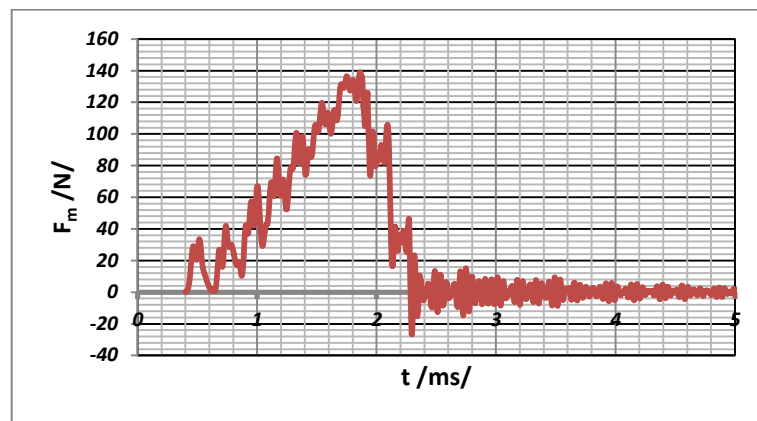


Obr. 52: Graf síly v závislosti na čase PA12 v motorovém oleji.

Tab. 37: Rázová houževnatost PA12 v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	179,91	0,12	0,14	5,16	4,42
$s$	25,22	0,05	0,02	0,04	0,73

- etylenglykol

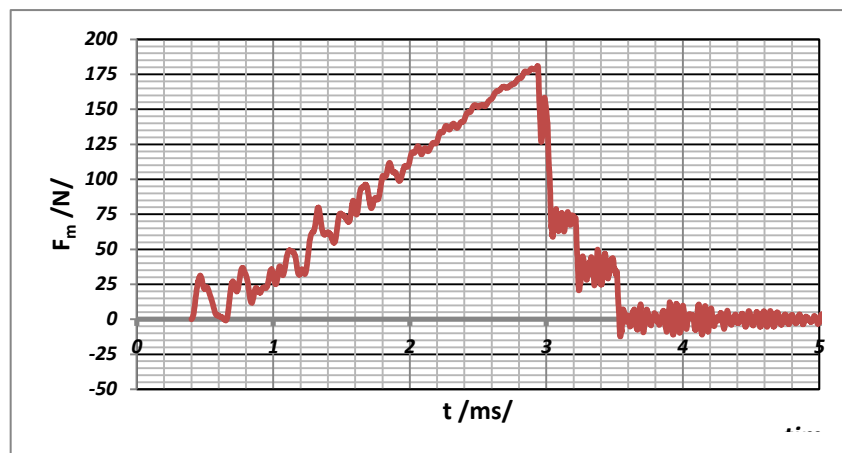


Obr. 53: Graf síly v závislosti na čase PA12 v etylenglykolu.

Tab. 38: Rázová houževnatost PA12 v etylenglykolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	163,37	0,12	0,13	5,17	4,15
$s$	8,23	0,02	0,02	0,03	0,52

- ethanol

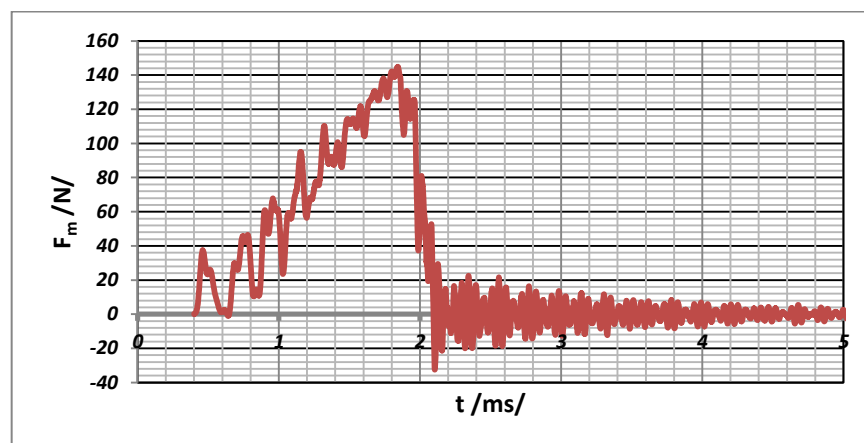


Obr. 54: Graf síly v závislosti na čase PA12 v ethanolu.

Tab. 39: Rázová houževnatost PA12 v ethanolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	196,02	0,26	0,27	5,02	8,80
$s$	8,22	0,02	0,02	0,04	0,89

- brzdová kapalina



Obr. 55: Graf síly v závislosti na čase PA12 v brzdové kapalině.

Tab. 40: Rázová houževnatost PA12 v brzdové kapalině.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [J]	
$x$	166,90	0,12	0,13	5,17	3,57
$s$	7,38	0,01	0,01	0,02	1,30

- FAM-B

Tab. 41: Rázová houževnatost PA12 v kapalině FAM-B.

$n=5$	$E$ [J]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
$x$	2,19	5,48
$s$	0,18	0,45
$v$	8,27	8,27

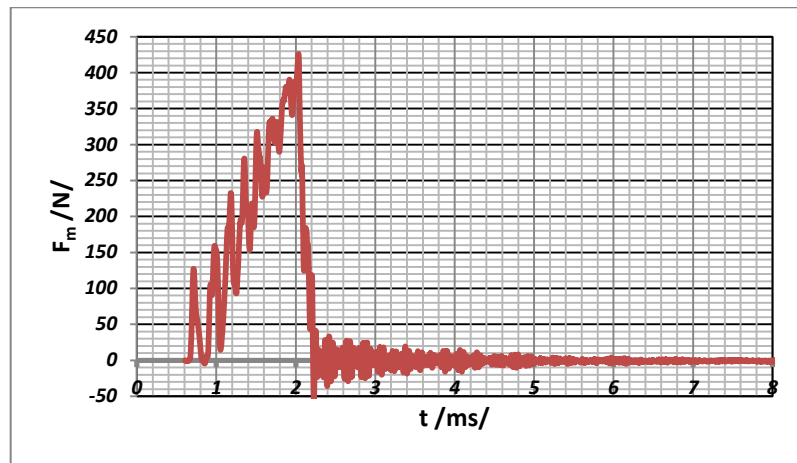
- B30

Tab. 42: Rázová houževnatost PA12 v bionaftě B30.

$n=5$	$E$ [J]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
$x$	0,29	0,73
$s$	0,02	0,06
$v$	8,30	8,30

**Ozářené:**

- referenční prostředí

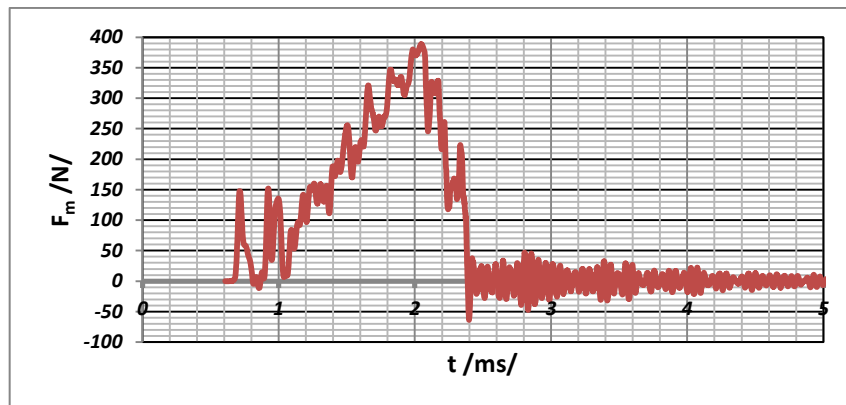


Obr. 56: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA12 v referenčním prostředí.

Tab. 43: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v referenčním prostředí.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	457,64	0,27	0,29	6,88	10,11
<i>s</i>	30,38	0,01	0,01	0,07	0,50

- motorový olej



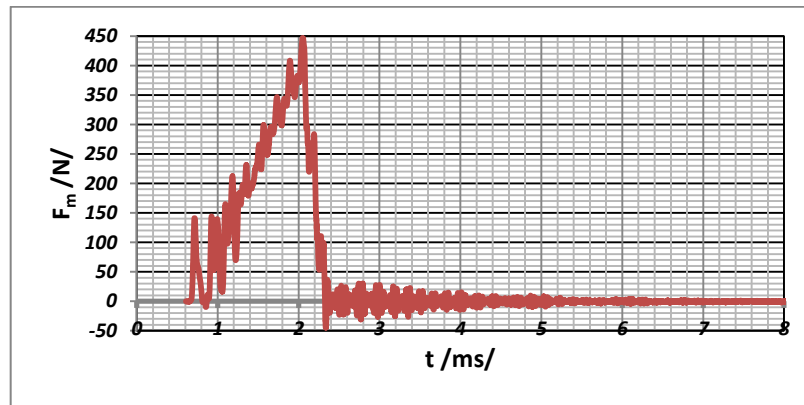
Obr. 57: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA12 v motorovém oleji.



Tab. 44: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	462,81	0,29	0,30	6,80	9,02
$s$	19,10	0,01	0,01	0,03	1,07

- etylenglykol

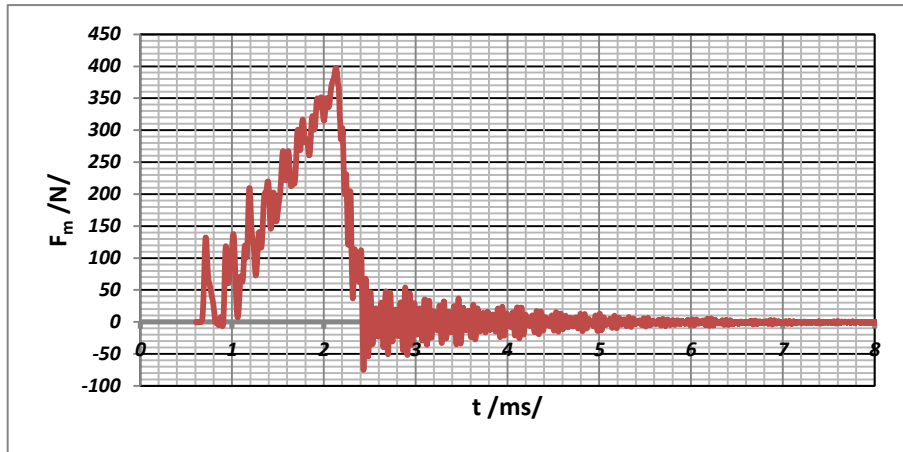


Obr. 58: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA12 etylenglykolu.

Tab. 45: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v etylenglykolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	472,64	0,30	0,31	6,65	10,18
$s$	16,45	0,02	0,02	0,21	0,64

- ethanol

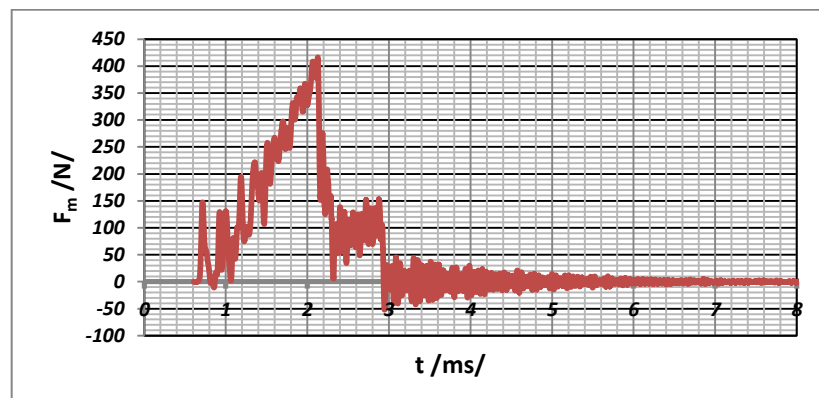


Obr. 59: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA12 v ethanolu.

Tab. 46: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v ethanolu.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	415,80	0,29	0,30	6,81	9,45
<i>s</i>	21,54	0,02	0,03	0,13	0,81

- brzdová kapalina



Obr. 60: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA12 v brzdové kapalině.

Tab. 47: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v brzdové kapalině.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	486,26	0,32	0,33	6,64	10,43
<i>s</i>	83,59	0,08	0,08	0,36	2,39

- FAM-B

Tab. 48: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v kapalině FAM-B.

<i>n=5</i>	<i>E</i> [J]	<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
<i>x</i>	1,93	4,83
<i>s</i>	0,18	0,45
<i>v</i>	9,27	9,27

- B30

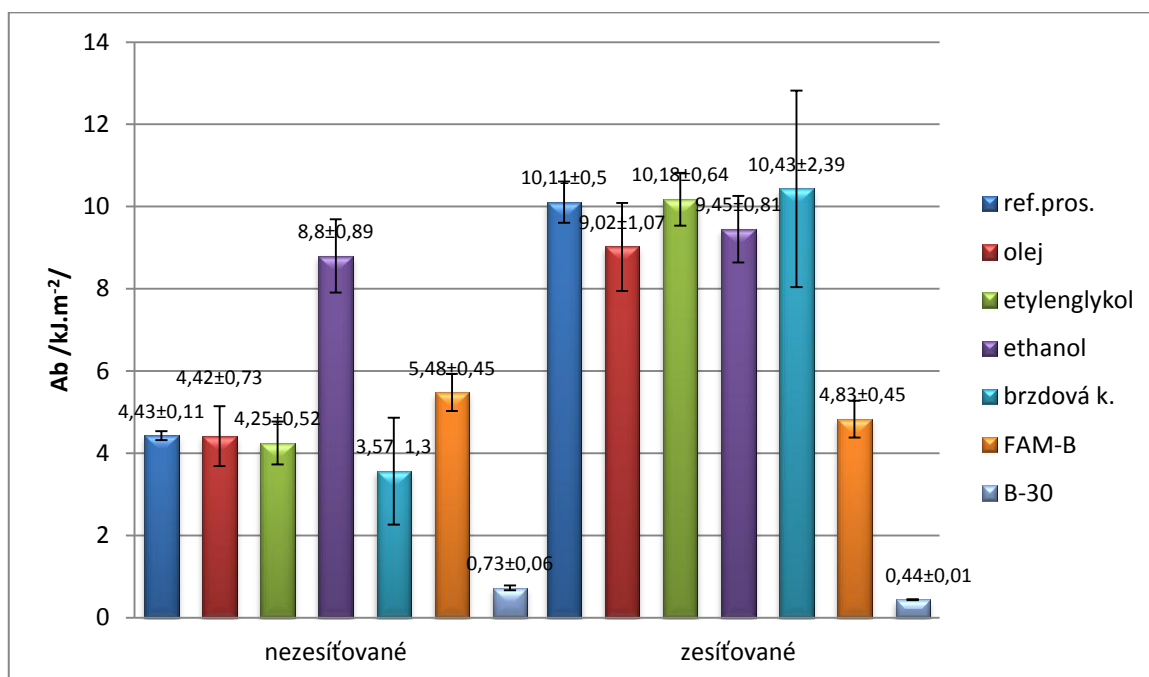
Tab. 49: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v bionaftě B30.

<i>n=5</i>	<i>E</i> [J]	<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
<i>x</i>	0,18	0,44
<i>s</i>	0,01	0,01
<i>v</i>	-	-

### 13.2.1 Vyhodnocení POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD \*M800/13 natur

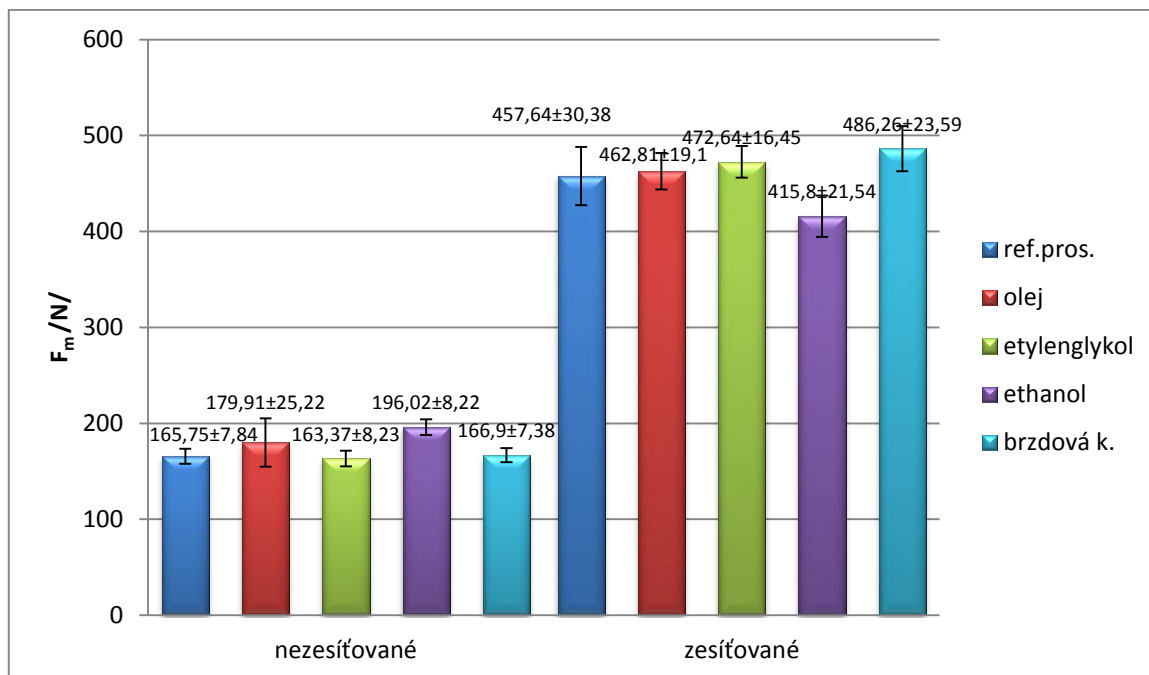
Rázová houževnatost vzorků PA12 naložených v motorovém oleji a etylenglykolu v porovnání s referenčním vzorkem zůstala přibližně nezměněna. U tělísek naložených v ethanolové kapalině došlo k naboštění a tím k zvýšení rázové houževnatosti až o 98%. Zvýšení hodnot houževnatosti bylo změřeno i u působení kapaliny FAM-B (23,7%). Další kapaliny naopak rázovou houževnatost zmenšili (brzdová kapalina přibližně o 20%, bionafta B30 až o 83,5%).

Zesíťování PA12 vedlo ke 2,3 násobnému zvýšení rázové houževnatosti v porovnání s referenčním nezesíťovaným vzorkem. Rázová houževnatost zůstala podobně jako u nezesíťovaných vzorků nezměněna u etylenglykolu. Zesíťováním se zlepšila odolnost materiálu PA12 vůči působení brzdové kapaliny. Materiál v ethanolové kapalině změnil hodnoty rázové houževnatosti o - 6,5% v porovnání s referenčním zesíťovaným vzorkem. Ovšem stejný materiál nezesíťovaný vystavený působení ethanolové kapaliny měl o 7% nižší hodnotu rázové houževnatosti. Ke zhoršení došlo u materiálu, který byl naložen v motorovém oleji (-11%), v kapalině FAM-B (-52,3%) a bionaftě B30 (-95,7%). U motorového oleje byla hodnota snížena, ale v porovnání s nezesíťovanými vzorky naloženými v této kapalině byla hodnota pořád přibližně o 100% vyšší. Zesíťované materiály, které byly vystaveny působení kapaliny FAM-B a bionaftě B30, měli rázovou houževnatost nižší než vzorky nezesíťované (FAM-B -13,5%, B30 -40%).



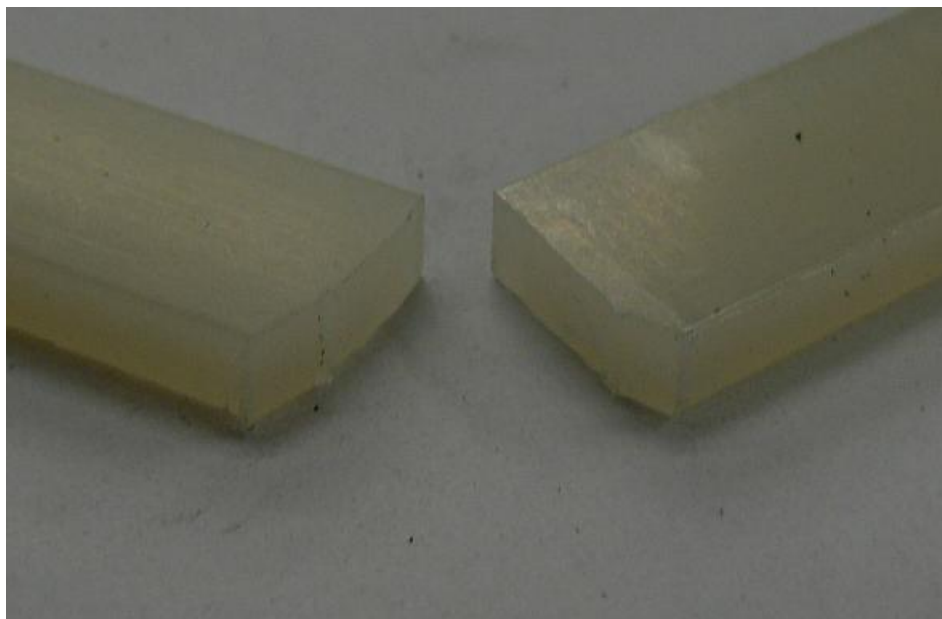
Obr. 61: Graf rázové houževnatosti PA12.

Při vyhodnocování maximální rázové síly se neobjevili žádné výraznější odchylky. U nezesíťovaných vzorků se hodnoty pohybovali od -2,5% (etylenglykol) po +8% (ethanol). U zesíťovaných referenčních vzorků byla hodnota síly o 176% vyšší než hodnota nezesíťovaných referenčních vzorků. Další vzorky vystavené působení kapalin zaznamenali mírný nárůst hodnot (do 6,25%). Jediný pokles byl naměřen u vzorků v kapalině na bázi ethanolu (-9,2%).



Obr. 62: Graf síly při maximální špičce PA12.

Lom u tělísek z materiálu PA12 byl tvárný úplný. U tělísek naložených v ethanolové kapalině nastalo neúplné přeražení bez zbytkové pevnosti, tzv. přeražení typu H – kloubové. U tělísek naložených v kapalině FAM-B nastalo také neúplné přeražení, ovšem tady byla zbytková pevnost v spojení a typ přeražení P – částečné, u tělísek zesíťovaných. Tělíska zůstaly také nepřeraženy, ovšem spojení bylo bez zbytkové pevnosti, kloubové typ H. (obr. 63,64)



Obr. 63: Lom zkušebního tělíska z PA12

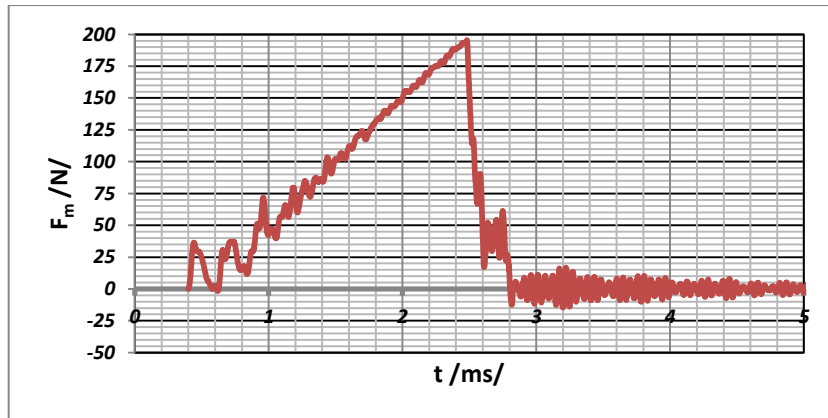


Obr. 64: Lom zkušebních tělísek naložených ve FAM-B  
(nezesíťované PA12 vlevo, zesíťované PA12 vpravo)

### 13.3 POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T \*M600/13 transparent (PA11)

#### Neozářené

- referenční prostředí

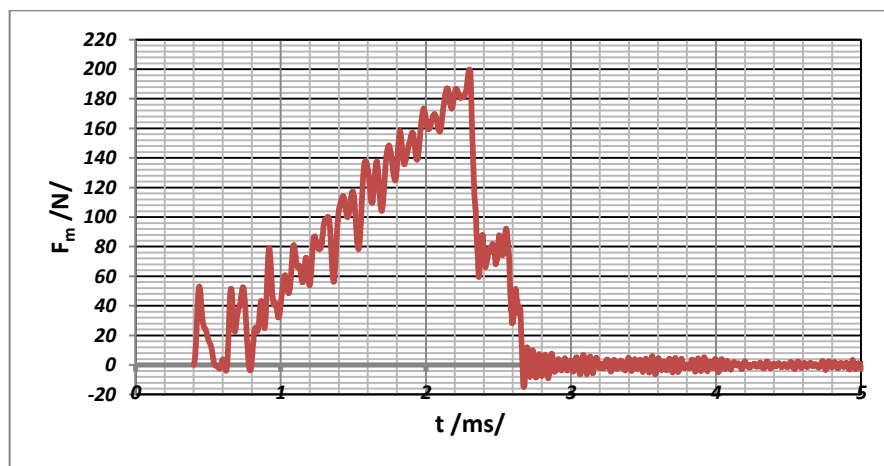


Obr. 65: Graf síly v závislosti na čase PA11 v referenčním prostředí.

Tab. 50: Rázová houževnatost PA11 v referenčním prostředí.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	206,75	0,22	0,23	5,04	7,28
$s$	10,61	0,01	0,01	0,02	0,53

- motorový olej

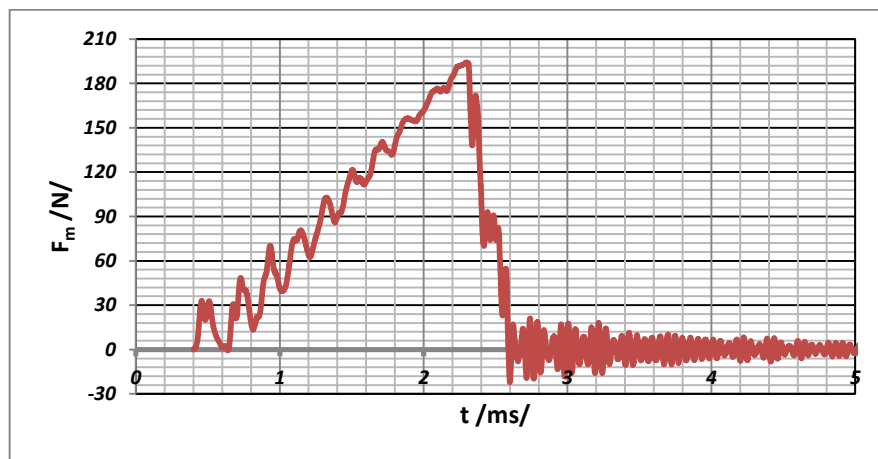


Obr. 66: Graf síly v závislosti na čase PA11 v motorovém oleji.

Tab. 51: Rázová houževnatost PA11 v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	209,51	0,20	0,21	5,05	6,65
$s$	9,68	0,01	0,01	0,01	0,26

- etylenglykol



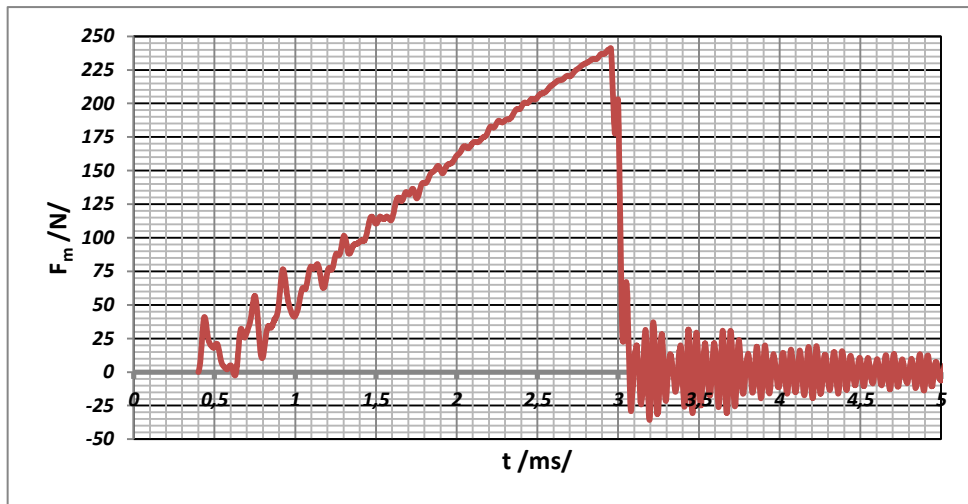
Obr. 67: Graf síly v závislosti na čase PA11 v etylenglykolu.

Tab. 52: Rázová houževnatost PA11 v etylenglykolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	208,88	0,21	0,21	5,05	6,79
$s$	2,62	0,01	0,01	0,02	0,32



- ethanol

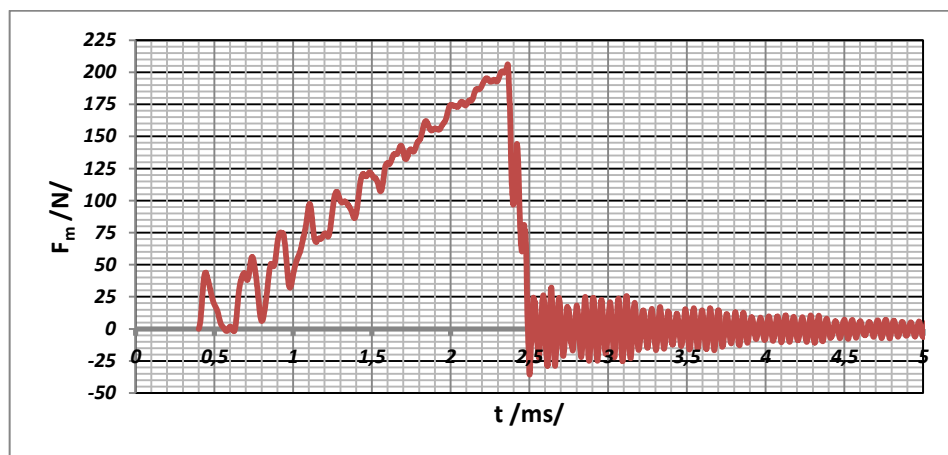


Obr. 68: Graf síly v závislosti na čase PA11 v ethanolu.

Tab. 53: Rázová houževnatost PA11 v ethanolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	246,32	0,33	0,34	4,89	9,83
$s$	7,64	0,01	0,01	0,02	1,55

- brzdová kapalina



Obr. 69: Graf síly v závislosti na čase PA11 v brzdové kapalině.

Tab. 54: Rázová houževnatost PA11 v brzdové kapalině.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	211,88	0,21	0,22	5,03	7,41
$s$	4,58	0,01	0,00	0,01	0,96

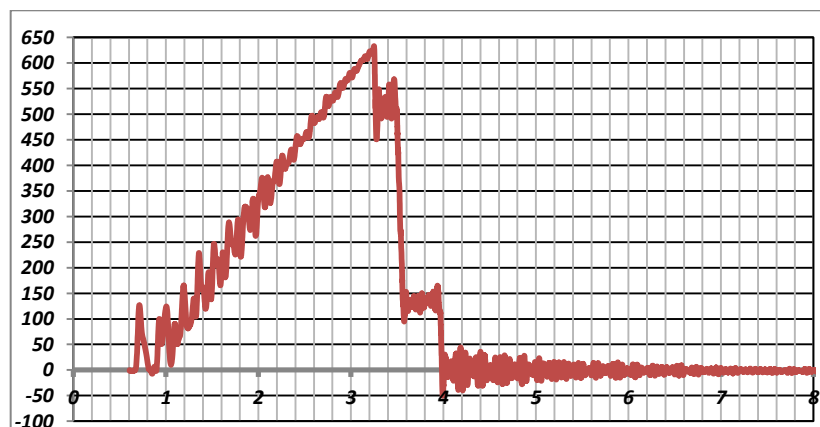
- FAM-B  
neměřitelné - podrobněji ve vyhodnocení
- B30

Tab. 55: Rázová houževnatost PA11 v bionaftě B30.

$n=5$	$E$ [J]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
$x$	0,29	0,73
$s$	0,02	0,06
$v$	8,30	8,30

**Ozářené:**

- referenční prostředí

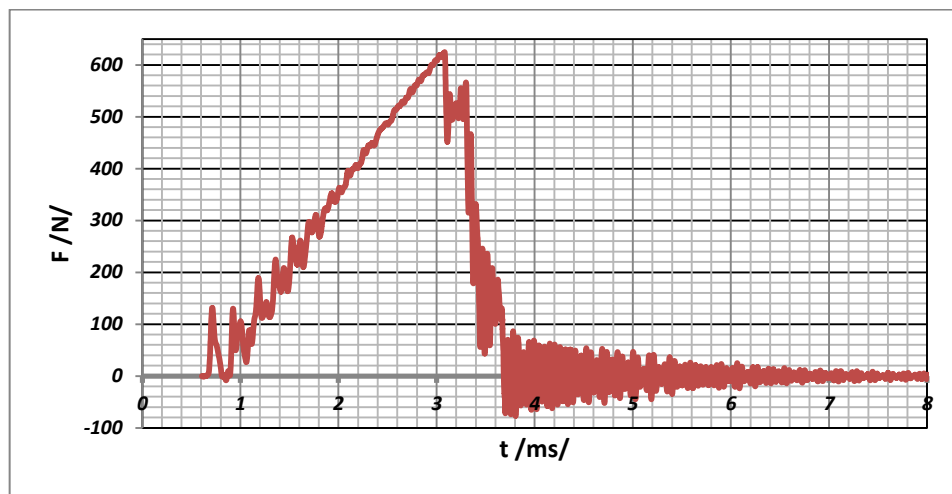


Obr. 70: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA11 v referenčním prostředí.

Tab. 56: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v referenčním prostředí.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	692,20	0,72	0,72	4,62	25,87
<i>s</i>	21,66	0,03	0,03	0,21	0,89

- motorový olej

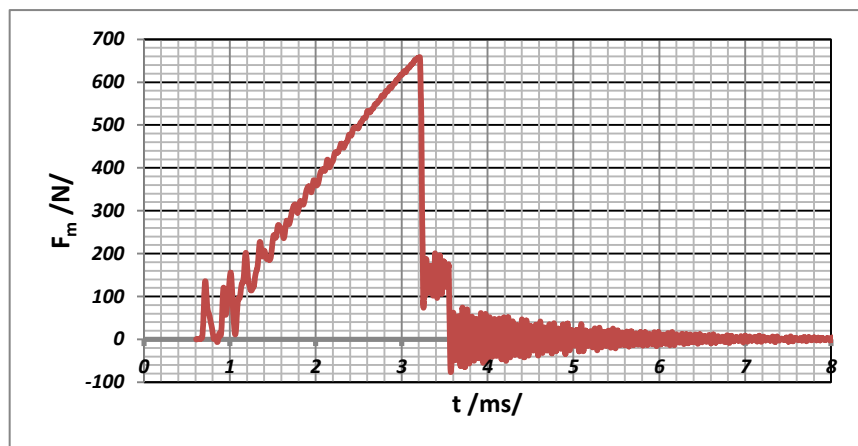


Obr. 71: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA11v motorovém oleji.

Tab. 57: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v motorovém oleji.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	689,05	0,66	0,67	4,51	20,34
<i>s</i>	36,02	0,03	0,03	0,32	0,68

- etylenglykol

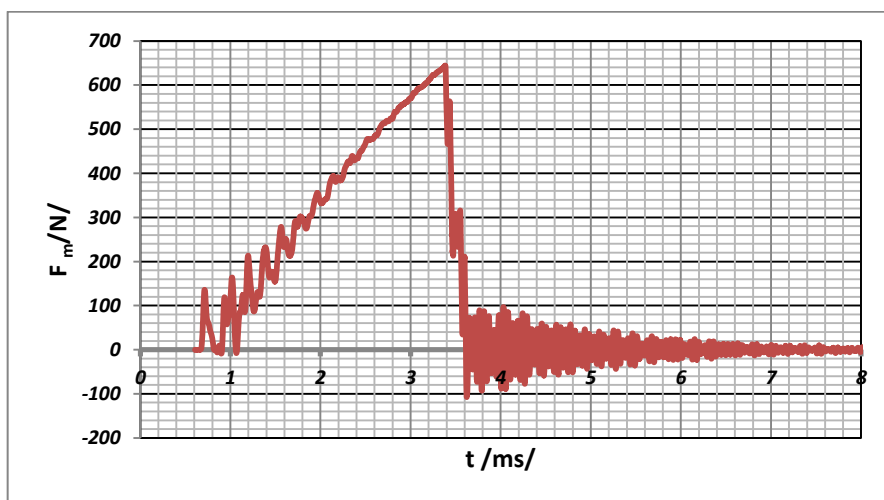


Obr. 72: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA11 v etylenglykolu

Tab. 58: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v etylenglykolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$A_b$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	685,90	0,66	0,67	4,61	20,87
$s$	56,64	0,03	0,03	0,41	0,99

- ethanol

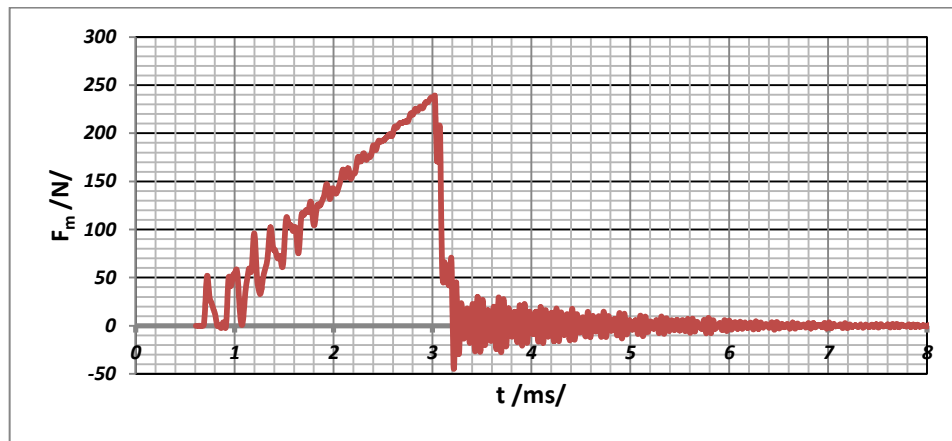


Obr. 73: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA11 v ethanolu.

Tab. 59: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v ethanolu.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab [kJ.m<sup>-2</sup>]</i>
	<i>F<sub>m</sub> [N]</i>	<i>E<sub>m</sub> [J]</i>	<i>E [J]</i>	<i>max. průhyb [mm]</i>	
<i>x</i>	664,72	0,68	0,68	4,43	21,32
<i>s</i>	19,08	0,02	0,02	0,24	0,65

- brzdová kapalina



Obr. 74: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA11 v brzdové kapalině.

Tab. 60: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v brzdové kapalině.

<i>n=5</i>	<i>maximální síla</i>		<i>maximální průhyb</i>			<i>Ab[kJ.m<sup>-2</sup>]</i>
	<i>F [N]</i>	<i>E [J]</i>	<i>F [N]</i>	<i>E [J]</i>	<i>max. průhyb [mm]</i>	
<i>x</i>	245,20	0,27	-4,64	0,27	6,31	25,92
<i>s</i>	6,59	0,01	2,92	0,01	0,10	1,07

- FAM-B

neměřitelné - podrobněji ve vyhodnocení

- B30

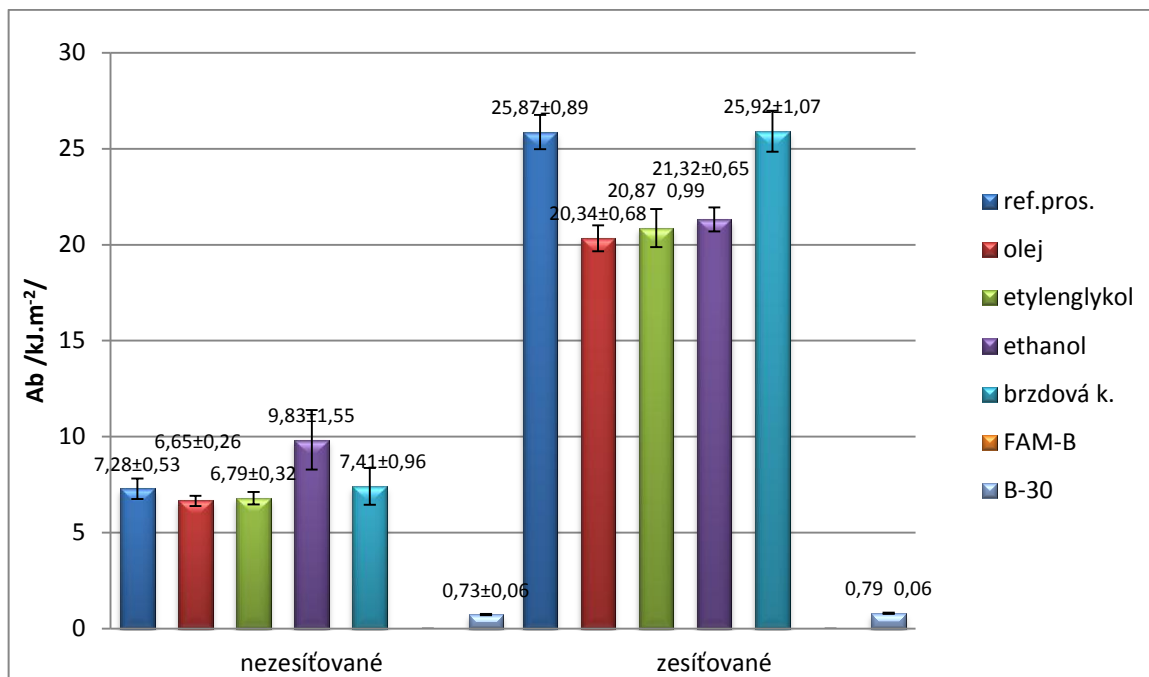
Tab. 61: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v bionaftě B30.

$n=5$	$E$ [ J ]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
x	0,32	0,79
s	0,02	0,06
v	7,39	7,39

### 13.3.1 Vyhodnocení POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T \*M600/13 transparent (PA 11)

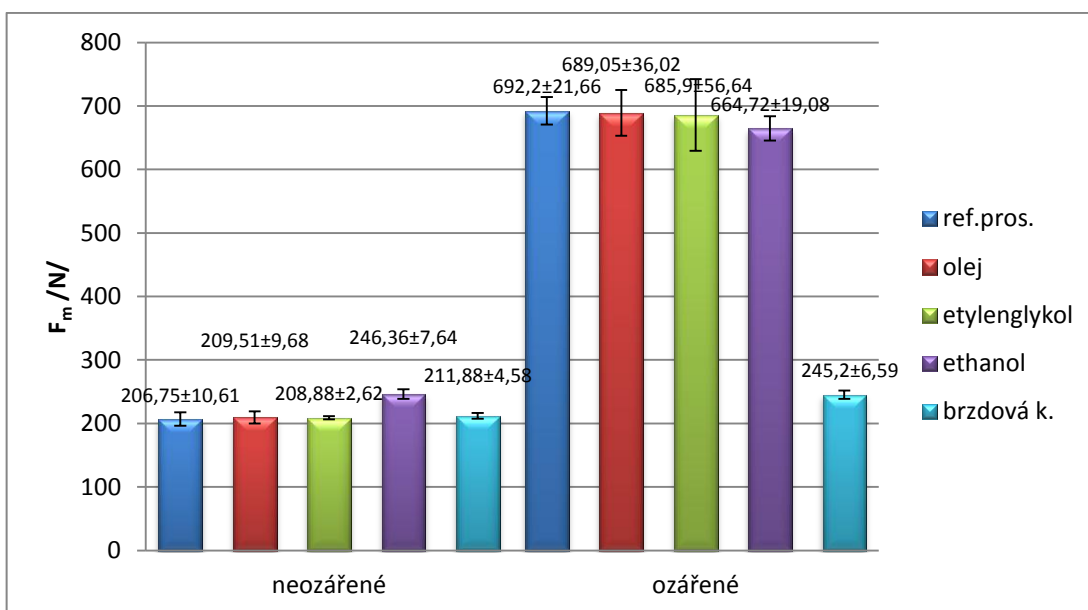
U měření rázové houževnatosti se hodnoty pohybovaly od -8,7% (motorový olej) do +2% (brzdová kapalina) v porovnání s referenčním nezesíťovaným vzorkem. U kapaliny na bázi ethanolu bylo naměřeno zlepšení houževnatosti o 35%. U vzorků naložených v testovací kapalině FAM-B měření neproběhlo z důvodu jejich destrukce, celkového narušení struktury. Povrch vzorku byl popraskaný a jádro získalo elastické vlastnosti (Obr. 78). Jako materiál s nízkou odolností se PA11 ukázal i u působení bionafty B30, kde byl pokles rázové houževnatosti o 90%.

Zesíťováním se rázová houževnatost zvýšila na 355% původní hodnoty nezesíťovaných vzorků. Působení kapalin na ethanolové bázi, etylenglykol a motorového oleje vyvolalo snížení hodnot rázové houževnatosti okolo 20%. U brzdové kapaliny zůstaly hodnoty nezměněny v porovnání s referenčním zesíťovaným materiálem. Jako u nemodifikovaných vzorků se materiál ukázal chemicky nestálý vůči působení bionafty B30 i modifikovaný polymer PA11. Za působení kapaliny FAM-B se ovšem síťování projevilo. Tělíska byla matná neprůhledná a měla vysoce elastické vlastnosti. V porovnání se zesíťovaným materiálem ovšem nebyl povrch popraskán, ale byl vcelku bez viditelných vad.



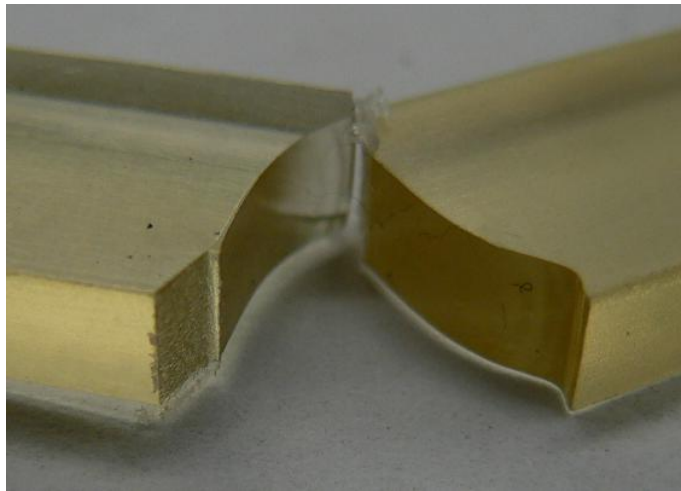
Obr. 75: Graf rázové houževnatosti PA11.

U maximální rázové síly nezesíťovaných materiálů nebyly zaznamenány žádné větší změny. Pouze u ethanolu byla rázová síla vyšší o 19% od referenčních vzorků. Změny nebyly výrazněji patrné ani u modifikovaných materiálů, kde se pohybovaly maximálně 4% pod hodnotou referenčních vzorků. Jediná výraznější změna byla u materiálů naložených v brzdové kapalině, kde byla maximální rázová síla 65% pod úrovní referenčního vzorku.



Obr. 76: Graf síly při maximální špičce PA12.

Přeražení u tělísek z materiálu PA11 bylo kompletní s křehkým lomem. U tělísek naložených v bionaftě B30 nastalo neúplné přeražení se zbytkovou pevností, tzv. přeražení typu P – částečné. U tělísek naložených v kapalině FAM-B nebyly tělíska testována kvůli jejich absolutní destrukci (Obr. 78).



Obr. 77: Lom zkušebního tělíska z PA11.



Obr. 78: Lom zkušebních tělísek naložených ve FAM-B.

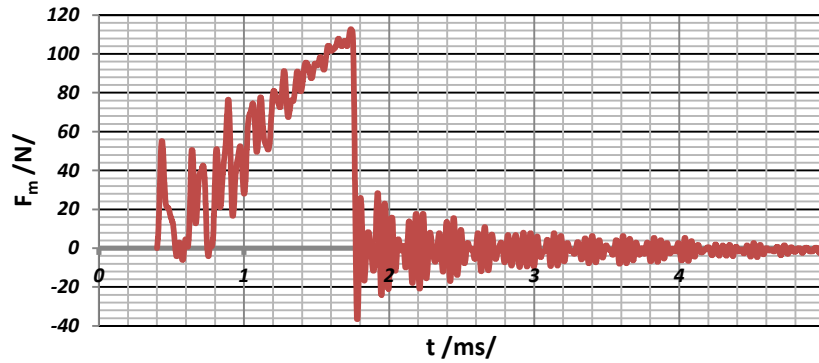
*(nezesíťované PA11 vlevo, zesíťované PA11 vpravo)*



### 13.4 POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E DOW (HDPE)

Neozářené

- referenční prostředí

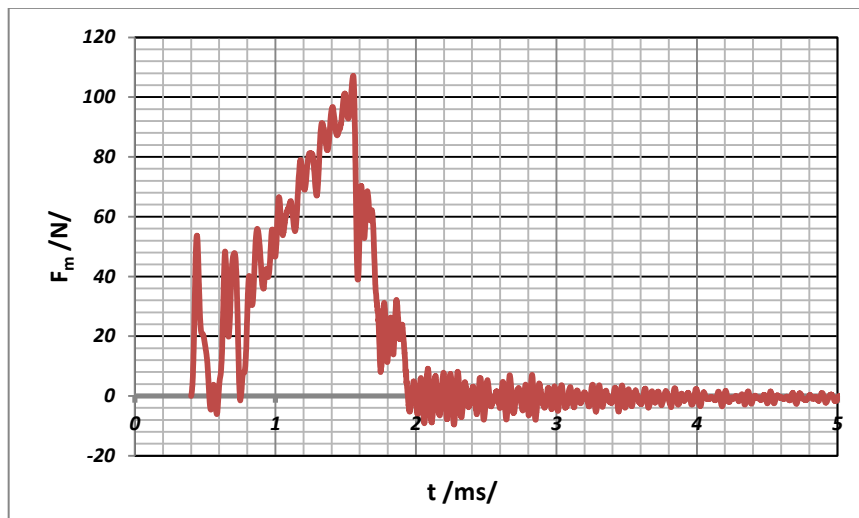


Obr. 79: Graf síly v závislosti na čase HDPE v referenčním prostředí.

Tab. 62: Rázová houževnatost HDPE v referenčním prostředí.

n=5	maximální špička		maximální průhyb		Ab [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	F <sub>m</sub> [N]	E <sub>m</sub> [J]	E [J]	max. průhyb [mm]	
x	112,69	0,07	0,07	5,00	2,22
s	0,00	0,03	0,03	0,53	1,02

- motorový olej

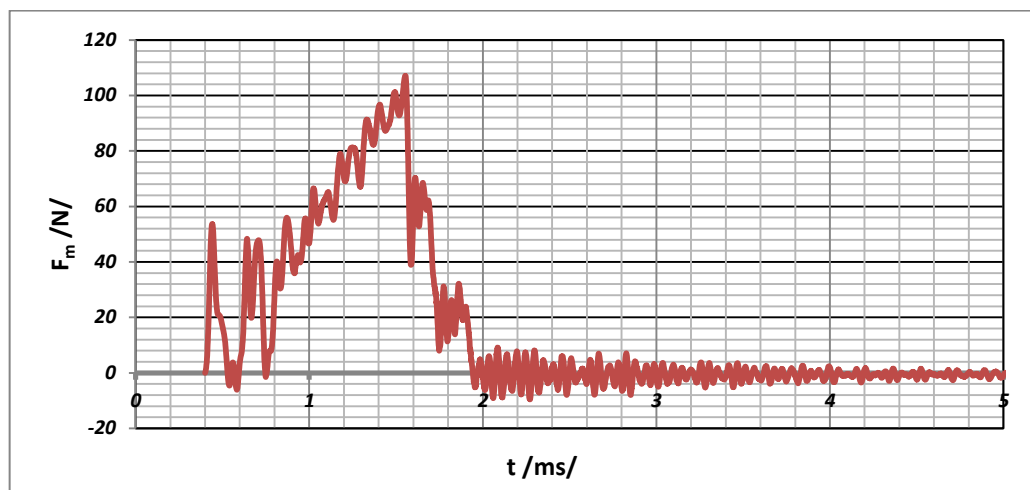


Obr. 80: Graf síly v závislosti na čase HDPE v motorové oleji.

Tab. 63: Rázová houževnatost HDPE v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	114,62	0,08	0,08	5,25	2,49
$s$	6,87	0,01	0,01	0,01	0,20

- etylenglykol

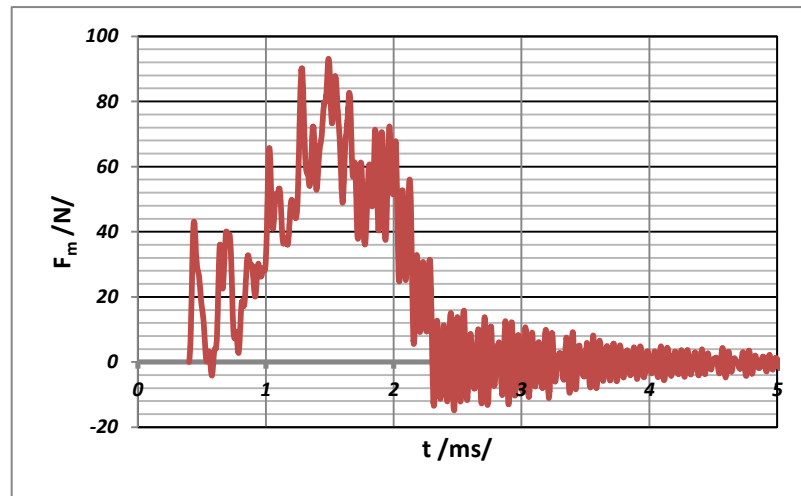


Obr. 81: Graf síly v závislosti na čase HDPE v etylenglykolu.

Tab. 64: Rázová houževnatost HDPE v etylenglykolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	120,67	0,08	0,08	5,23	2,63
$s$	2,88	0,01	0,00	0,01	0,11

- ethanol

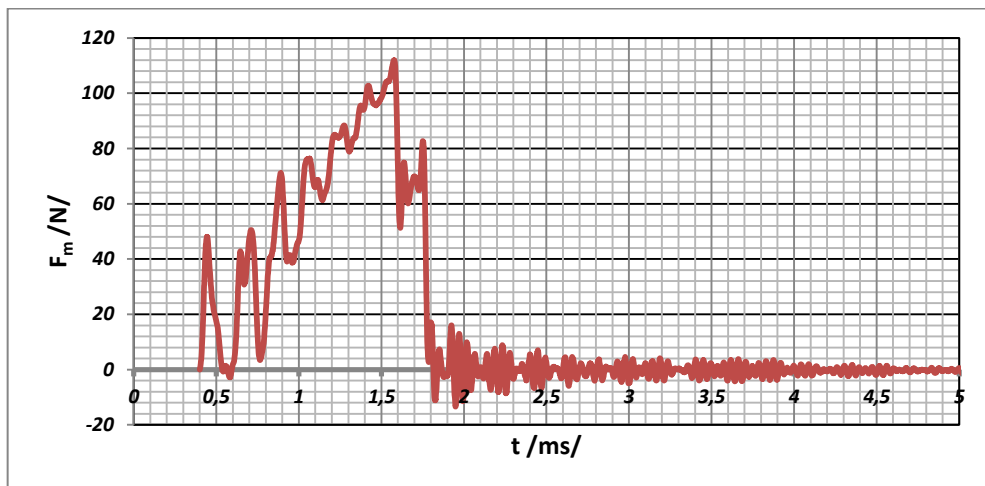


Obr. 82: Graf síly v závislosti na čase HDPE v ethanolu.

Tab. 65: Rázová houževnatost HDPE v ethanolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	120,73	0,06	0,08	5,01	2,58
$s$	15,35	0,03	0,00	0,48	0,12

- brzdová kapalina



Obr. 83: Graf síly v závislosti na čase HDPE v brzdové kapalině.

Tab. 66: Rázová houževnatost HDPE v brzdové kapalině.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	117,23	0,08	0,08	5,20	2,68
<i>s</i>	5,66	0,01	0,01	0,13	0,23

- FAM-B

Tab. 67: Rázová houževnatost HDPE v kapalině FAM-B.

<i>n=5</i>	<i>E</i> [J]	<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
<i>x</i>	0,66	0,69
<i>s</i>	0,02	0,04
<i>v</i>	9,17	5,42

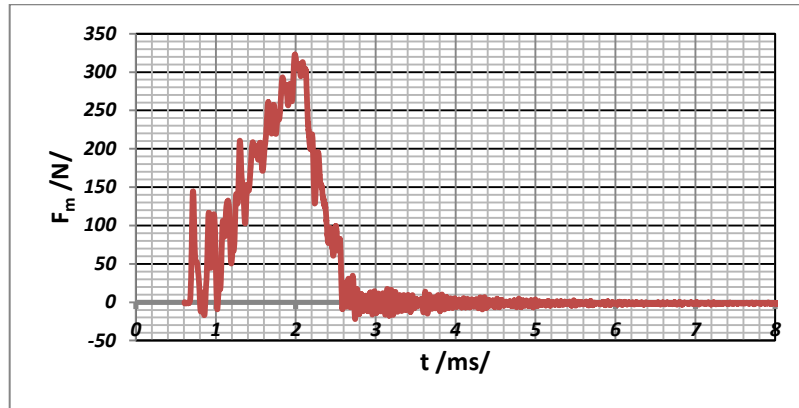
- B30

Tab. 68: Rázová houževnatost HDPE v bionaftě B30.

<i>n=5</i>	<i>E</i> [J]	<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
<i>x</i>	0,32	0,79
<i>s</i>	0,02	0,28
<i>v</i>	35,68	35,68

**Ozářené:**

- referenční prostředí

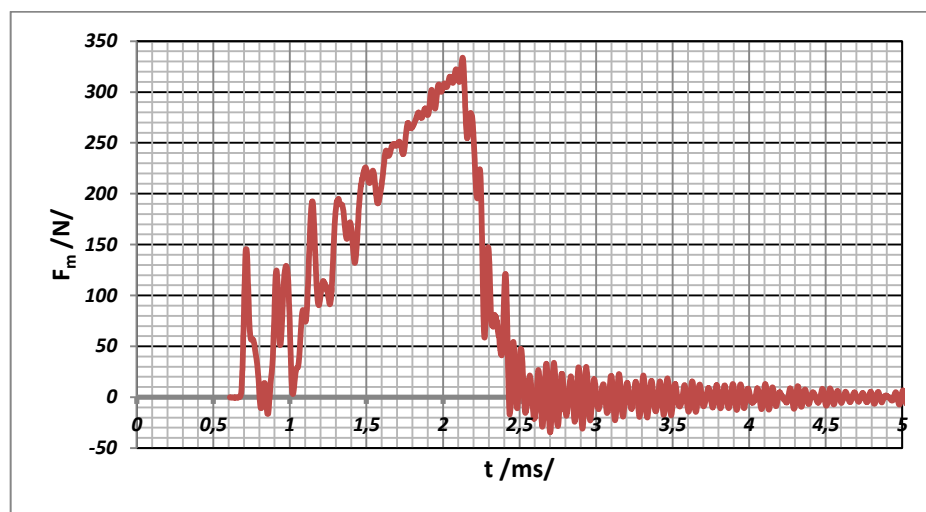


Obr. 84: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného HDPE v referenčním prostředí.

Tab. 69: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v referenčním prostředí.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	353,79	0,26	0,28	6,93	9,90
$s$	13,38	0,02	0,02	0,07	0,64

- olej

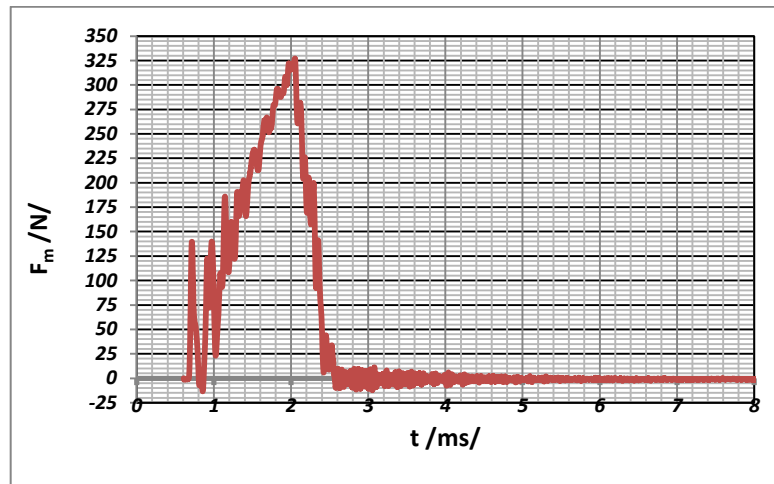


Obr. 85: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného HDPE v motorovém oleji.

Tab. 70: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v motorovém oleji.

$n=5$	maximální síla		maximální průhyb			$Ab[kJ.m^{-2}]$
	$F [N]$	$E [J]$	$F [N]$	$E [J]$	max. průhyb [ mm ]	
$x$	342,07	0,26	-4,92	0,27	6,87	8,63
$s$	6,70	0,02	3,19	0,01	0,06	0,32

- etylenglykol

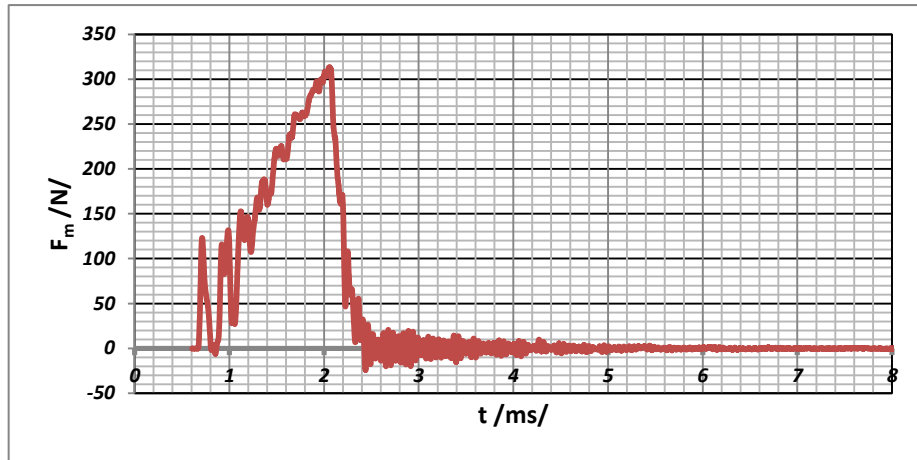


Obr. 86: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného HDPE v etylenglykolu.

Tab. 71: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v etylenglykolu.

$n=5$	maximální špička		maximální průhyb		$Ab [kJ.m^{-2}]$
	$F_m [N]$	$E_m [J]$	$E [J]$	max. průhyb [ mm ]	
$x$	337,62	0,25	0,26	6,94	8,28
$s$	8,49	0,02	0,01	0,04	0,32

- ethanol

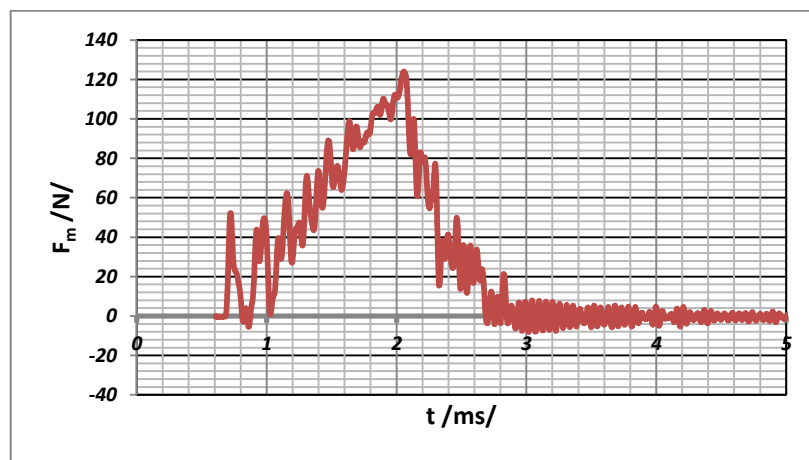


Obr. 87: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného HDPE v ethanolu.

Tab. 72: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v ethanolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	328,46	0,24	0,26	6,89	7,89
$s$	12,30	0,01	0,01	0,14	0,29

- brzdová kapalina



Obr. 88: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného HDPE v brzdové kapalině.

Tab. 73: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v brzdové kapalině.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	133,43	0,09	0,11	7,41	10,60
<i>s</i>	4,63	0,04	0,01	0,05	0,81

- FAM-B

Tab. 74: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v kapalině FAM-B.

<i>n=5</i>	<i>E</i> [J]	<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
<i>x</i>	0,66	1,66
<i>s</i>	0,02	0,05
<i>v</i>	3,14	3,14

- B30

Tab. 75: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v bionaftě.

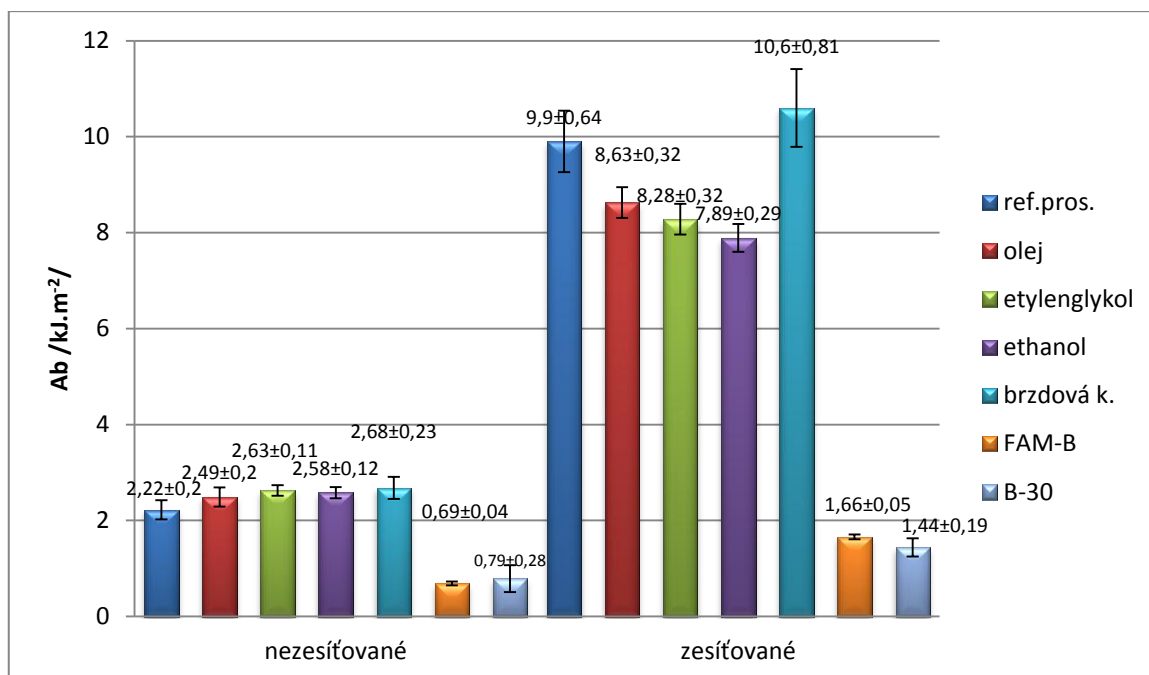
<i>n=5</i>	<i>E</i> [J]	<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
<i>x</i>	0,57	1,44
<i>s</i>	0,08	0,19
<i>v</i>	13,22	13,22



### 13.4.1 Vyhodnocení POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E DOW

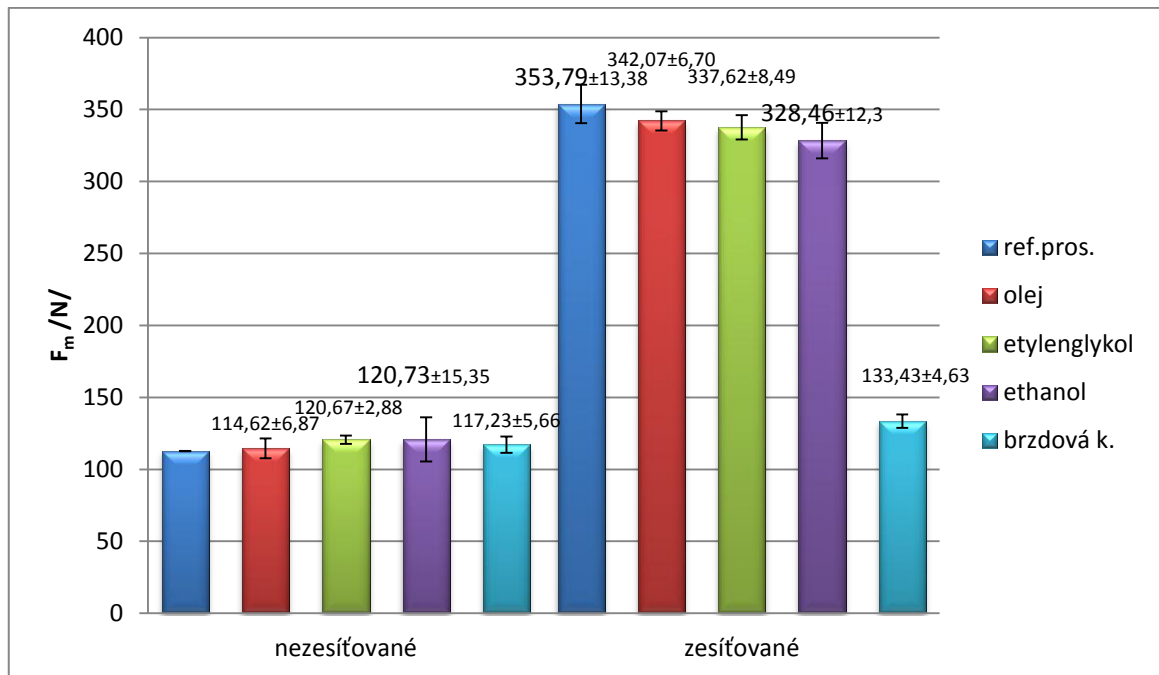
U měření rázové houževnatosti byly hodnoty zvýšeny u motorového oleje o +12%, u dalších naložení (etylenglykol, ethanol, brzdová kapalina) od +16% do 20,7%. U kapalin FAM-B a B30 došlo k poklesu rázové houževnatosti (FAM-B -69%, B30 -65%). Zesíťování vedlo ke zlepšení vlastností u referenčních vzorků na 450% původní hodnoty. Odolnost u dalších kapalin na rozdíl od referenčních vzorků klesala (motorový olej -13%, etylenglykol -17%, ethanol -21% ).

Výraznější pokles byl, zaznamenaná u kapalin FAM-B a bionafty B30 a to o -83% a o -85,5%. Toto zhoršení ovšem nedosáhlo hodnot nižších než u nezesíťovaných. U FAM-B bylo zlepšení o 140%, u bionafty B30 zlepšení o 82% v porovnání s nezesíťovaným materiálem.



Obr. 89: Graf rázové houževnatosti HDPE.

U nezesíťovaných materiálů byl vliv zkušebních kapalin na maximální rázovou sílu minimální. U všech byla hodnota mírně zvýšena nejvíce o 6,7% u etylenglykolu. Podobný byl i průběh u zesíťovaných vzorků HDPE. V porovnání s nemodifikovanými tady přichází ke zhoršení vlastností nejvíce o -7,2%. Vyšší pokles byl pouze u materiálu naloženého v brzdové kapalině, kde maximální rázová síla klesla o -63%, i tak byla v porovnání s nemodifikovanou formou HDPE o 12% vyšší.



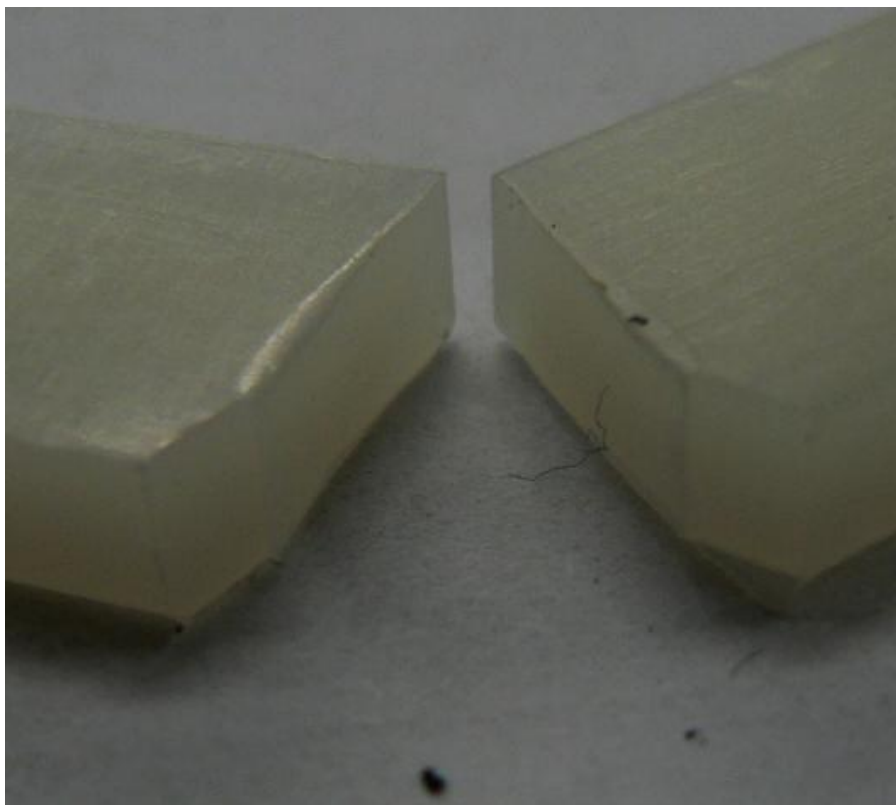
Obr. 90: Graf síly při maximální špičce HDPE.

Přeražení u tělísek z materiálu HDPE bylo kompletní s tvárným lomem. U tělísek naložených v kapalině FAM-B nastalo neúplné přeražení bez zbytkové pevnosti, přeražení typu H – kloubové (obr. 91).



Obr. 91: Lom zkušebních tělísek naložených ve FAM-B.

(nezesíťované HDPE vlevo, zesíťované HDPE vpravo)

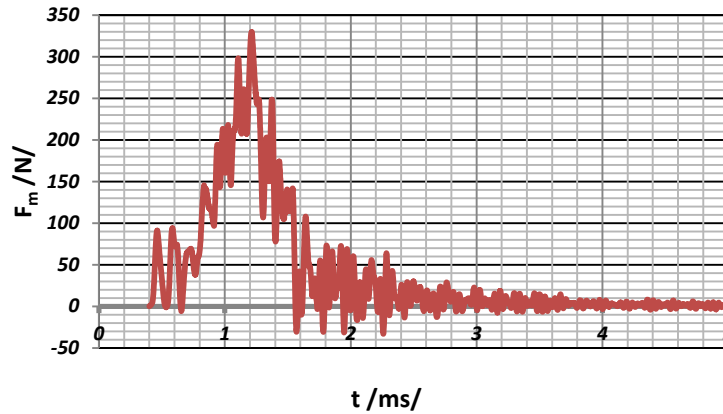


Obr. 92: Lom zkušebního tělíska z HDPE.

### 13.5 POLYAMID 6.6 FRIANYLA63 VNGV30

Neozářené

- referenční prostředí

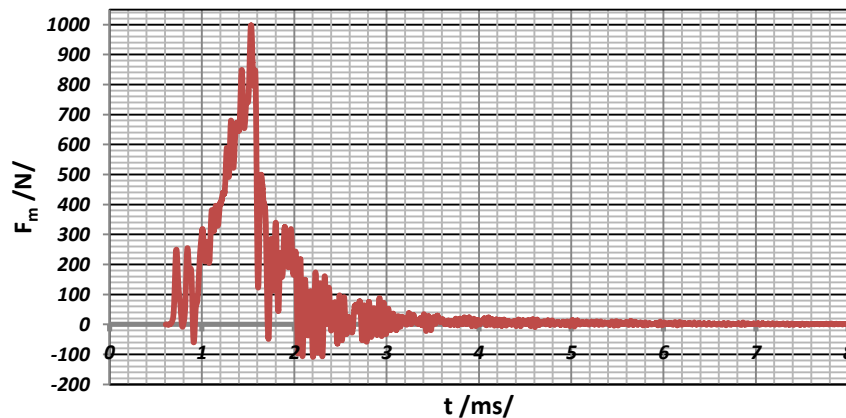


Obr. 93: Graf síly v závislosti na čase PA 6.6 30 % GF v referenčním prostředí.

Tab. 75: Rázová houževnatost PA 6.6 30 % GF v referenčním prostředí.

$n=5$	maximální špička		maximální průhyb		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	max. průhyb [mm]	
$x$	387,20	0,14	0,15	5,06	4,88
$s$	16,39	0,01	0,01	0,01	0,23

- motorový olej

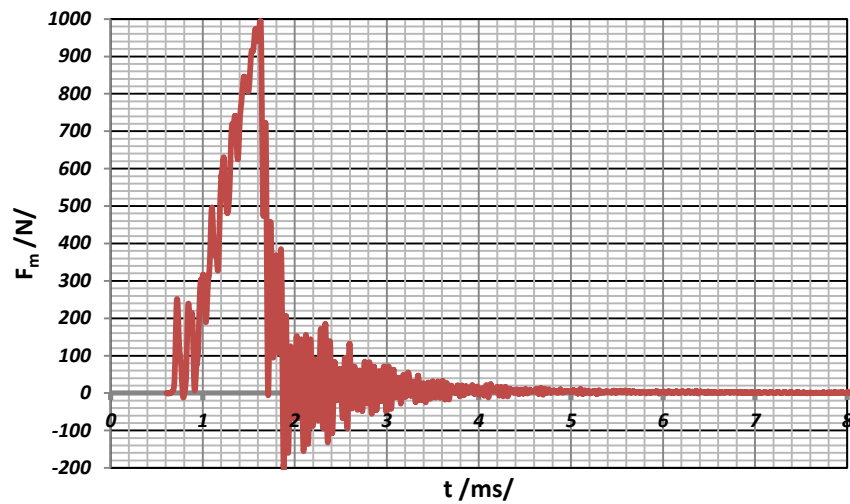


Obr. 94: Graf síly v závislosti na čase PA 6.6 30 % GF v motorovém oleji.

Tab. 76: Rázová houževnatost PA 6.6 30 % GF v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	1112,92	0,34	0,39	5,92	12,35
$s$	63,74	0,03	0,04	0,13	1,24

- etylenglykol



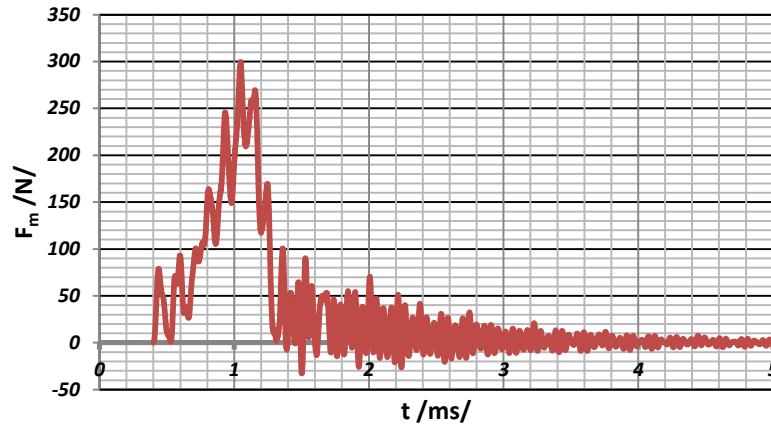
Obr. 95: Graf síly v závislosti na čase PA 6.6 30 % GF v etylenglykolu.

Tab. 77: Rázová houževnatost PA 6.6 30 % GF v etylenglykolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	1096,91	0,40	0,44	5,63	13,82
$s$	66,52	0,01	0,03	0,07	0,99

**Ozářené**

- referenční prostředí

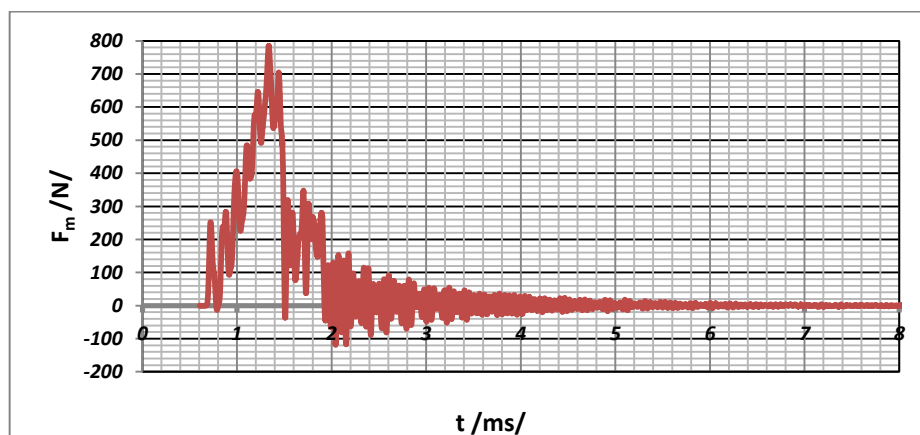


Obr. 96: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v referenčním prostředí.

Tab. 78: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v referenčním prostředí.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	346,43	0,09	0,12	5,12	3,81
<i>s</i>	34,34	0,01	0,01	0,01	0,41

- olej

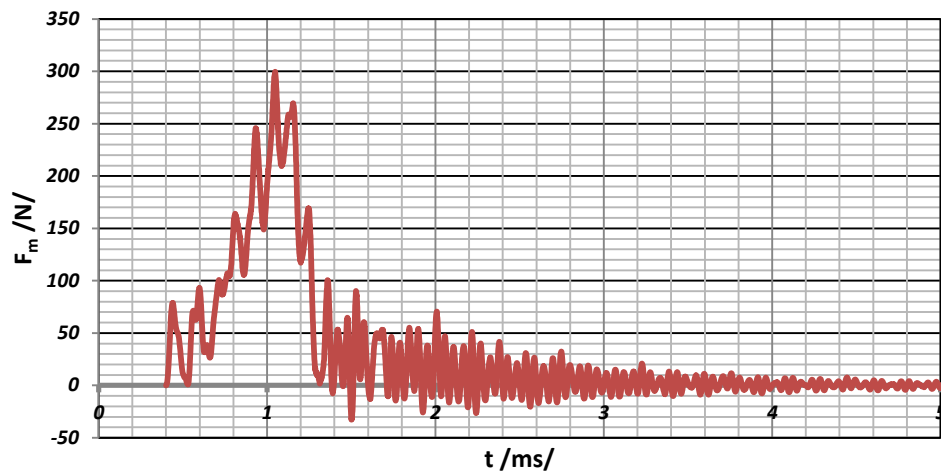


Obr. 97: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v motorovém oleji.

Tab. 79: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	1095,65	0,42	0,44	5,76	14,46
$s$	126,68	0,08	0,07	0,44	2,04

- etylenglykol



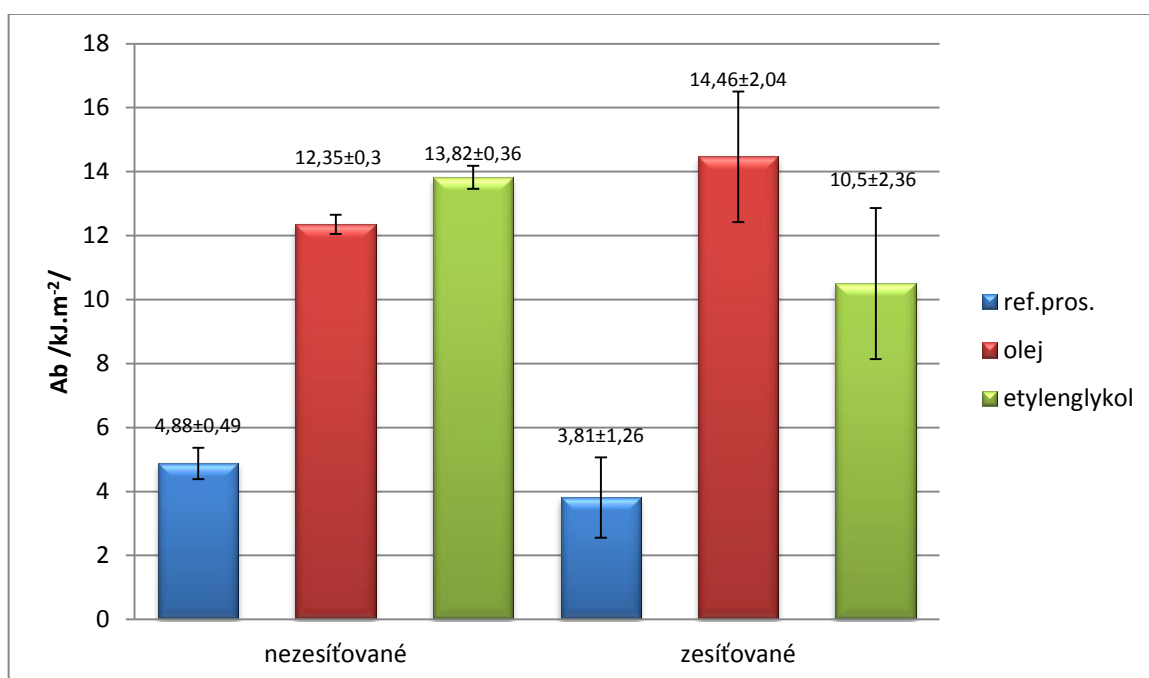
Obr. 98: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v etylenglykolu.

Tab. 80: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v etylenglykolu.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	972,51	0,31	0,34	6,30	10,50
$s$	140,77	0,06	0,08	0,31	2,36

### 13.5.1 Vyhodnocení POLYAMID 6.6 FRIANYL A63 VNGV30

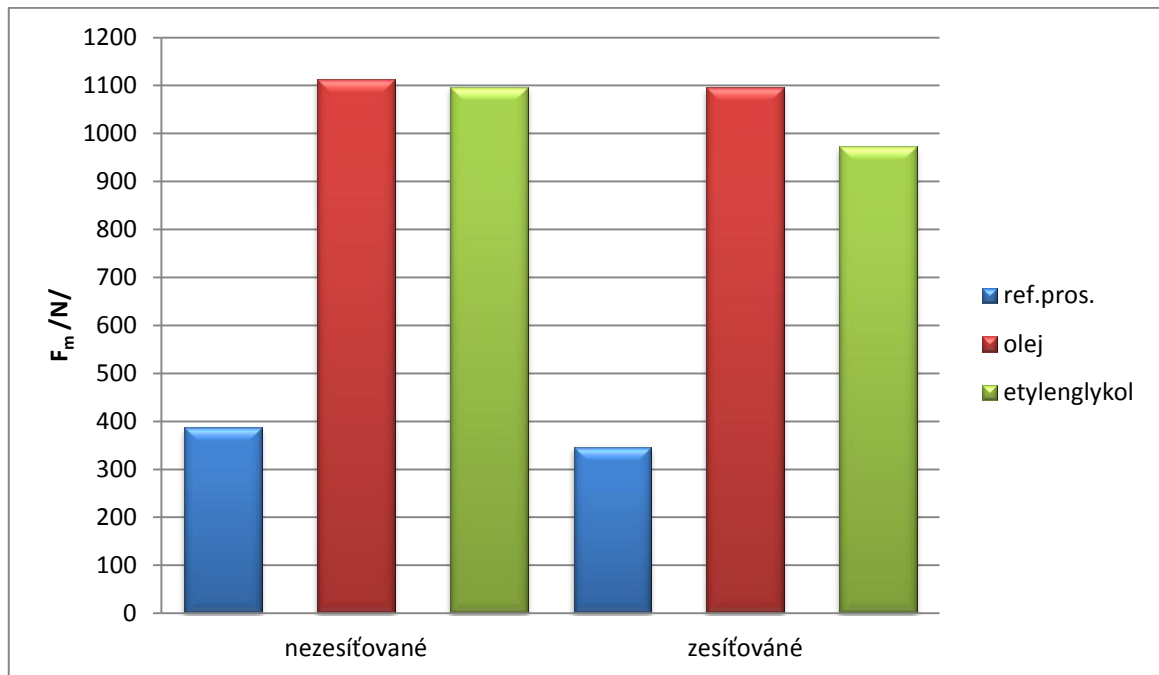
Měření rázové houževnatosti u materiálu ukázalo pokles hodnot o 22% u zesíťovaného materiálu. U tělísek naložených v motorovém oleji došlo ke zvýšení rázové houževnatosti v porovnání s referenčním vzorkem o 153%. Zesíťování vzorků zlepšilo rázovou houževnatost o 279% v porovnání se nezesíťovaným vzorkem. Při porovnání s nezesíťovaným materiálem je zlepšení u naložení v motorovém oleji o 17% a zlepšení zesíťovaného vzorku naloženého v motorovém oleji o 196%. U naložení nezesíťovaných tělísek je zlepšení o 183%. Po zesíťování se vlastnosti vzorků naložených v etylenglykolu v porovnání se zesíťovaným referenčním vzorkem zlepšili o 175%. Avšak v porovnání se nezesíťovaným vzorkem to byl pokles o 24%.



Obr. 99: Graf rázové houževnatosti Frianyl PA6.6 30% GF.

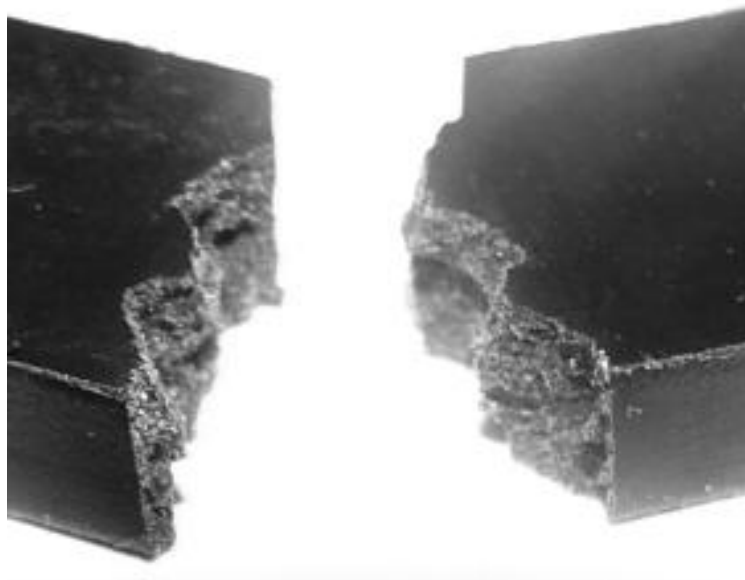
U měření maximální rázové síly u materiálu PA6.6 30%GF byla rázová síla zvýšena přibližně o 185% u obou testovaných kapalin. Po zesíťování hodnota maximální rázové síly snížila o 11%. Hodnota u naložených tělísek vzorků zůstala na stejné úrovni u naložení v motorovém oleji. U naložení v etylenglykolu byla hodnota rázové síly o 12% nižší než u nezesíťovaného vzorku.





Obr. 100: Graf síly při maximální špičce Frianyl PA6.6 30% GF.

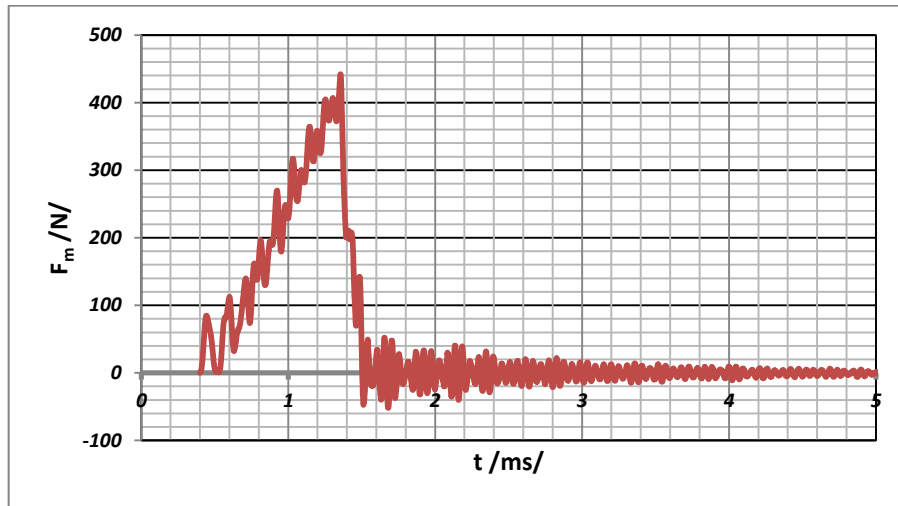
Ráz u všech tělísek byl úplný tříštivý - Cs (Obr. 101)



Obr. 101: Lom zkušebního tělíska Frianyl PA6.6 30% GF.

### 13.6 POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF

- neozářené
- referenční prostředí

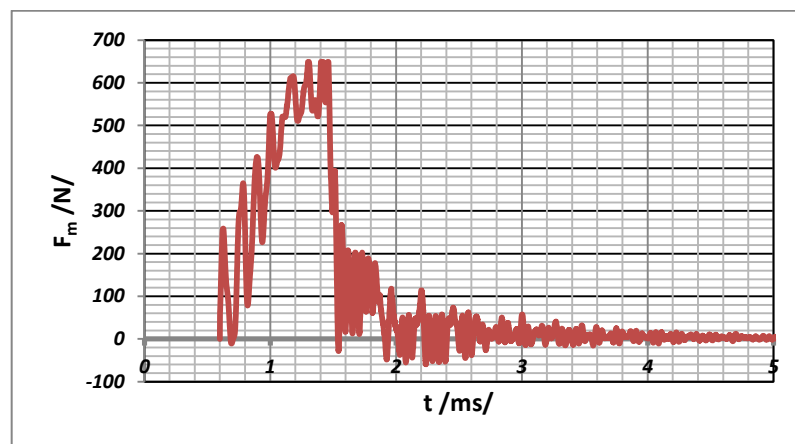


Obr. 102: Graf síly v závislosti na čase PA 6 30 % GF v ref. prostředí.

Tab. 81: Rázová houževnatost PA 6 30 % GF v referenčním prostředí.

$n=5$	maximální špička		maximální průhyb		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	max. průhyb [mm]	
$x$	466,51	0,18	0,20	4,99	7,10
$s$	23,66	0,06	0,06	0,05	0,55

- motorový olej

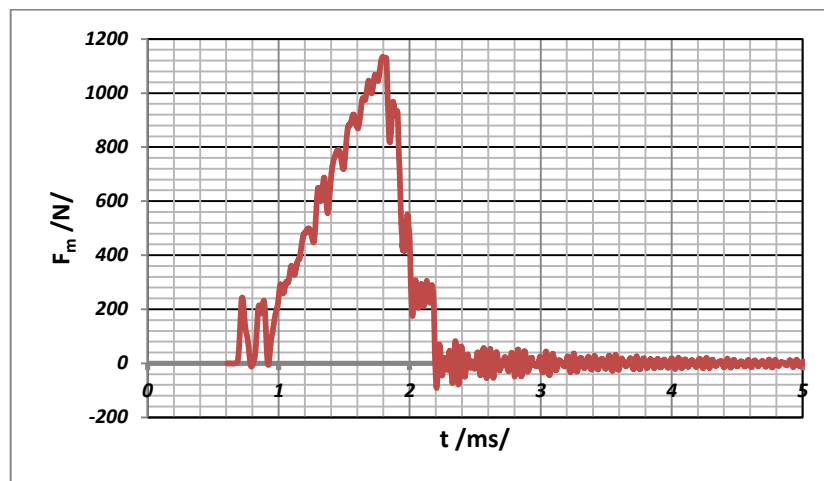


Obr. 103: Graf síly v závislosti na čase PA 6 30 % GF v motorovém oleji.

Tab. 82: Rázová houževnatost PA 6 30 % GF v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	1298,82	0,54	0,58	4,58	18,15
$s$	0,77	0,03	0,02	0,30	0,65

- etylenglykol



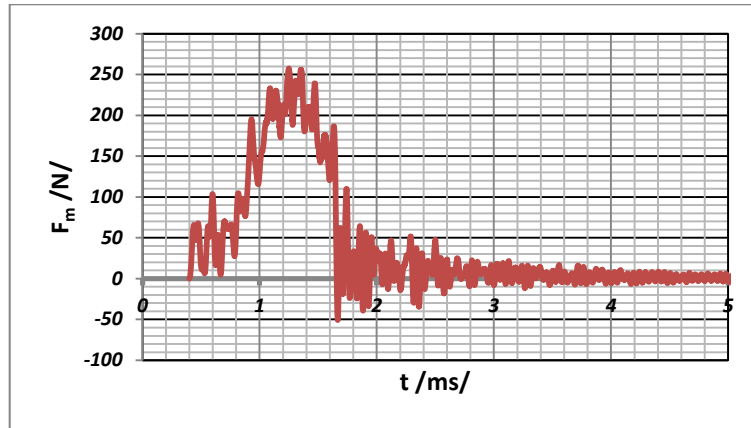
Obr. 104: Graf síly v závislosti na čase PA 6 30 % GF v motorovém oleji.

Tab. 83: Rázová houževnatost PA 6 30 % GF v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	1256,85	0,55	0,58	4,53	17,98
$s$	26,98	0,02	0,02	0,26	0,68

**Ozářené**

- referenční prostředí

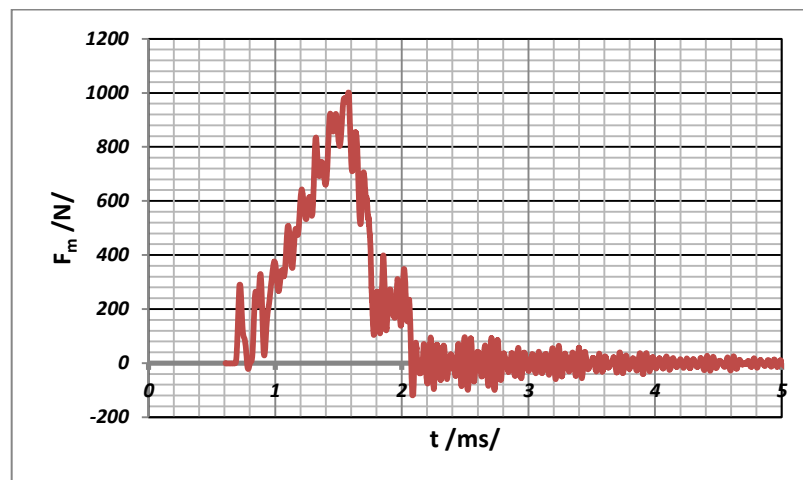


Obr. 105: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji.

Tab. 84: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	404,42	0,15	0,17	5,05	5,46
<i>s</i>	35,66	0,02	0,02	0,01	0,82

- olej

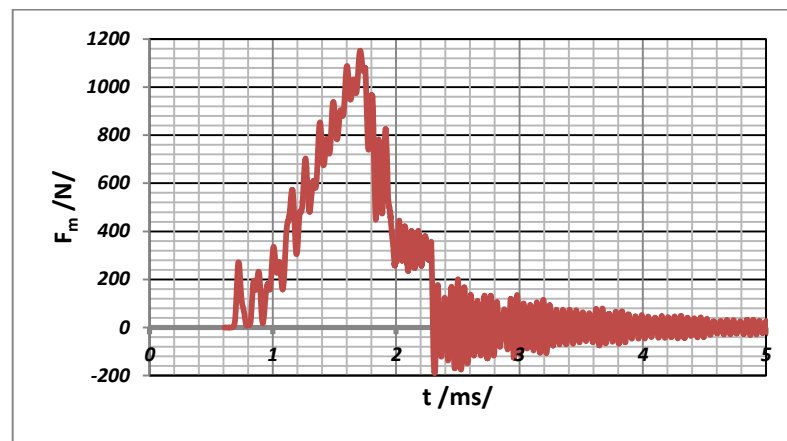


Obr. 106: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji.

Tab. 85: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	1185,77	0,48	0,49	5,38	15,46
$s$	78,62	0,04	0,04	0,35	1,37

- etylenglykol



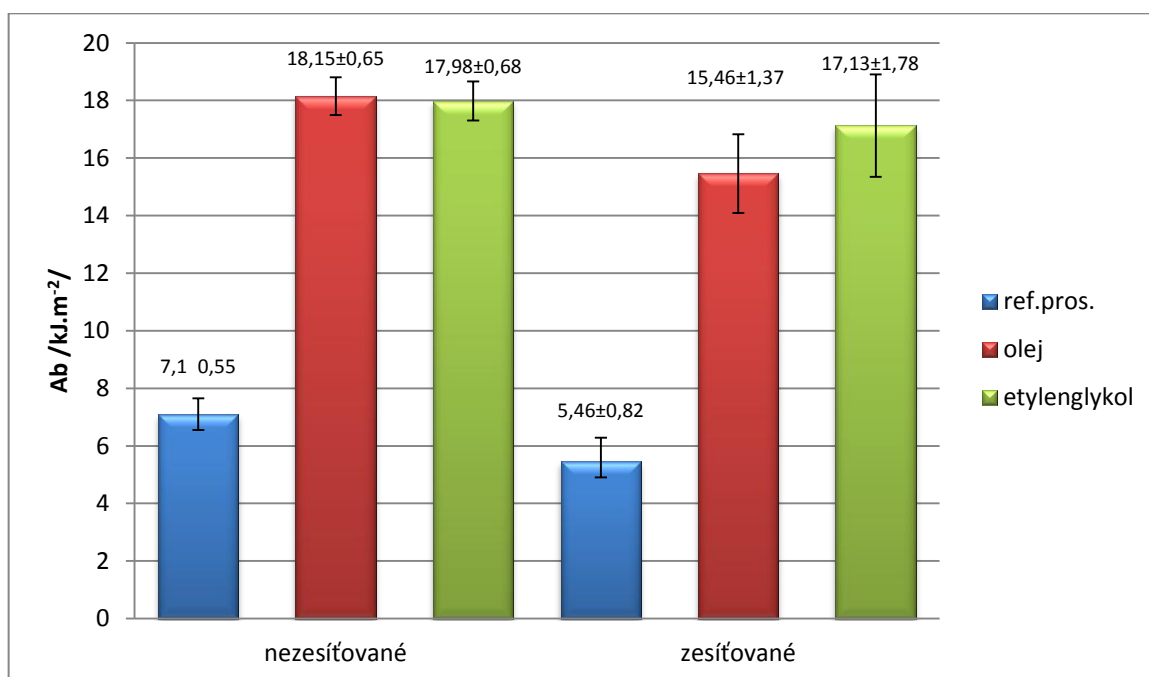
Obr. 107: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji.

Tab. 86: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	1225,22	0,53	0,55	4,66	17,13
$s$	71,56	0,05	0,06	0,96	1,78

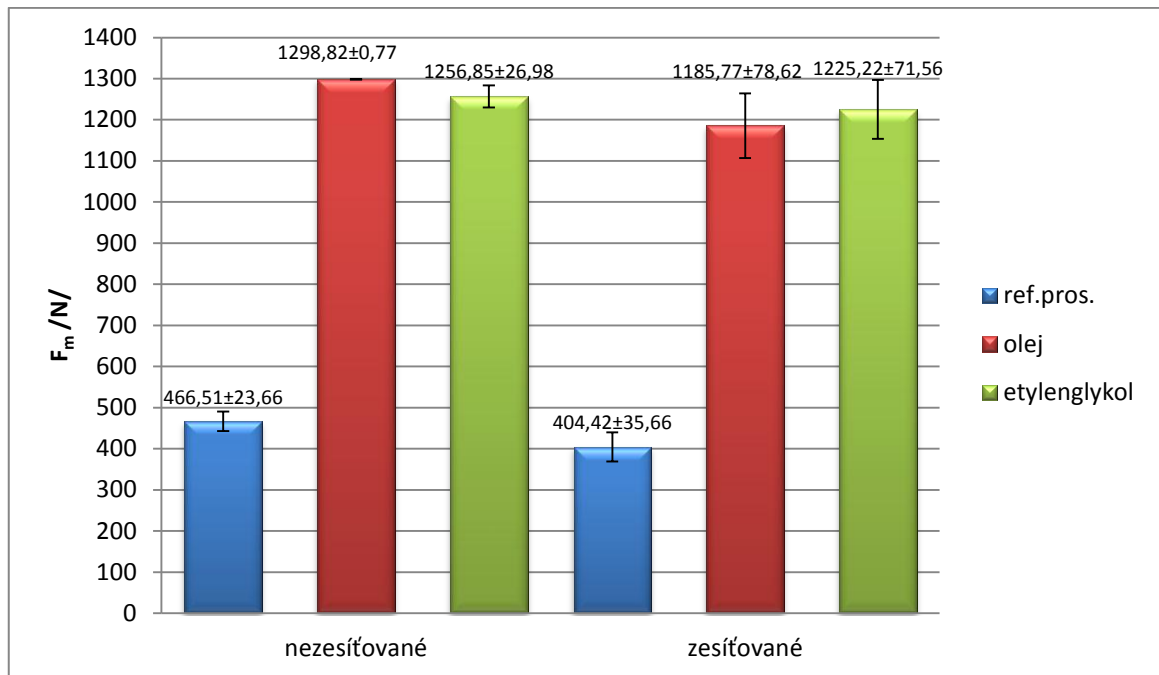
### 13.6.1 Vyhodnocení POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF

Naložení nezesíťovaného materiálu PA 6 30% GF bylo provázeno zvýšením rázové houževnatosti přibližně o 160% u obou testovaných kapalin. U zesíťovaných referenčních vzorků poklesla rázová houževnatost o 23%. U zesíťovaných tělísek byl v porovnání s referenčním vzorkem pozorován nárůst hodnot, ale v porovnání s naloženými nezesíťovanými vzorky byla rázová houževnatost nižší (u motorového oleje o 15%, u etylenglykolu 5%).

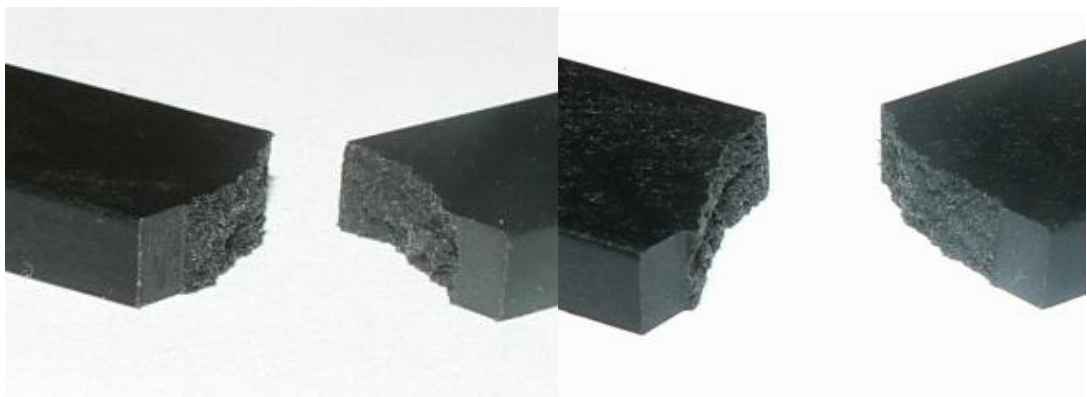


Obr. 108: Graf rázové houževnatosti Frianyl PA6 30% GF.

Maximální rázová síla měla podobně jako rázová houževnatost zvýšené hodnoty, přibližně o 175% v porovnání s referenčním vzorkem. U zesíťovaného referenčního vzorku došlo k zhoršení hodnot o 14%. Měření maximální rázové síly v porovnání se zesíťovaným referenčním vzorkem zaznamenalo nárůst o 190%. Tyto hodnoty byly i tak nižší než hodnoty nezesíťovaných vzorků přibližně o 10%.



Obr. 109: Graf síly při maximální špičce Frianyl PA6 30% GF.



Obr. 110: Lom zkušebního tělíka Frianyl PA6 30% GF

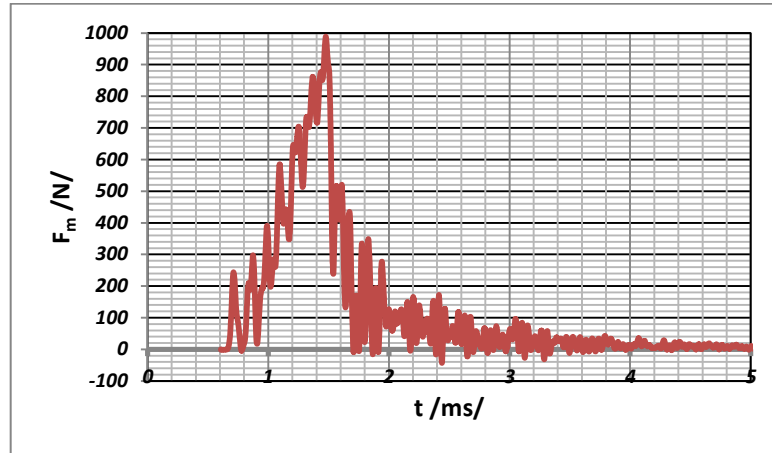
celkové přeražení – tříštivý lom Cs.

(nezesíťované PA6 30%GF vlevo, zesíťované PA6 30%GF vpravo)

### 13.7 POLYAMID 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6\*0129/12 -

#### Neozářené

- referenční prostředí



Obr. 111: Graf síly v závislosti na čase PA 66 30 % GF v ref. prostředí.

Tab. 87: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v referenčním prostředí.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	1095,02	0,32	0,38	5,86	11,98
$s$	42,89	0,03	0,02	0,09	0,49

- FAM-B

Tab. 88: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v kapalině FAM-B.

$n=5$	$E$ [J]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
$x$	4,98	12,45
$s$	0,12	0,30
$v$	2,42	2,42



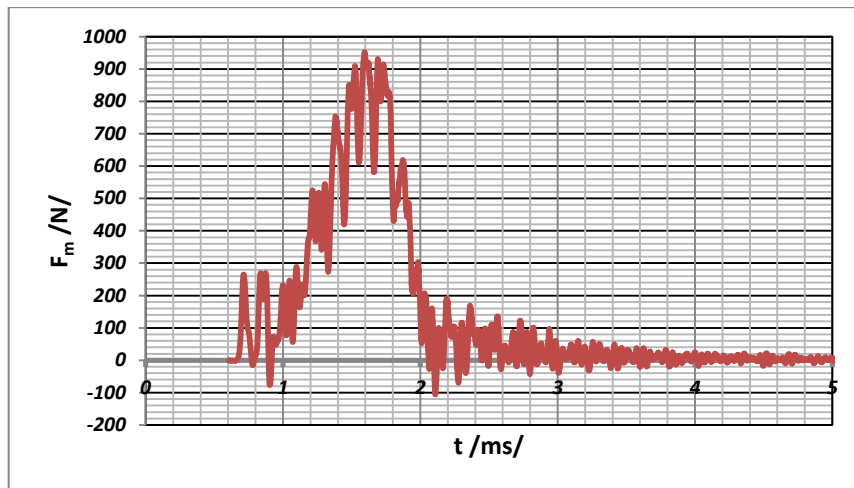
- B30

Tab. 89: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v bionaftě B30.

$n=5$	$E$ [ J ]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
x	2,65	6,61
s	0,14	0,36
v	5,43	5,43

**Ozářené:**

- referenční prostředí



Obr. 112: Graf síly v závislosti na čase PA 66 30 % GF v ref. prostředí.

Tab. 90: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v referenčním prostředí.

$n=5$	maximální špička		maximální průhyb		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [ J ]	$E$ [ J ]	max. průhyb [ mm ]	
x	1279,29	0,40	0,48	5,59	14,90
s	52,13	0,06	0,04	0,04	1,26

- FAM-B

Tab. 91: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v kapalině FAM-B.

$n=5$	$E$ [J]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
x	2,89	7,22
s	1,42	3,56
v	-	-

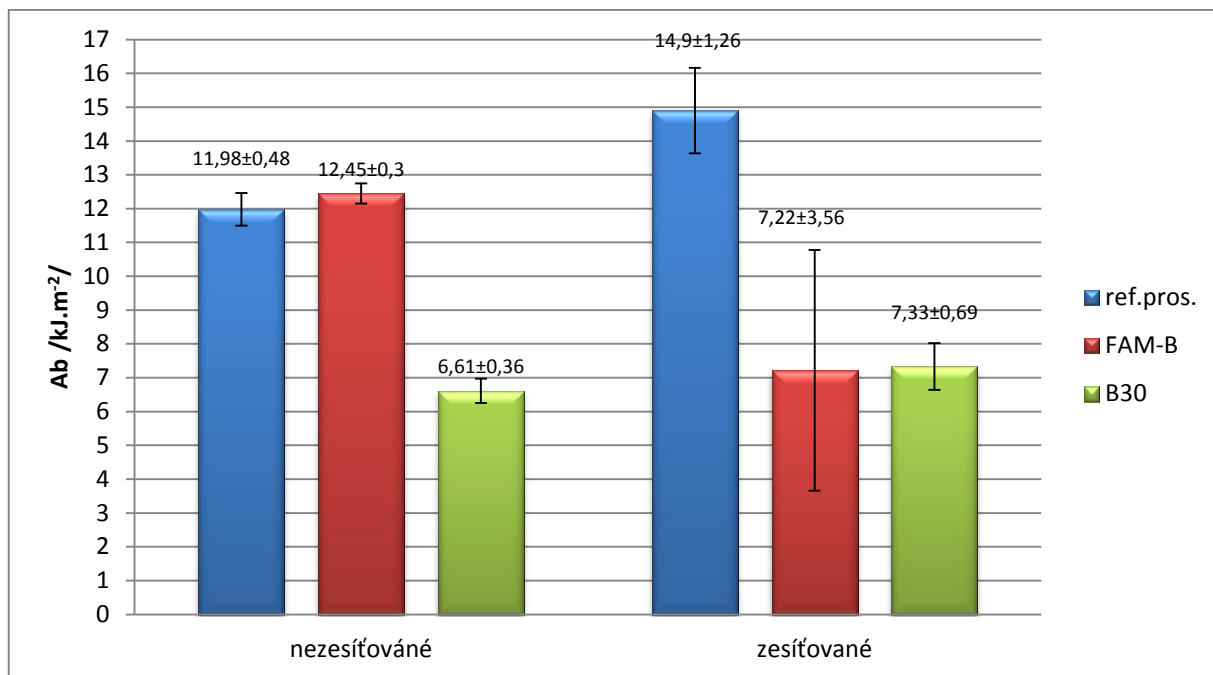
- B30

Tab. 92: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v bionaftě B30.

$n=5$	$E$ [J]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
x	2,93	7,31
s	0,28	0,69
v	9,41	9,41

### 13.7.1 Vyhodnocení POLYAMID 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6\*0129/12

Rázová houževnatost PA66 plněného 30% skleněných vláken se vlivem zesíťování zlepšila o 24,3% . Ovšem odolnost vůči působení kapaliny FAM-B snížila. V porovnání s referenčním zesíťovaným vzorkem o 52% a v porovnání s nezesíťovaným vzorkem vystaveným působení kapaliny FAM-B byl pokles o -42%. Zesíťování u tohoto materiálu nemělo výraznější vliv na rázovou houževnatost tělísek naložených v bionaftě B30, která byla u zesíťovaného pouze o 10%. Přeražení tělísek bylo u všech celkové a lom tříštivý, tj. přeražení Cs (Obr. 114).



Obr. 113: Graf rázové houževnatosti PA66 30% GF.

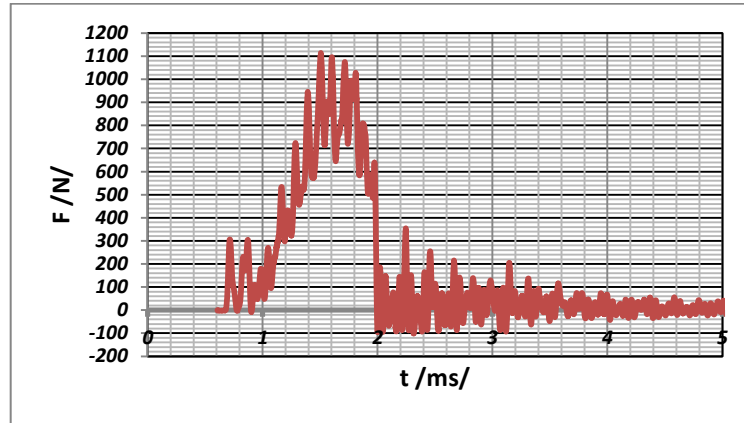


Obr. 114: Lom zkušebního tělíska PA66 30% GF.

### 13.8 POLYAMID 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8\*0129/10

#### Neozářené

- referenční prostředí



Obr. 115: Graf síly v závislosti na čase PA 66 40 % GF v ref. prostředí.

Tab. 93: Rázová houževnatost PA 66 40 % GF v referenčním prostředí.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [J]	$E$ [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
$x$	1467,08	0,46	0,53	5,10	16,52
$s$	113,73	0,04	0,04	0,13	1,33

- FAM-B

Tab. 94: Rázová houževnatost PA 66 40 % GF v kapalině FAM-B.

$n=5$	$E$ [J]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
$x$	4,97	12,42
$s$	0,25	0,64
$v$	5,13	5,13

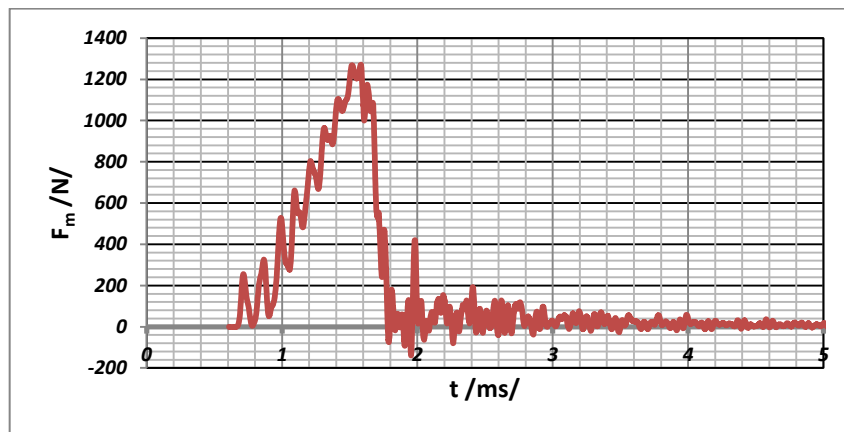
- B30

Tab. 95: Rázová houževnatost PA 66 40 % GF v bionaftě B30.

$n=5$	$E$ [ J ]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
x	3,14	7,86
s	0,16	0,40
v	5,14	5,14

**Ozářené:**

- referenční prostředí



Obr. 116: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 66 40 % GF v ref. prostředí.

Tab. 96: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 66 40 % GF v referenčním prostředí.

$n=5$	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	$F_m$ [N]	$E_m$ [ J ]	$E$ [ J ]	<i>max. průhyb</i> [ mm ]	
x	1455,24	0,51	0,54	4,89	19,37
s	109,86	0,06	0,04	0,22	1,33

- FAM-B

Tab. 97: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 66 40 % GF v kapalině FAM-B.

$n=5$	$E$ [J]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
$x$	3,72	9,29
$s$	0,28	0,70
$v$	7,54	7,54

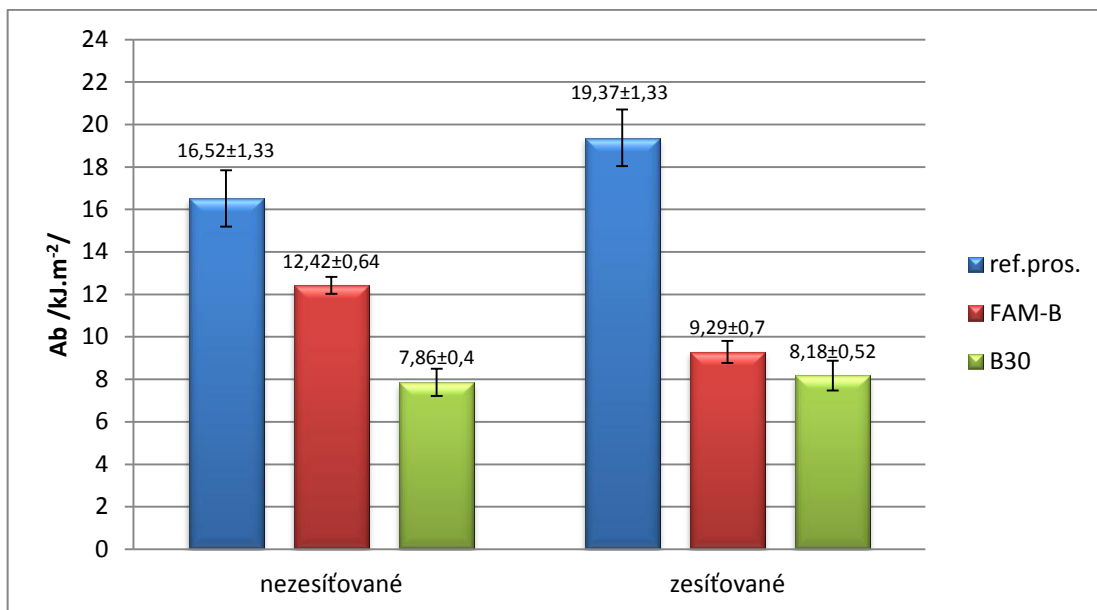
- B30

Tab. 98: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 66 40 % GF v bionaftě B30.

$n=5$	$E$ [J]	$Ab$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
$x$	3,27	8,18
$s$	0,21	0,52
$v$	6,39	6,39

### 13.8.1 Vyhodnocení POLYAMID 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8\*0129/10

Zesíťování materiálu PA66 40% GF zvýšilo rázovou houževnatost o 17%. Kapalina FAM-B snížila rázovou houževnatost o 25% a u bionafty B30 došlo ke snížení rázové houževnatosti až o 52%. Rozdíl houževnatosti zesíťovaného a nezesíťovaného materiálu vystaveného působení kapaliny FAM-B byl 25% v neprospěch zesíťovaného materiálu. Rozdíl mezi materiály v bionaftě B30 byl nepatrný. Lom všech tělísek byl celkový a tříštivý Cs.



Obr. 117: Graf rázové houževnatosti PA6640% GF.



Obr. 118: Lom zkušebního tělíska PA66 40% GF.

## 14 KOROZE POD NAPĚTÍM

Pro měření koroze pod napětím byla zvolena norma ISO 22 088-3, metoda ohnutého pásku. Pro měření byl použitý přípravek popsáný v kapitole 11. Měření probíhalo za konstantní deformace. Kontrola vzorku probíhala vždy po 24 hodinách. Měření proběhlo za konstantní deformace, kdy poloměr ohnutí byl  $r = 94$  mm.

### 14.1 POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T \*M600/13 transparent (PA 11)

Tab. 99: Koroze pod napětím PA11 – referenční prostředí.

čas <i>t</i> /hod./	<i>popis</i> (referenční prostředí)	
	<i>ozářené</i>	<i>neozářené</i>
0	kontrola vložených vzorků – vzorky bez prasklin, trhlin nebo viditelných vad	kontrola vložených vzorků – vzorky bez prasklin, trhlin nebo viditelných vad
24-136	žádné změny	žádné změny
168	ukončení zkoušky tělíska po zkoušce podrobena rázové zkoušce Charpy	ukončení zkoušky tělíska po zkoušce podrobena rázové zkoušce Charpy

Tab. 100: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA11 – referenční prostředí.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	736,38	0,76	0,76	3,63	23,91
<i>s</i>	28,27	0,03	0,03	0,41	1,02



Tab. 101: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA11 – referenční prostředí.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	587,09	0,54	0,54	5,42	16,97
<i>s</i>	25,71	0,03	0,03	0,21	1,02

Tab. 102: Koroze pod napětím PA11 – prostředí etylenglykolu.

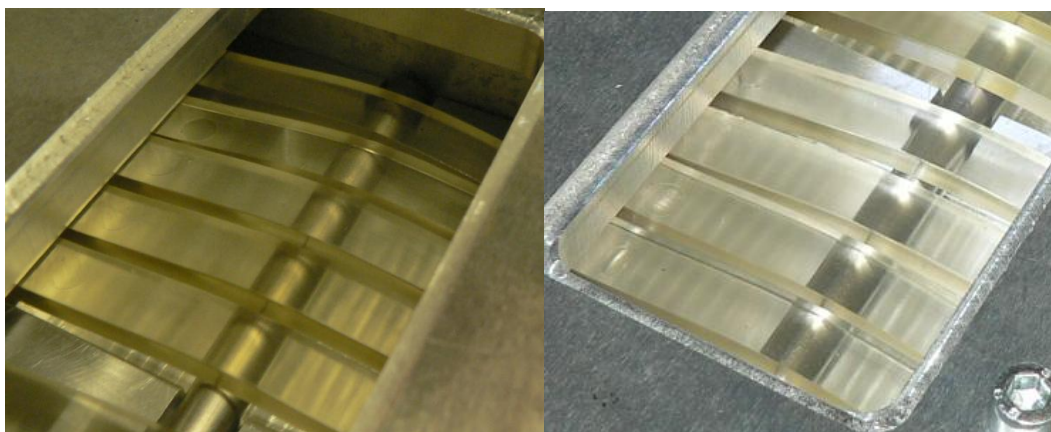
<i>čas t</i> /hod./	<i>popis</i> ( <i>prostředí etylenglykolu</i> )	
	<i>ozářené</i>	<i>neozářené</i>
0	kontrola vložených vzorků – vzorky bez prasklin, trhlin nebo viditelných vad	kontrola vložených vzorků – vzorky bez prasklin, trhlin nebo viditelných vad
24	vznik jemným trhlin po stranách tělísek <i>obr. 123</i>	žádné změny <i>obr. 122</i>
48	žádné změny	žádné změny
72	vznik větších trhlin, zvýraznění malých trhlin po stranách tělísek <i>obr. 125</i>	vznik jemným trhlin po stranách tělísek <i>obr. 124</i>
96	žádné změny	žádné změny
120	zvýraznění malých trhlin po stranách tělísek, zvýraznění velkého praskání <i>obr. 126</i>	žádné změny
136	žádné změny	žádné změny
168	ukončení zkoušky tělíska po zkoušce podrobena rázové zkoušce Charpy	ukončení zkoušky tělíska po zkoušce podrobena rázové zkoušce Charpy

Tab. 103: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA11- etylenglykol.

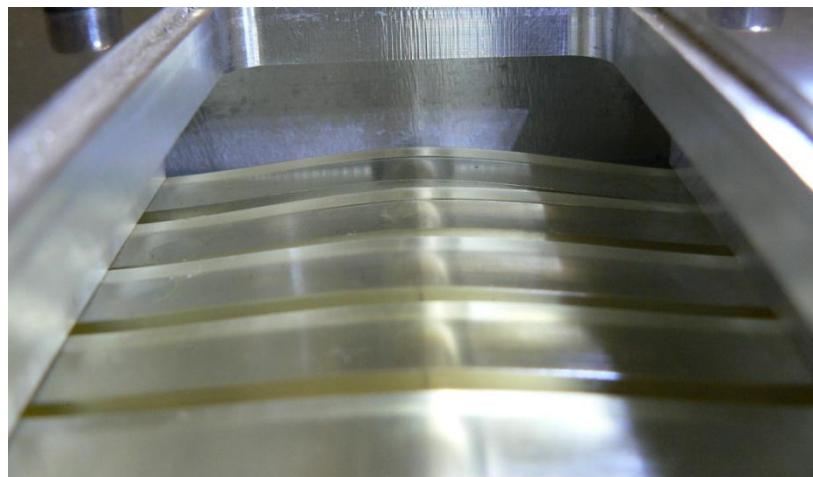
<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	687,41	0,72	0,73	4,23	22,74
<i>s</i>	64,64	0,05	0,05	0,53	1,50

Tab. 104: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA11- etylenglykol.

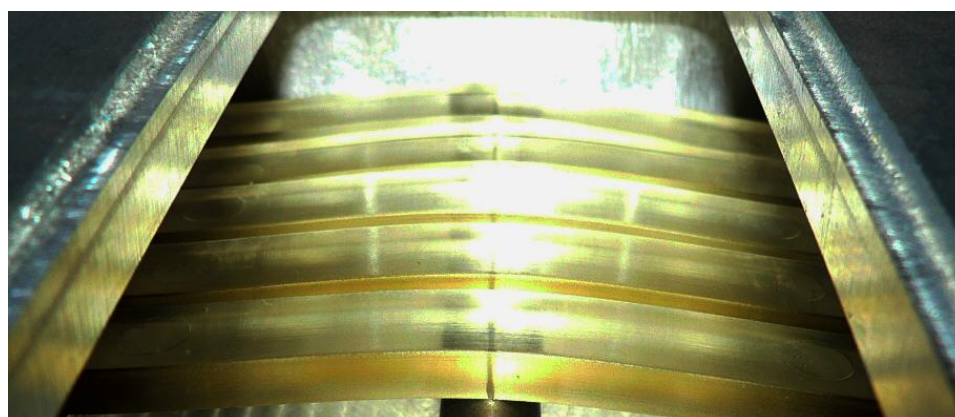
<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> [kJ.m <sup>-2</sup> ]
	<i>F<sub>m</sub></i> [N]	<i>E<sub>m</sub></i> [J]	<i>E</i> [J]	<i>max. průhyb</i> [mm]	
<i>x</i>	594,40	0,54	0,55	5,53	17,20
<i>s</i>	29,82	0,03	0,03	0,20	0,91



Obr. 119: umístěný tělísek v referenčním prostředí.  
(vpravo zesíťované PA11, vlevo nezesíťované PA11)



Obr. 120: Stav tělísek zesíťované PA11 v referenčním prostředí po 168 hodinách.



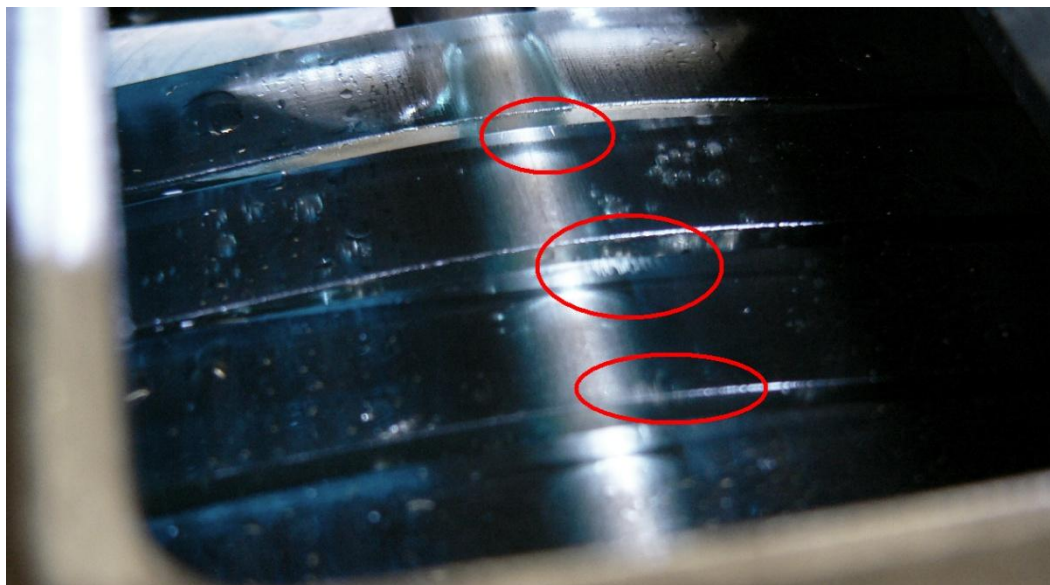
Obr. 121: Stav tělísek nezesíťované PA11 v referenčním prostředí po 168 hodinách.



Obr. 122: Stav tělísek nezesíťovaného PA11 v etylenglykolu po 24 hodinách.



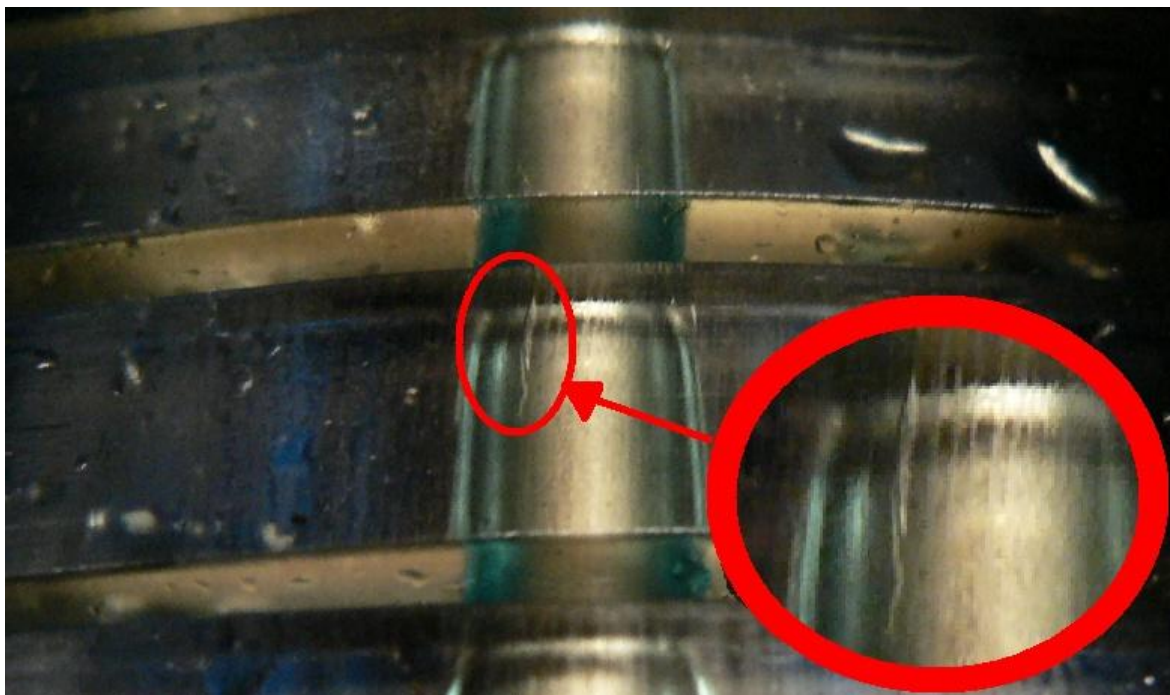
Obr. 123: Stav tělísek zesíťovaného PA11 v etylenglykolu po 24 hodinách.



Obr. 124: Stav tělísek nezesíťovaného PA11 v etylenglykolu po 72 hodinách.



Obr. 125: Stav tělísek zesíťovaného PA11 v etylenglykolu po 72 hodinách.



Obr. 126: Stav tělísek zesíťovaného PA11 v etylenglykolu po 120 hodinách.

#### 14.1.1 Vyhodnocení POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T \*M600/13 transparent (PA 11)

Zkoušení koroze pod napětím probíhalo za normální pokojové teploty. Tělíska v referenčním prostředí nevykazovala žádné známky destrukce. Na povrchu nebylo patrné žádné praskání ani trhliny. U tělísek naložených v etylenglykolu probíhalo praskání nejdříve u zesíťovaných polymerů. První trhlinky se po stranách tělísek objevily už po 24 hodinách. Výraznější trhliny byly na tělískách znatelné po 72 hodinách. Další trhliny se neobjevily, pouze po 120 hodinách došlo k jejich zvýraznění. Zkoušení bylo po 168 hodinách přerušeno. U nezesíťovaných tělísek naložených v etylenglykolu se objevily jemné trhliny po 72 hodinách, které se již dále nešířily. Zkouška byla po 168 hodinách ukončena. Tato zkouška ukázala zpevnění vnitřní struktury polymeru, ke kterému došlo vlivem zesíťování. Vlivem tohoto zpevnění neměl materiál již takové elastické vlastnosti. U žádného tělíska nedošlo k úplné destrukci, proto byla provedena referenční zbytková rázová zkouška.

## 14.2 POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD \*M800/13 natur

Tab. 105: Koroze pod napětím PA12 – referenční prostředí.

<i>čas t</i> <i>/hod./</i>	<i>popis</i> <i>(referenční prostředí)</i>	
	<i>ozářené</i>	<i>neozářené</i>
0	kontrola vložených vzorků – vzorky bez prasklin, trhlin nebo viditelných vad	kontrola vložených vzorků – vzorky bez prasklin, trhlin nebo viditelných vad
24-144	žádné změny	žádné změny
168	ukončení zkoušky tělíska po zkoušce podrobena rázové zkoušce Charpy	ukončení zkoušky tělíska po zkoušce podrobena rázové zkoušce Charpy

Tab. 106: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA12 – referenční prostředí.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> <i>[kJ.m<sup>-2</sup>]</i>
	<i>F<sub>m</sub></i> <i>[N]</i>	<i>E<sub>m</sub></i> <i>[J]</i>	<i>E</i> <i>[J]</i>	<i>max. průhyb</i> <i>[mm]</i>	
<i>x</i>	470,88	0,43	0,43	6,14	12,65
<i>s</i>	47,50	0,10	0,10	0,48	2,56

Tab. 107: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím ozářeného PA12 – referenční prostředí.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> <i>[kJ.m<sup>-2</sup>]</i>
	<i>F<sub>m</sub></i> <i>[N]</i>	<i>E<sub>m</sub></i> <i>[J]</i>	<i>E</i> <i>[J]</i>	<i>max. průhyb</i> <i>[mm]</i>	
<i>x</i>	455,50	0,30	0,31	6,73	9,54
<i>s</i>	10,79	0,02	0,01	0,09	0,43

Tab. 108: Koroze pod napětím PA12 – prostředí brzdové kapaliny.

<i>čas t</i> <i>/hod./</i>	<i>popis</i> <i>(prostředí brzdové kapaliny)</i>	
	<i>ozářené</i>	<i>neozářené</i>
0	kontrola vložených vzorků – vzorky bez prasklin, trhlin nebo viditelných vad	kontrola vložených vzorků – vzorky bez prasklin, trhlin nebo viditelných vad
24-144	žádné změny	žádné změny
168	ukončení zkoušky tělíska po zkoušce podrobena rázové zkoušce Charpy	ukončení zkoušky tělíska po zkoušce podrobena rázové zkoušce Charpy

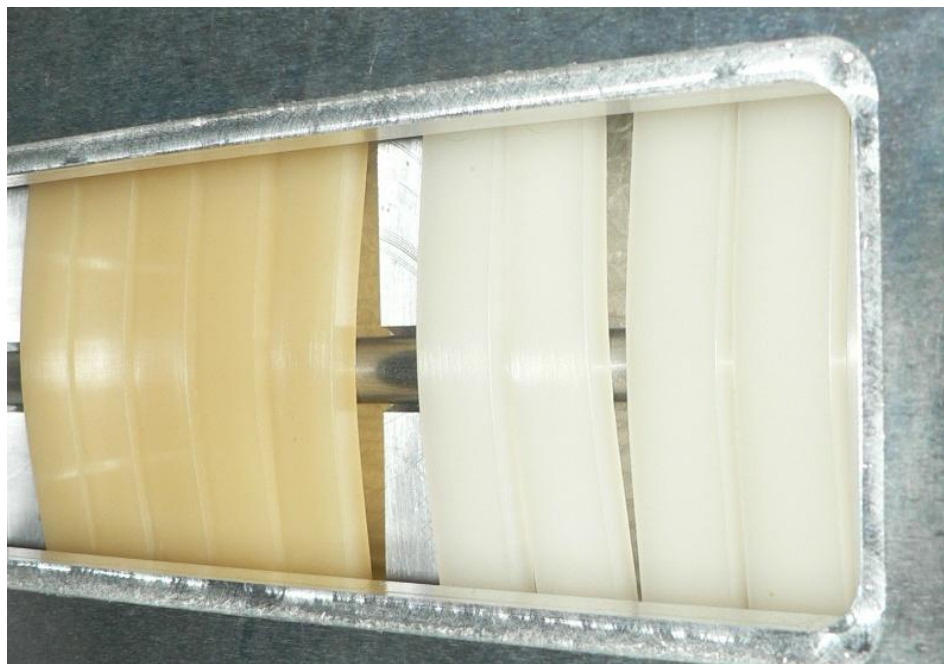
Tab. 109: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA12 – v brzdové kapalině.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> <i>[kJ.m<sup>-2</sup>]</i>
	<i>F<sub>m</sub></i> <i>[N]</i>	<i>E<sub>m</sub></i> <i>[J]</i>	<i>E</i> <i>[J]</i>	<i>max. průhyb</i> <i>[mm]</i>	
<i>x</i>	426,01	0,34	0,35	6,55	11,00
<i>s</i>	9,80	0,03	0,02	0,10	0,79

Tab. 110: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím ozářeného PA12- v brzdové kapalině.

<i>n=5</i>	<i>maximální špička</i>		<i>maximální průhyb</i>		<i>Ab</i> <i>[kJ.m<sup>-2</sup>]</i>
	<i>F<sub>m</sub></i> <i>[N]</i>	<i>E<sub>m</sub></i> <i>[J]</i>	<i>E</i> <i>[J]</i>	<i>max. průhyb</i> <i>[mm]</i>	
<i>x</i>	493,82	0,28	0,32	6,73	9,88
<i>s</i>	46,06	0,01	0,02	0,10	0,55

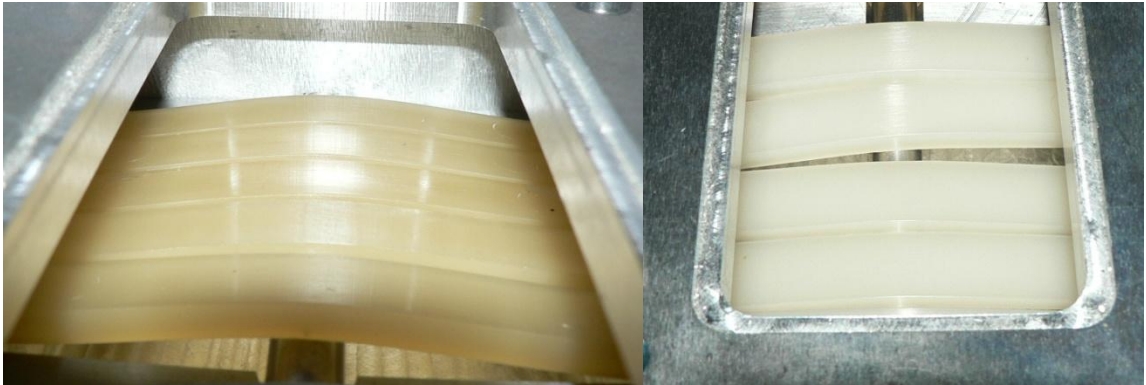




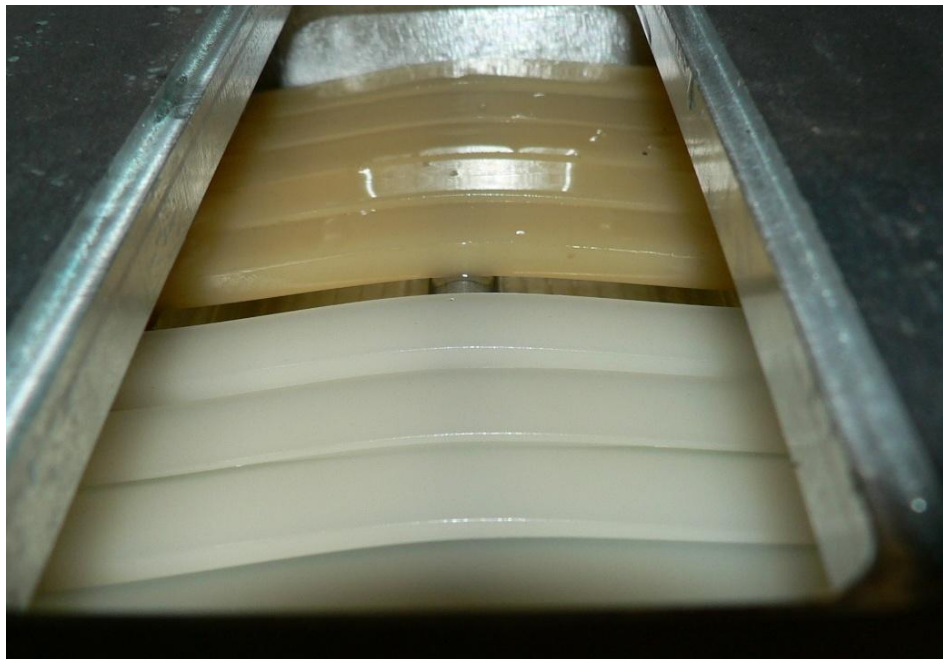
Obr. 127: Umístněný tělísek v referenčním prostředí.  
(vpravo zesíťované PA12, vlevo nezesíťované PA12)



Obr. 128: Umístněný tělísek v prostředí brzdové kapaliny.  
(vpravo zesíťované PA12, vlevo nezesíťované PA12)



Obr. 129: Umístněný tělísek v referenčním prostředí po 168 hodinách.  
(vpravo zesíťované PA12, vlevo nezesíťované PA12)



Obr. 130: Umístněný tělísek v prostředí brzdové kapaliny po 168 hodinách.  
(vpravo zesíťované PA12, vlevo nezesíťované PA12)

#### 14.2.1 Vyhodnocení POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD \*M800/13 natur

Zkoušení koroze pod napětím probíhalo za normální pokojové teploty. Tělíska v referenčním prostředí ani v brzdové kapalině neprokazovala žádné známky destrukce. Po ukončení zkoušky byla provedena referenční zbytková rázová zkouška.

## 15 ZKOUŠKY BOTNÁNÍ

Zkouška botnání proběhla u všech použitých materiálů. Vzorčky byly zváženy před ponořením do kapalin. Botnání probíhalo za pokojové teploty po dobu 336 hodin.

Následně byl vyhodnocen koeficient botnání resp. procento nabotnění podle vzorce:

$$Q = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \text{ resp. } Q_{\%} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 \quad (6)$$

Tab. 111: Hodnoty botnání v motorovém oleji.

materiál	motorový olej			
	nezesíťované		zesíťované	
	koeficient botnání	procento nabotnění	koeficient botnání	procento nabotnění
	/-/	/%/	/-/	/%/
<i>POLYBUTYLEN TEREFTHALAT V-PTS-CREATEC-B3HZC *M800/25 natur</i>	0,001	0,120	0,003	0,322
<i>POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T *M600/13 transparent</i>	0,005	0,496	0,007	0,675
<i>POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD *M800/13 natur</i>	0,009	0,905	0,011	1,111
<i>POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E DOW</i>	0,006	0,631	0,003	0,258
<i>POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF FRISETTA</i>	0,004	0,401	0,002	0,214
<i>POLYAMID 6.6 FRIANYL A63 VNGV30 30GF FRISETTA</i>	0,005	0,540	0,004	0,419
<i>POLYAMID 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6*0129/12</i>	0,005	0,475	0,005	0,454
<i>POLYAMID 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8*0129/10</i>	0,006	0,639	0,010	0,968

Tab. 112: Hodnoty botnění v etylenglykolu.

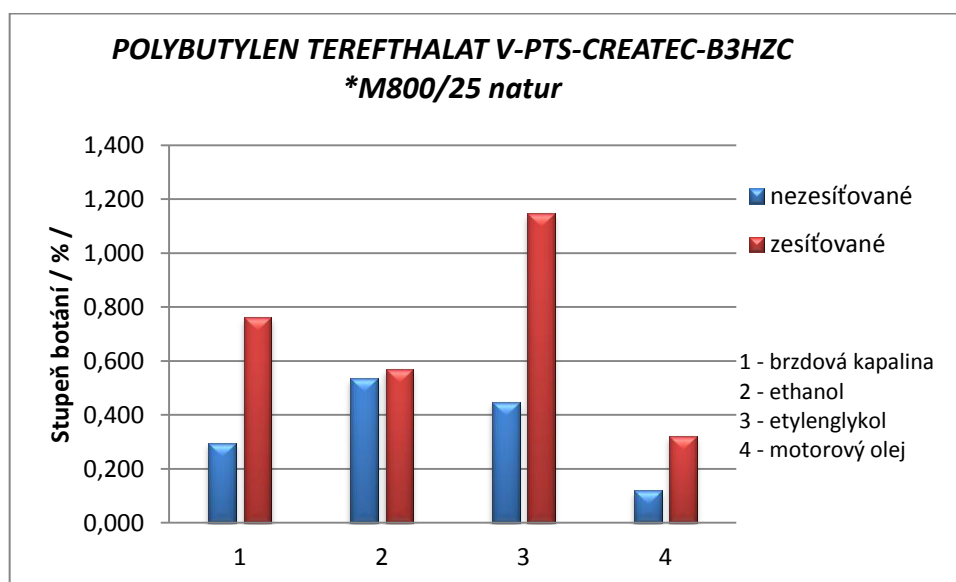
materiál	etylenglykol			
	nezesíťované		zesíťované	
	koeficient botnění /-/	procento nabotnění /%/	koeficient botnění /-/	procento nabotnění /%/
<i>POLYBUTYLEN TEREFTHALAT V-PTS-CREATEC-B3HZC *M800/25 natur</i>	0,004	0,448	0,011	1,146
<i>POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T *M600/13 transparent</i>	0,001	0,114	0,001	0,075
<i>POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD *M800/13 natur</i>	0,012	1,152	0,012	1,235
<i>POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E DOW</i>	0,013	1,330	0,011	1,070
<i>POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF FRISETTA</i>	0,003	0,331	0,001	0,054
<i>POLYAMID 6.6 FRIANYL A63 VNGV30 30GF FRISETTA</i>	0,005	0,467	0,001	0,074
<i>POLYAMID 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6*0129/12</i>	0,008	0,760	0,006	0,570
<i>POLYAMID 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8*0129/10</i>	0,006	0,646	0,002	0,195

Tab. 113: Hodnoty botnění v ethanolu.

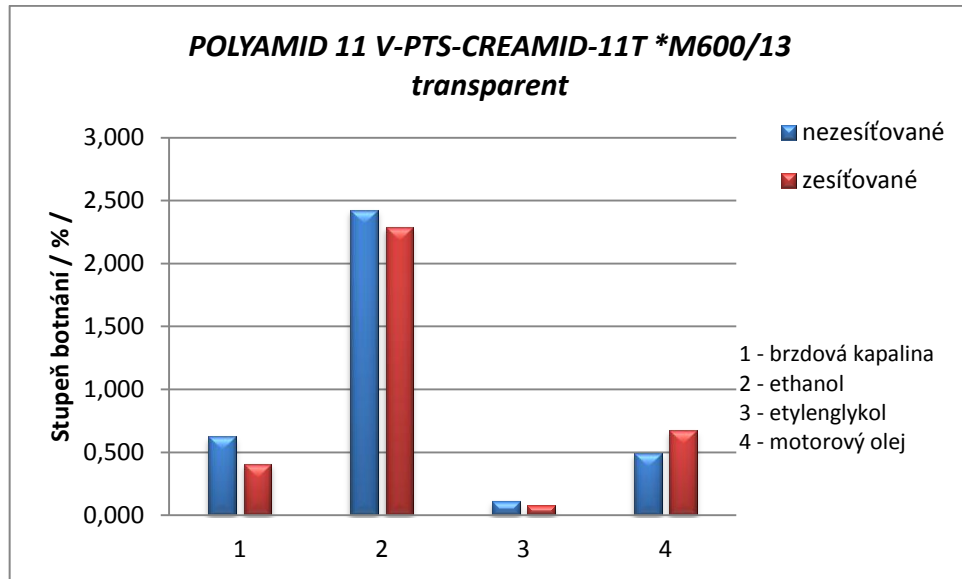
materiál	ethanolu			
	nezesíťované		zesíťované	
	koeficient botnění /-/	procento nabotnění /%/	koeficient botnění /-/	procento nabotnění /%/
<i>POLYBUTYLEN TEREFTHALAT V-PTS-CREATEC-B3HZC *M800/25 natur</i>	0,005	0,535	0,006	0,568
<i>POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T *M600/13 transparent</i>	0,024	2,426	0,023	2,288
<i>POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD *M800/13 natur</i>	0,016	1,620	0,015	1,477
<i>POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E DOW</i>	0,005	0,548	0,001	0,065
<i>POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF FRISETTA</i>	0,048	4,820	0,028	2,763
<i>POLYAMID 6.6 FRIANYL A63 VNGV30 30GF FRISETTA</i>	0,038	3,801	0,019	1,938
<i>POLYAMID 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6*0129/12</i>	0,034	3,397	0,024	2,429
<i>POLYAMID 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8*0129/10</i>	0,025	2,545	0,018	1,836

Tab. 114: Hodnoty botnání v brzdové kapalině.

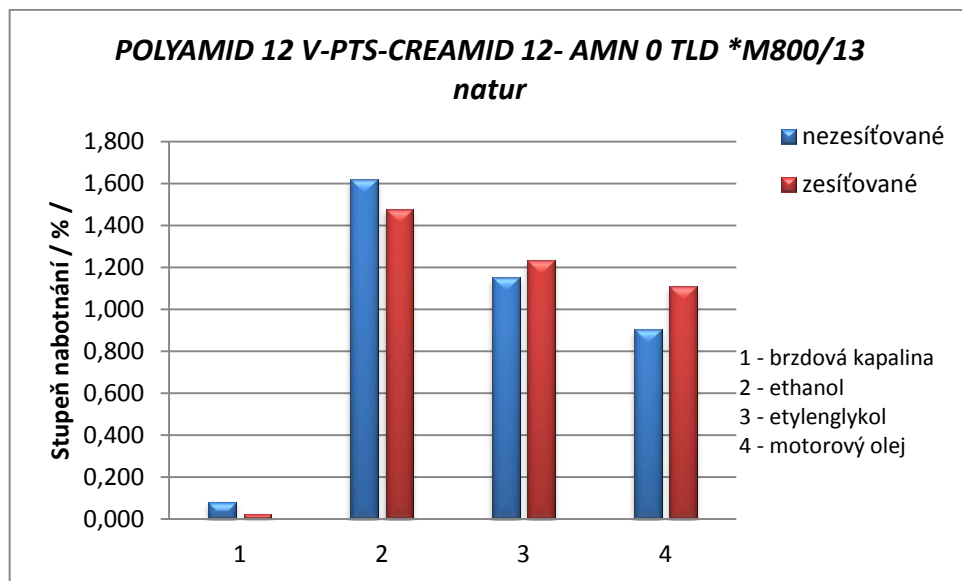
materiál	brzdová kapalina			
	nezesíťované		zesíťované	
	koeficient botnání	procento nabotnění	koeficient botnání	procento nabotnění
	/-/	/%/	/-/	/%/
<i>POLYBUTYLEN TEREFTHALAT V-PTS-CREATEC-B3HZC *M800/25 natur</i>	0,003	0,296	0,008	0,762
<i>POLYAMID 11 V-PTS-CREAMID-11T *M600/13 transparent</i>	0,006	0,625	0,004	0,408
<i>POLYAMID 12 V-PTS-CREAMID 12- AMN 0 TLD *M800/13 natur</i>	0,001	0,082	0,000	0,024
<i>POLYETHYLENE HIGH DENSITY 25055E DOW</i>	0,007	0,723	0,007	0,656
<i>POLYAMID 6 FRIANYL B63 VNGV30 30GF FRISETTA</i>	-0,002	-0,220	-0,004	-0,379
<i>POLYAMID 6.6 FRIANYL A63 VNGV30 30GF FRISETTA</i>	0,001	0,124	0,003	0,274
<i>POLYAMID 66 30% GF PTS-CREAMID-A3H7.1G6*0129/12</i>	0,002	0,180	0,002	0,214
<i>POLYAMID 66 40% GF PTS-CREAMID-A3H9G8*0129/10</i>	0,004	0,366	0,018	1,836



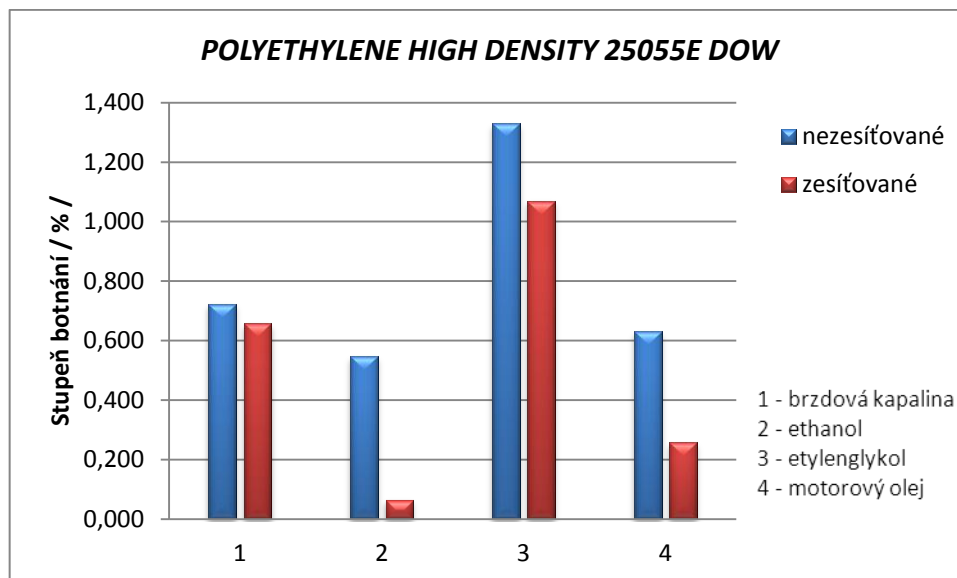
Obr. 131: Stupeň nabotnění PBT.



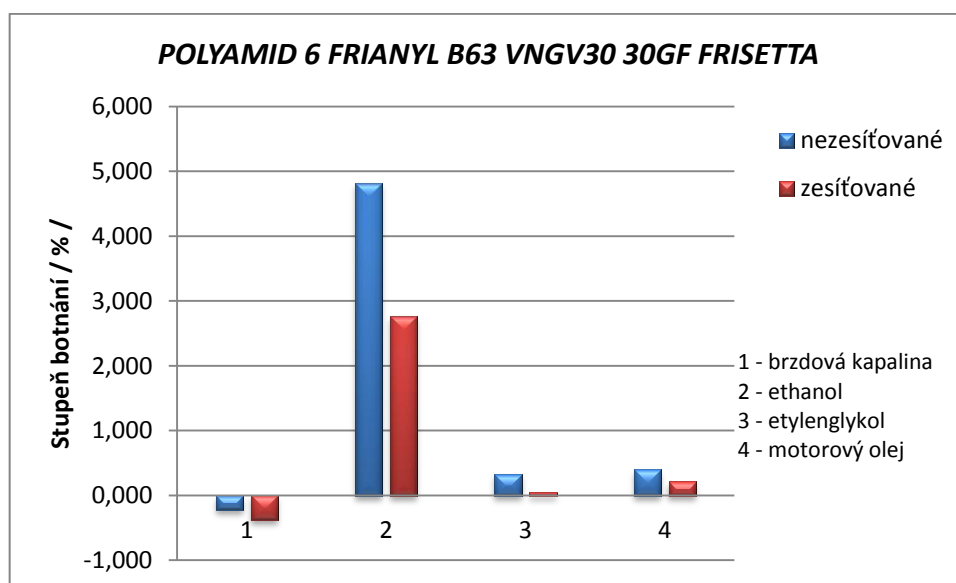
Obr. 132: Stupeň nabotnutí PA11.



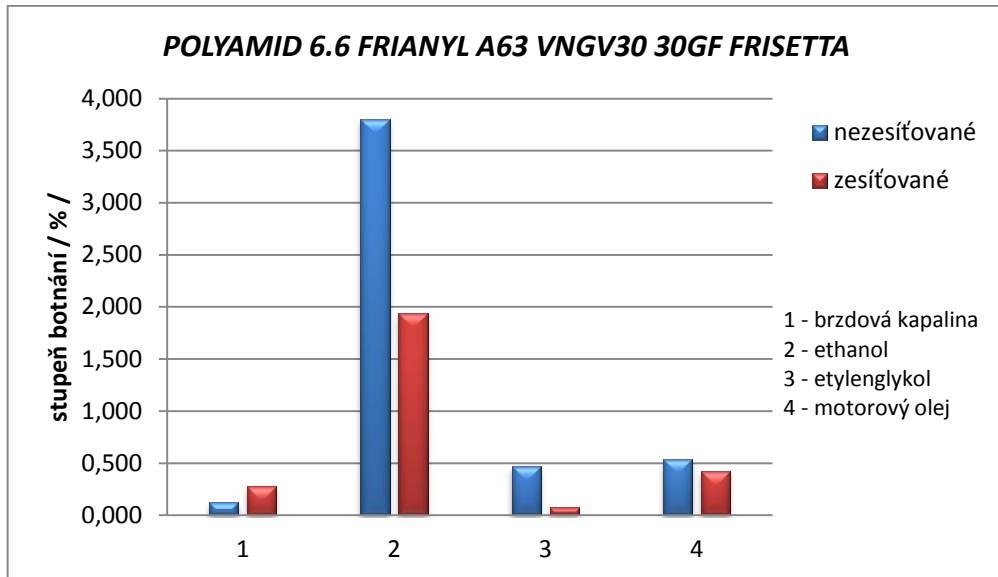
Obr. 133: Stupeň nabotnutí PA12.



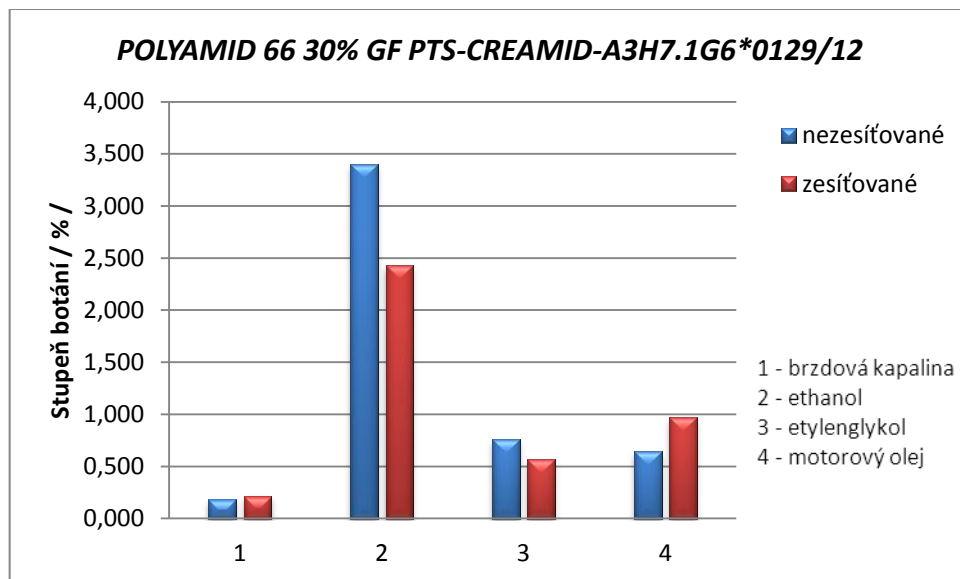
Obr. 134: Stupeň nabobtnání HDPE.



Obr. 135: Stupeň nabobtnání PA6 30%GF.

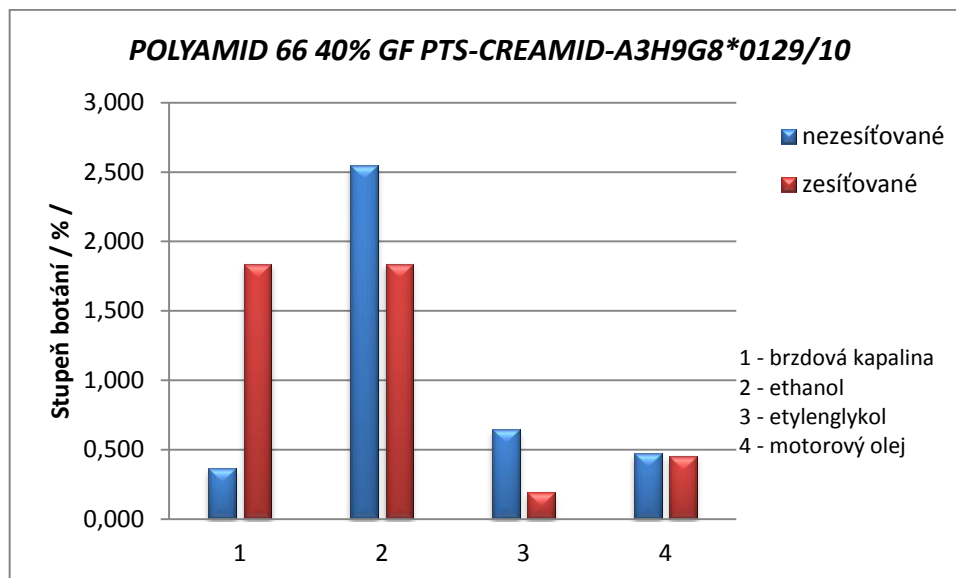


Obr. 136: Stupeň nabobtnání PA6.6.



Obr. 137: Stupeň nabobtnání PA 66 30%GF.





Obr. 138: Stupeň nabotnění PA66 40%GF.

### 15.1 Vyhodnocení zkoušek botnění

Stupeň botnění u zesíťovaného materiálu PBT byl vyšší než u nezesíťovaného. Nejvyšší procento nabotnění měl materiál v kapalině na bázi etylenglykolu (nezesíťované 0,448; zesíťované 1,146). Naopak nejnižší nabotnění bylo patrné u motorového oleje. U materiálu PA11 měly vyšší stupeň botnění nezesíťované materiály, kromě materiálu naloženého v motorovém oleji. Ovšem rozdíly mezi materiály síťovanými a nezesíťovanými nebyly výrazné. Nejvyšší stupeň nabotnění měl materiál v ethanolu (2,288% ÷ 2,426%). Podobný průběh mělo botnění i u materiálu PA12. Nejvyšší procento botnění bylo patrné u ethanolové kapaliny. Ovšem u kapalin etylenglykolu a motorového oleje byla hodnota nabotnění o malou hodnotu vyšší u zesíťovaných materiálů. K vyššímu nabotnění u zesíťovaných vzorků než u nezesíťovaných došlo ještě u PA66 40%, kde byla hodnota nabotnění dokonce výrazně vyšší (nezesíťované 0,366%; zesíťované 1,836). U ostatních materiálů již bylo nabotnění vyšší u nezesíťovaných vzorků. U materiálu HDPE byl nejvyšší stupeň nabotnění u etylenglykolu, kde byla hodnota nezesíťovaného vzorku 1,33% resp. 1,07% zesíťovaného. Polyamidy 66 od firmy PTS vykazovaly nejvyšší stupeň nabotnění u ethanolové kapaliny a to PA66 30%GF přibližně 3,5% a PA66 40% GF přibližně 2,5%. Nejvyšší stupeň botnění byl změřen u materiálů PA6 v ethanolové kapalině a to 4,82%. Tento materiál měl u ostatních dvou kapalin nízké hodnoty botnění a

v brzdové kapalině začalo i jeho rozpouštění. Botnání tu dosáhlo záporných hodnot. U nezesíťovaných vzorků to bylo -0,22% a u zesíťovaných -0,379%.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjistit vliv chemických kapalin na vlastnosti radiačně síťovaných polymerů. U materiálů byly zjištěny rázové vlastnosti, jak u nemodifikovaných polymerů, tak i u modifikovaných polymerů. Materiály byly vystaveny působení referenčního prostředí a působení chemických kapalin. Jako referenční prostředí byl vybrán vzduch za pokojové teploty. Po té byly stejné materiály vystaveny radiačnímu záření optimální vybranou dávkou intenzity záření (Dosis) a zesíťovány. Pro materiály PBT a HDPE byla vybrána dávka ozáření 165 kry, ostatní materiály byly ozářeny dávkou 99 kry. Materiály byly po té vystaveny působení chemických kapalin ponořením. Zkušební kapaliny, které byly použity, patří do skupiny automobilových kapalin. Tyto byly zvoleny proto, že jsou běžně používány v automobilovém průmyslu, kde jsou s nimi plastové materiály nejčastěji v kontaktu. Jedná se o běžně dostupné kapaliny široce zastoupené na trhu. Jedinou výjimku tvořila kapalina FAM-B, která je pouze testovací kapalinou a simuluje agresivní prostředí palivové soustavy. Po určené době naložení byly zkušební tělíska vybrána a na základě norem byly změřeny změny jejich vlastnosti.

U zkoušky chemické odolnosti mechanických vlastností byly použity normy ISO 16 750 – 5, chemická odolnost polymerů v automobilovém průmyslu – ponořením, ISO 179 – 2, stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy. U všech materiálů byla také provedena zkouška botnání v kapalině a u dvou vybraných materiálů bylo zkoušeno i jejich korozivní chování pod napětím (ESC).

U většiny materiálů byly potvrzeny původní předpoklady, že nezesíťované materiály mají vyšší stupeň botnání a toto zesíťování zároveň zvyšuje odolnost vůči chemické degradaci. Ovšem, některé materiály se chovaly velmi atypicky. Příkladem je materiál PBT, který měl větší stupeň nabotnání u zesíťované formy ve všech kapalinách, ale jeho rázové vlastnosti prokázaly zlepšení po zesíťování, kromě vzorků v motorovém oleji, FAM-B a B-30, kde naměřené hodnoty byly přibližně na stejné úrovni jako vzorky nezesíťované. Podobné výsledky byly změřeny i u materiálů PA12 a PA11, kde hodnoty botnání byly přibližně na stejné úrovni u zesíťované i nezesíťované formy. Hodnoty byly mírně vyšší u nezesíťovaných vzorků, kromě vzorků naložených v motorovém oleji a u PA12 naloženém v etylenglykolové kapalině. Rázové vlastnosti měly u obou materiálů přibližně stejné hodnoty, které potvrdily vyšší odolnost radiačně zesíťovaných materiálů. Výjimku tvořily kapaliny FAM-B a bionafta B30, kde hodnoty rázových vlastností u zesíťovaných vzorků PA12 poklesly. Naopak u materiálu PA11 je zcela jasně viditelný

vliv radiačního síťování na výsledné vlastnosti. Vzorky, které byly zesíťovány, získaly působením kapaliny FAM-B elastické vlastnosti, ale nepodlehly destrukci, jako vzorky nezesíťované (obr. 78). Dalším materiálem, u kterého se projeví účinky radiačního síťování pozitivně, byl HDPE. Hodnoty jeho rázových vlastností byly ve všech případech vyšší u zesíťovaných vzorků. U žádné z kapalin nebyl pokles tak vysoký, aby se přiblížil hodnotám nemodifikovaných vzorků. Hodnoty botnání taktéž potvrdily původní předpoklad, že nezesíťované vzorky jsou náchylnější k botnání. Další materiály již neprokazovaly tak výrazná zlepšení vlastností účinkem radiačního síťování. Polyamidy 6 a 6.6 plněné 30 % skelných vláken od firmy Frisetta měly nízké hodnoty botnání pohybující se kolem nuly, kromě ethanolové kapaliny (zde dosáhly úrovně 3,8 až téměř 5%). Polyamid 6 dokonce v prostředí brzdové kapaliny vykazoval úbytek hmotnosti 0,22% u nezesíťované a 0,379% u zesíťované formy materiálu. Tento úbytek značí, že se daný materiál již začal v kapalině rozpouštět. Rázové vlastnosti se výrazněji neměnily, v některých případech se dokonce mírně zhoršily. Toto bylo způsobeno tím, že materiály nebyly modifikovány pro zesíťování.

Materiály PA66 plněné 30% resp. 40% skelných vláken se projeví jako velmi nestálé. Jejich hodnoty botnání velmi závisely na použité kapalině (Obr. 137 a 138). Po provedení radiačního síťování materiály sice zvýšily svou rázovou houževnatost přibližně o 20%, ovšem následná hodnota rázové houževnatosti vystavených chemickému působení byla na úrovni nezesíťovaných vzorků nebo ještě nižší.

Na základě dosažených výsledků byla provedena i zkouška koroze pod napětím. Pro tyto zkoušky byly vybrány materiály PA11 v etylenglykolové kapalině a PA12 v brzdové kapalině. Zkouška byla provedena na základě normy ISO - 22880-3, kde byla vybrána zkouška za konstantní deformace. Tato zkouška není exaktní zkouškou, ale je používána pro sledování a porovnání materiálů, které jsou současně vystaveny působení mechanickému a chemickému. Materiál PA11 toto zatížení nevydržel a objevili se na něm praskliny, které se postupně zvětšovaly. Materiál PA12 namáhání vydržel a na jeho povrchu nebyly pozorovány žádné praskliny a trhliny.

Z celkových výsledků provedených měření se dá usoudit, že radiační síťování zvyšuje chemickou odolnost polymerních materiálů vůči vybraným chemickým kapalinám a může přinést požadovaná zlepšení pro mnohé průmyslové aplikace. Zesíťováním polymerních materiálů se ve většině případů sníží i jejich náchylnost k botnání. Ovšem ve specifických případech, jako je třeba materiál PBT, jsou účinky opačné. U několika

případů se ukázalo použití síťování jako neúčinné a v některých případech i jako nežádoucí. Proto je vždy třeba k použití radiačního síťování přistupovat jednotlivě podle použitých materiálů, působících kapalin a dané aplikace.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1]DOLEŽEL, B.: *Odolnost plastů a pryží*, Praha, SNTL, 1981
- [2]GERSHON J. Shugar,Jack T. Ballinger: *Chemical technicians' ready reference handbook*, USA, Library of CongressCataloging-in-Publication Data, 1996
- [3]GRELLMAN, Wolfgang; SEIDLER, Sabine. *Polymer Testing*. Munich : Carl Hanser Verlag, 2007. 452 s. ISBN 978-3-446-40900-2.
- [4]HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Vyd. 1. V Brně: VUTIUM, 2000. 328 s. ISBN 80-214-1868-0.
- [5]HAWKINS, W. L., *Polymer Stabilization*. USA: John Wiley and Sons, 1972. 452 s. ISBN 0-471-36300-6.
- [6]LAMBOROVÁ, R.: *Recyklace ozářených polymerů*, Zlín, 2009, UTB ve Zlíně
- [7]MARK, Herman F. *ENCYCLOPEDIA of Polymer Science and Technology: Plastics, Resins, Rubbers, Fibers*. New York: Interscience Publishers, 1967. 870 s.
- [8]MEISSNER, Bohumil. *Fyzika polymerů. 1. vyd.* Praha: SNTL, 1984. 247 s.
- [9]MLEZIVA, J.; ŠŇUPÁREK, J. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití. 2* Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-58920-72-7
- [10] ROSATO, Dominik; ROSATO, Donald; ROSATO, Matthew. *Plastical Product Material and process Selection Handbook*. Oxford: Elsevier Advance Technology, 2004. 618 s. ISBN 1-85617-431-X.
- [11]SOVA, M.; KREBS, J. a kol. *Termoplasty v praxi*, Praha, Verlag Dashofer, 2003
- [13]WRIGHT, D. C.: *Environmental stress cracking of plastics*. Shawbury, UK: I Smithers Rapra Publishing, 1996. 148 s. ISBN 185957064X,9781859570647.
- [14] MILITKÝ, J.; VANÍČEK, J.: *Vlastnosti vláken*. In *Vlastnosti vláken* [online]. [s. l.] : [s. n.], 2006 [cit. 2010-10-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20060106/VlastnostiVlaken-prednaska1.pdf>>.
- [15]Environmental stress cracking. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 28-04-2008, last modified on 20-09-2010 [cit. 2011-01-20]. Dostupné z WWW: [http://en.wikipedia.org/wiki/Environmental\\_stress\\_cracking](http://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_stress_cracking)>.

- [16]Hlaváčová, I. *Elektromagnetické záření*. [Online] 2006-12-11.  
[http://if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/elmg\\_zareni.doc](http://if.vsb.cz/Kontakt/Hlavacova/elmg_zareni.doc) (accessed Nov 16, 2010).
- [17]KRYNICKÝ, Martin. *Učebnice fyziky pro gymnázia* [online]. [s. l.] : [s. n.], 2010 [cit. 2011-01-20]. Radiové vlny a mikrovlny, s. Dostupné z WWW:  
<<http://ucebnice.krynicky.cz/Fyzika/index.html>>.
- [18]Madlo folie [online]. 2010 [cit. 2010-11-20]. Www.madico.cz. Dostupné z WWW:  
<<http://madico.cz/dokumenty/uv-zareni-obrazek-pro-web-.jpg>>.
- [19] [www.h2o-logic.cz](http://www.h2o-logic.cz) [online]. 2010 [cit. 2010-10-22]. UV záření. Dostupné z WWW:  
<<http://www.h2o-logic.cz/technicke-aspekty/uv-zareni.html>>.
- [20]The electromagnetic spektrum, 2007. [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov).  
<http://science.hq.nasa.gov/kids/imagers/ems/xrays.html> (accessed Den. 16, 2010).
- [21]Druhy radioaktivního záření, 2009. [fyzmatik.pise.cz](http://fyzmatik.pise.cz). <http://fyzmatik.pise.cz/76446-druhy-radioaktivniho-zareni-song.html> (accessed Dec. 07, 2010).
- [22]Elektronový svazek v technologiích, 2010. Ústav přístrojové techniky AV ČR.  
[Http://ebt.isibrno.cz/en/node/581](http://ebt.isibrno.cz/en/node/581) (accessed Oct 17, 2010).
- [23]Makromolekulární látky (polymery), 2010. [www.gvi.cz](http://www.gvi.cz).
- [24] Home BGS Beta-Gamma-Service [online]. 2011 [cit. 2011-04-01]. Www.bgs.eu.  
Dostupné z WWW: <[www.bgs.eu](http://www.bgs.eu)>.
- [24] ISO 22088. Plastics - Determination of resistance to environmental stress cracking (ESC). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [25] ČSN EN ISO 179. Stanovení rázové houževnatosti metodou Charpy. Praha: Český normalizační institut, 2000. 38 s.
- [26] ISO 16750-5, Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment -- Part 5: Chemical loads
- [27] ISO 16750-4, Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment -- Part 4: Climatic loads
- [28] ISO 16750-1, Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Part 1: General

[29] ISO 175, Plastics: Methods of test for determination of the effects of immersion in liquid chemicals



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PA	Význam první zkratky.
PBT	Význam druhé zkratky.
HDPE	Význam třetí zkratky.
GF	skelné vlákna
$F_m$	maximální rázová síla
$E_m$	energie při maximální rázové síle
E	rázová energie
Ab	rázová houževnatost
x	aritmetický průměr
s	směrodatná odchylka
v	variační rozptyl
Q	stupeň nabotnění
Q%	stupeň nabotnění v procentech
$m_1$	hmotnost před naložením
$m_2$	hmotnost po ukončení zkoušky
n	počet tělísek
T	teplota
t	čas
ESC	koroze pod napětím (environmental stress cracking)
$\rho$	hustota
$\delta$	difuzní koeficient
$\sigma$	normálové napětí
$\varepsilon$	deformace
D	průměr
S	plošný obsah

F	síla
RT	pokožová teplota
T <sub>max</sub>	maximální teplota
r	poloměr

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Struktura makromolekulární látky.....	13
Obr. 2: Schematické znázornění molekulární struktury. ....	14
Obr. 3: Rozdělení polymerů z technického hlediska. ....	14
Obr. 4: Rozdělení polymerů dle jejich aplikace, nadmolekulární struktury a ceny. [12].....	15
Obr. 5: Příklad solvolytické reakce.....	19
Obr. 6: Závislost průběhu síly na čase. ....	21
Obr. 7: Praskání PC na vzduchu.[13] .....	21
Obr. 8: Elektromagnetické spektrum. ....	22
Obr. 9: Obecný přepis beta přeměny. ....	23
Obr. 10: Schéma radioaktivní přeměny jádra A na excitované jádro B' a jeho následné deexcitace za vyzáření fotonu záření $\gamma$ . [15] .....	23
Obr. 11: Prostup záření materiálem. ....	24
Obr. 12: Schéma radiačního síťování PE beta zářením. ....	26
Obr. 13: Elektronové záření. ....	27
Obr. 14: Princip radiačního síťování gama. ....	28
Obr. 15: Příklad přístroje na měření koroze pod napětím.....	38
Obr. 16: Zkušební tělísko.....	38
Obr. 17: Princip zkoušení. ....	40
Obr. 18: Hodnotící kritéria pro metodu B.....	41
Obr. 19: Relaxační křivky.....	43
Obr. 20: Princip zkoušení. ....	44
Obr. 21: Typická závislost napětí-deformace. ....	45
Obr. 22: Typická závislost ukazující tangentsní modul z křivky napětí deformace jako funkci deformace. ....	45
Obr. 23: Typy vrubu .....	48
Obr. 24: Arburg Allrounder 420C Advance .....	52
Obr. 25: Uložení tělísek ve firmě BGS.....	54
Obr. 26: Uložení tělísek ve firmě BGS, se značením ozáření. ....	54
Obr. 27: Naložení tělísek. ....	55
Obr. 28 Uložení tělísek v školských digestořích. ....	56
Obr. 29: Mogul SAE 10 W 40. ....	59
Obr. 30: Sheron® Antifreeze G48. ....	59

Obr. 31: Nemrznoucí směs do ostříkovačů Carlson® -30°C.....	60
Obr. 32: ABS® SAE J 1703 DOT4.....	60
Obr. 33: Vrubovací přístroj Notchvis.....	61
Obr. 34: Zkušební přístroj Resil Impactor Junior.....	61
Obr. 35: Model přípravku pro zkoušení ESC v programu CATIA V5.....	63
Obr. 36: Přípravek pro zkoušení ESC.....	63
Obr. 37: Graf síly v závislosti na čase PBT v referenčním prostředí.....	65
Obr. 38: Graf síly v závislosti na čase PBT v motorovém oleji.....	65
Obr. 39: Graf síly v závislosti na čase PBT v etylenglykolu.....	66
Obr. 40: Graf síly v závislosti na čase PBT v ethanolu.....	67
Obr. 41: Graf síly v závislosti na čase PBT v brzdové kapalině.....	67
Obr. 42: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PBT v referenčním prostředí.....	69
Obr. 43: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PBT v motorovém oleji.....	69
Obr. 44: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PBT v etylenglykolu.....	70
Obr. 45: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PBT v ethanolu.....	71
Obr. 46: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PBT v brzdové kapalině.....	71
Obr. 47: Rázová houževnatost PBT.....	73
Obr. 48: Síla při maximální špičce PBT.....	74
Obr. 49: Lom zkušebního tělíška z PBT.....	75
Obr. 50: Lom zkušebních tělíšek naložených ve FAM-B.....	75
Obr. 51: Graf síly v závislosti na čase PA12 v referenčním prostředí.....	76
Obr. 52: Graf síly v závislosti na čase PA12 v motorovém oleji.....	76
Obr. 53: Graf síly v závislosti na čase PA12 v etylenglykolu.....	77
Obr. 54: Graf síly v závislosti na čase PA12 v ethanolu.....	78
Obr. 55: Graf síly v závislosti na čase PA12 v brzdové kapalině.....	78
Obr. 56: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA12 v referenčním prostředí.....	80
Obr. 57: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA12 v motorovém oleji.....	80
Obr. 58: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA12 v etylenglykolu.....	81
Obr. 59: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA12 v ethanolu.....	82
Obr. 60: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA12 v brzdové kapalině.....	82
Obr. 61: Graf rázové houževnatosti PA12.....	84
Obr. 62: Graf síly při maximální špičce PA12.....	85
Obr. 63: Lom zkušebního tělíška z PA12.....	85
Obr. 64: Lom zkušebních tělíšek naložených ve FAM-B.....	86

Obr. 65: Graf síly v závislosti na čase PA11 v referenčním prostředí.....	87
Obr. 66: Graf síly v závislosti na čase PA11 v motorovém oleji.....	87
Obr. 67: Graf síly v závislosti na čase PA11v etylenglykolu. ....	88
Obr. 68: Graf síly v závislosti na čase PA11v ethanolu. ....	89
Obr. 69: Graf síly v závislosti na čase PA11v brzdové kapalině.....	89
Obr. 70: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA11v referenčním prostředí. ....	90
Obr. 71: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA11v motorovém oleji. ....	91
Obr. 72: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA11v etylenglykolu.....	92
Obr. 73: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA11v ethanolu. ....	92
Obr. 74: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA11v brzdové kapalině. ....	93
Obr. 75: Graf rázové houževnatosti PA11. ....	95
Obr. 76: Graf síly při maximální špičce PA12. ....	95
Obr. 77: Lom zkušebního tělíska z PA11. ....	96
Obr. 78: Lom zkušebních tělísek naložených ve FAM-B. ....	96
Obr. 79: Graf síly v závislosti na čase HDPE v referenčním prostředí. ....	97
Obr. 80: Graf síly v závislosti na čase HDPE v motorové oleji. ....	97
Obr. 81: Graf síly v závislosti na čase HDPE v etylenglykolu. ....	98
Obr. 82: Graf síly v závislosti na čase HDPE v ethanolu. ....	99
Obr. 83: Graf síly v závislosti na čase HDPE v brzdové kapalině. ....	99
Obr. 84: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného HDPE v referenčním prostředí.....	101
Obr. 85: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného HDPE v motorovém oleji.....	101
Obr. 86: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného HDPE v etylenglykolu. ....	102
Obr. 87: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného HDPE v ethanolu. ....	103
Obr. 88: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného HDPE v brzdové kapalině.....	103
Obr. 89: Graf rázové houževnatosti HDPE. ....	105
Obr. 90: Graf síly při maximální špičce HDPE. ....	106
Obr. 91: Lom zkušebních tělísek naložených ve FAM-B. ....	106
Obr. 92: Lom zkušebního tělíska z HDPE.....	107
Obr. 93: Graf síly v závislosti na čase PA 6.6 30 % GF v referenčním prostředí. ....	108
Obr. 94: Graf síly v závislosti na čase PA 6.6 30 % GF v motorovém oleji. ....	108
Obr. 95: Graf síly v závislosti na čase PA 6.6 30 % GF v etylenglykolu.....	109
Obr. 96: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v referenčním prostředí.....	110

Obr. 97: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v motorovém oleji.....	110
Obr. 98: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v etylenglykolu.....	111
Obr. 99: Graf rázové houževnatosti Frianyl PA6.6 30% GF.....	112
Obr. 100: Graf síly při maximální špičce Frianyl PA6.6 30% GF. ....	113
Obr. 101: Lom zkušebního tělíska Frianyl PA6.6 30% GF.....	113
Obr. 102: Graf síly v závislosti na čase PA 6 30 % GF v ref. prostředí. ....	114
Obr. 103: Graf síly v závislosti na čase PA 6 30 % GF v motorovém oleji. ....	114
Obr. 104: Graf síly v závislosti na čase PA 6 30 % GF v motorovém oleji. ....	115
Obr. 105: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji.....	116
Obr. 106: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji.....	116
Obr. 107: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji.....	117
Obr. 108: Graf rázové houževnatosti Frianyl PA6 30% GF.....	118
Obr. 109: Graf síly při maximální špičce Frianyl PA6 30% GF. ....	119
Obr. 110: Lom zkušebního tělíska Frianyl PA6 30% GF.....	119
Obr. 111: Graf síly v závislosti na čase PA 66 30 % GF v ref. prostředí. ....	120
Obr. 112: Graf síly v závislosti na čase PA 66 30 % GF v ref. prostředí. ....	121
Obr. 113: Graf rázové houževnatosti PA66 30% GF. ....	123
Obr. 114: Lom zkušebního tělíska PA66 30% GF. ....	123
Obr. 115: Graf síly v závislosti na čase PA 66 40 % GF v ref. prostředí. ....	124
Obr. 116: Graf síly v závislosti na čase zesíťovaného PA 66 40 % GF v ref. prostředí....	125
Obr. 117: Graf rázové houževnatosti PA6640% GF. ....	127
Obr. 118: Lom zkušebního tělíska PA66 40% GF. ....	127
Obr. 119: umístěný tělísek v referenčním prostředí. ....	130
Obr. 120: Stav tělísek zesíťované PA11 v referenčním prostředí po 168 hodinách.....	131
Obr. 121: Stav tělísek nezesíťované PA11 v referenčním prostředí po 168 hodinách. ....	131
Obr. 122: Stav tělísek nezesíťovaného PA11 v etylenglykolu po 24 hodinách.....	132
Obr. 123: Stav tělísek zesíťovaného PA11 v etylenglykolu po 24 hodinách. ....	132
Obr. 124: Stav tělísek nezesíťovaného PA11 v etylenglykolu po 72 hodinách.....	133
Obr. 125: Stav tělísek zesíťovaného PA11 v etylenglykolu po 72 hodinách. ....	133

---

Obr. 126: Stav tělísek zesíťovaného PA11 v etylenglykolu po 120 hodinách. ....	134
Obr. 127: Umístněný tělísek v referenčním prostředí.....	137
Obr. 128: Umístněný tělísek v prostředí brzdové kapaliny. ....	137
Obr. 129: Umístněný tělísek v referenčním prostředí po 168 hodinách. ....	138
Obr. 130: Umístněný tělísek v prostředí brzdové kapaliny po 168 hodinách. ....	138
Obr. 131: Stupeň nabotnění PBT.....	141
Obr. 132: Stupeň nabotnění PA11. ....	142
Obr. 133: Stupeň nabotnění PA12. ....	142
Obr. 134: Stupeň nabotnění HDPE.....	143
Obr. 135: Stupeň nabotnění PA6 30%GF.....	143
Obr. 136: Stupeň nabotnění PA6.6. ....	144
Obr. 137: Stupeň nabotnění PA 66 30%GF.....	144

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1: Plasty používané pro radiální síťování. [24].....	29
Tab. 2: Podmínky zkoušení podle ISO 291. ....	30
Tab. 3: Používané chemikálie podle ISO175.....	31
Tab. 4: Odhad změn.....	34
Tab. 5: Doporučené teploty podle ISO 16750-5.....	34
Tab. 6: Chemické kapaliny podle ISO 16750-5. ....	35
Tab. 7: Příklad použitého napětí doporučeno normou.....	37
Tab. 8: Sledované vlastnosti podle. ....	40
Tab. 9: Technické údaje vstřikovacího stroje Allrounder 420C.....	52
Tab. 10: Parametry nastavení vstřikovacího stroje. ....	53
Tab. 11: Velikost ozáření materiálů.....	55
Tab. 12: Naložení materiálů ve zkušebních kapalinách. ....	56
Tab. 13: Složení kapaliny FAM-B.....	57
Tab. 14: Vlastnosti kapaliny FAM-B. ....	57
Tab. 15: Složení směsné motorové nafty B30. ....	58
Tab. 16: Vlastnosti směsné motorové nafty B30.....	58
Tab. 17: Technické specifikace Resil Impactor Junior.....	62
Tab. 18: Technické specifikace Zwick 5113 .....	62
Tab. 19: Podmínky naložení pro jednotlivé materiály.....	64
Tab. 20: Podmínky měření rázových vlastností.....	64
Tab. 21: Podmínky měření koroze pod napětí. ....	64
Tab. 22: Rázová houževnatost PBT v referenčním prostředí. ....	65
Tab. 23: Rázová houževnatost PBT v motorovém oleji. ....	66
Tab. 24: Rázová houževnatost PBT v etylenglykolu.....	66
Tab. 25: Rázová houževnatost PBT v ethanolu.....	67
Tab. 26: Rázová houževnatost PBT v brzdové kapalině. ....	68
Tab. 27: Rázová houževnatost PBT v kapalině FAM-B. ....	68
Tab. 28: Rázová houževnatost PBT v bionaftě B30.....	68
Tab. 29: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v referenčním prostředí.....	69
Tab. 30: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v motorovém oleji.....	70
Tab. 31: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v etylenglykolu. ....	70
Tab. 32: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v ethanolu. ....	71



Tab. 33: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v brzdové kapalině.....	72
Tab. 34: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v kapalině FAM-B.....	72
Tab. 35: Rázová houževnatost zesíťovaného PBT v bionaftě B30. ....	72
Tab. 36: Rázová houževnatost PA12 v referenčním prostředí. ....	76
Tab. 37: Rázová houževnatost PA12 v motorovém oleji. ....	77
Tab. 38: Rázová houževnatost PA12 v etylenglykolu.....	77
Tab. 39: Rázová houževnatost PA12 v ethanolu. ....	78
Tab. 40: Rázová houževnatost PA12 v brzdové kapalině. ....	79
Tab. 41: Rázová houževnatost PA12 v kapalině FAM-B.....	79
Tab. 42: Rázová houževnatost PA12 v bionaftě B30. ....	79
Tab. 43: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v referenčním prostředí.....	80
Tab. 44: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v motorovém oleji.....	81
Tab. 45: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v etylenglykolu. ....	81
Tab. 46: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v ethanolu.....	82
Tab. 47: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v brzdové kapalině.....	83
Tab. 48: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v kapalině FAM-B.....	83
Tab. 49: Rázová houževnatost zesíťovaného PA12 v bionaftě B30.....	83
Tab. 50: Rázová houževnatost PA11 v referenčním prostředí. ....	87
Tab. 51: Rázová houževnatost PA11 v motorovém oleji. ....	88
Tab. 52: Rázová houževnatost PA11 v etylenglykolu.....	88
Tab. 53: Rázová houževnatost PA11 v ethanolu. ....	89
Tab. 54: Rázová houževnatost PA11 v brzdové kapalině. ....	90
Tab. 55: Rázová houževnatost PA11 v bionaftě B30. ....	90
Tab. 56: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v referenčním prostředí.....	91
Tab. 57: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v motorovém oleji.....	91
Tab. 58: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v etylenglykolu. ....	92
Tab. 59: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v ethanolu.....	93
Tab. 60: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v brzdové kapalině.....	93
Tab. 61: Rázová houževnatost zesíťovaného PA11 v bionaftě B30.....	94
Tab. 62: Rázová houževnatost HDPE v referenčním prostředí. ....	97
Tab. 63: Rázová houževnatost HDPE v motorovém oleji.....	98
Tab. 64: Rázová houževnatost HDPE v etylenglykolu.....	98
Tab. 65: Rázová houževnatost HDPE v ethanolu.....	99
Tab. 66: Rázová houževnatost HDPE v brzdové kapalině. ....	100

Tab. 67: Rázová houževnatost HDPE v kapalině FAM-B. ....	100
Tab. 68: Rázová houževnatost HDPE v bionaftě B30. ....	100
Tab. 69: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v referenčním prostředí. ....	101
Tab. 70: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v motorovém oleji. ....	102
Tab. 71: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v etylenglykolu. ....	102
Tab. 72: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v ethanolu. ....	103
Tab. 73: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v brzdové kapalině. ....	104
Tab. 74: Rázová houževnatost zesíťovaného HDPE v kapalině FAM-B. ....	104
Tab. 75: Rázová houževnatost PA 6.6 30 % GF v referenčním prostředí. ....	108
Tab. 76: Rázová houževnatost PA 6.6 30 % GF v motorovém oleji. ....	109
Tab. 77: Rázová houževnatost PA 6.6 30 % GF v etylenglykolu. ....	109
Tab. 78: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v referenčním prostředí. ....	110
Tab. 79: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v motorovém oleji. ....	111
Tab. 80: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6.6 30 % GF v etylenglykolu. ....	111
Tab. 81: Rázová houževnatost PA 6 30 % GF v referenčním prostředí. ....	114
Tab. 82: Rázová houževnatost PA 6 30 % GF v motorovém oleji. ....	115
Tab. 83: Rázová houževnatost PA 6 30 % GF v motorovém oleji. ....	115
Tab. 84: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji. ....	116
Tab. 85: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji. ....	117
Tab. 86: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 6 30 % GF v motorovém oleji. ....	117
Tab. 87: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v referenčním prostředí. ....	120
Tab. 88: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v kapalině FAM-B. ....	120
Tab. 89: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v bionaftě B30. ....	121
Tab. 90: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v referenčním prostředí. ....	121
Tab. 91: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v kapalině FAM-B. ....	122
Tab. 92: Rázová houževnatost PA 66 30 % GF v bionaftě B30. ....	122
Tab. 93: Rázová houževnatost PA 66 40 % GF v referenčním prostředí. ....	124
Tab. 94: Rázová houževnatost PA 66 40 % GF v kapalině FAM-B. ....	124
Tab. 95: Rázová houževnatost PA 66 40 % GF v bionaftě B30. ....	125
Tab. 96: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 66 40 % GF v referenčním prostředí. ..	125
Tab. 97: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 66 40 % GF v kapalině FAM-B. ....	126
Tab. 98: Rázová houževnatost zesíťovaného PA 66 40 % GF v bionaftě B30. ....	126
Tab. 99: Korozie pod napětím PA11 – referenční prostředí. ....	128

Tab. 100: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA11 – referenční prostředí.....	128
Tab. 101: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA11 – referenční prostředí.....	129
Tab. 102: Koroze pod napětím PA11 – prostředí etylenglykolu. ....	129
Tab. 103: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA11- etylenglykol. ....	130
Tab. 104: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA11- etylenglykol. ....	130
Tab. 105: Koroze pod napětím PA12 – referenční prostředí.....	135
Tab. 106: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA12 – referenční prostředí.....	135
Tab. 107: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím ozářeného PA12 – referenční prostředí. ....	135
Tab. 108: Koroze pod napětím PA12 – prostředí brzdové kapaliny. ....	136
Tab. 109: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím PA12 – v brzdové kapalině.....	136
Tab. 110: Zbytkové rázové vlastnosti po zkoušení koroze pod napětím ozářeného PA12- v brzdové kapalině. ....	136
Tab. 111: Hodnoty botnání v motorovém oleji.....	139
Tab. 112: Hodnoty botnání v etylenglykolu. ....	140
Tab. 113: Hodnoty botnání v ethanolu. ....	140
Tab. 114: Hodnoty botnání v brzdové kapalině.....	141

**SEZNAM PŘÍLOH**

P I	CERTIFIKÁT OZÁŘENÍ BGS
P II	MATERIÁLOVÉ LISTY PBT(přiloženo na CD)
P III	MATERIÁLOVÉ LISTY PA 11(přiloženo na CD)
P IV	MATERIÁLOVÉ LISTY PA 6(přiloženo na CD)
P V	MATERIÁLOVÉ LISTY PA 6.6(přiloženo na CD)
P VI	MATERIÁLOVÉ LISTY (HDPE) (přiloženo na CD)
P VII	BEZPEČNOSTNÍ LIST SHERON (ETYLENGLYKOL) (přiloženo na CD)
P VIII	MATERIÁLOVÉ LISTY BRZDOVÉ KAPALINY(přiloženo na CD)
P IX	MATERIÁLOVÉ LISTY MOTOROVÝ OLEJ(přiloženo na CD)
P X	TECHNICKÉ DATA ZWICK 5113(přiloženo na CD)
P XI	KOMPLETNÍ VÝSLEDKY BOTNÁNÍ(přiloženo na CD)
P XII	KOMPLETNÍ VÝSLEDKY RÁZOVÉ ZKOUŠKY(přiloženo na CD)
P XIII	TECHNICKÁ DOKUMENTACE PŘÍPRAVKU ESC (přiloženo na CD)

# PŘÍLOHA I: CERTIFIKÁT OZÁŘENÍ BGS 1/2

## Zertifikat

## BGS

IDEEN PLUS ENERGIE

BGS Industriestraße 9 93342 Saal  
Tomas Bata University  
Faculty of Technology  
Assoc. Prof. Miroslav Manas  
nam.T.G. Masaryka 275  
762 72 Zlin  
Tschechische Republik

Customer-no. : 330049  
Date : 16.03.2011  
Page : 1 of 2

### Certificate-no.: 31300814

BGS-order-no.: 313.00636.01

Your order.: 15.03.2011...

Article: irradiation of samples

Batch: Prüfstäbe

Type of irradiation: Electrons

Energy [MeV]: 10

Min. dose [kGy]: 33,00

Irradiation date: 15.03.2011

1 Box(es)

measured surface dose [kGy]: 37,1

BGS-order-no.: 313.00636.02

Your order.: 15.03.2011...

Batch: Prüfstäbe

Article: irradiation of samples

Type of irradiation: Electrons

Energy [MeV]: 10

Min. dose [kGy]: 66,00

Irradiation date: 15.03.2011

1 Box(es)

measured surface dose [kGy]: 74,1

BGS-order-no.: 313.00636.03

Your order.: 15.03.2011...

Batch: Prüfstäbe

Article: irradiation of samples

Type of irradiation: Electrons

Energy [MeV]: 10

Min. dose [kGy]: 99,00

Irradiation date: 15.03.2011

1 Box(es)

measured surface dose [kGy]: 111,0

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



# PŘÍLOHA I: CERTIFIKÁT OZÁŘENÍ BGS 2/2

## Zertifikat

**BGS**

IDEEN PLUS ENERGIE

Certificate-no.: 31300814  
Page : 2 of 2**BGS-order-no.:** 313.00636.04**Your order.:** 15.03.2011...

Batch: Prüfstäbe

Article: irradiation of samples

Type of irradiation:

Electrons

Energy [MeV]:

10

Min. dose [kGy]:

132,00

Irradiation date:

15.03.2011

1 Box(es)

measured surface dose [kGy]: 148,7

**BGS-order-no.:** 313.00636.05**Your order.:** 15.03.2011...

Batch: Prüfstäbe

Article: irradiation of samples

Type of irradiation:

Electrons

Energy [MeV]:

10

Min. dose [kGy]:

165,00

Irradiation date:

15.03.2011

1 Box(es)

measured surface dose [kGy]: 185,7

**BGS-order-no.:** 313.00636.06**Your order.:** 15.03.2011...

Batch: Prüfstäbe

Article: irradiation of samples

Type of irradiation:

Electrons

Energy [MeV]:

10

Min. dose [kGy]:

198,00

Irradiation date:

15.03.2011

1 Box(es)

measured surface dose [kGy]: 224,3

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