

# **Vliv polymerního recyklátu na vlastnosti polypropylenu plněného mastkem**

Bc. Jakub Vážný

---

Diplomová práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2016/2017

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Vážný**  
Osobní číslo: **T15347**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv polymerního recyklátu na vlastnosti polypropylenu plněného mastkem**

Zásady pro vypracování:

- 1. Zpracování literární studie dané problematiky**
- 2. Příprava recyklátu**
- 3. Příprava zkušebních tělísek**
- 4. Provedení zkoušek**
- 5. Vyhodnocení výsledků**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Vojtěch Šenkeřík, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2017**

Termín odevzdání diplomové práce:

**12. května 2017**

Ve Zlíně dne 26. ledna 2017



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



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

Příjmení a jméno: VÁŽNÝ JAKUB

Obor: VÝROBNÍ INŽENÝRSTVÍ

## 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 12. 5. 2017

  
.....

<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 nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá zkoumáním vlivu velikosti polymerního recyklátu polypropylenu plněného mastkem.

Teoretická část obecně popisuje vlastnosti polypropylenu, v práci jsou rozděleny a popsány plniva, obecně popsán proces vstřikování a také jsou popsány mechanické zkoušky, které jsou zapotřebí ke zkoumání vlastností materiálu.

Praktická část je zaměřena na recyklaci polymerního materiálu a jeho opětovné použití při vstřikování polypropylenu plněného mastkem. Popisuje několik zkušebních těles zhotovených z odlišných velikostí drtí a výsledky mechanických zkoušek.

Klíčová slova: polymer, polypropylen, mastek, mechanické vlastnosti

## **ABSTRACT**

This thesis examines the impact of recycling polymer to polypropylene filled with talc.

Theoretical part generally describes the properties of polypropylene, they are divided and described fillers and also describes the mechanical tests that are necessary to investigate the material properties.

The practical part is focused on recycling the polymer material and its reuse during injection of polypropylene filled with talc. Describes several samples with different percentages of the recycled material and the results of mechanical tests.

Keywords: polymer, polypropylene, talc, mechanical properties

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu doktoru Vojtěchu Šenkeříkovi, za odborné vedení práce a za podnětné připomínky. Dále pak panu inženýru Františku Vavříkovi za pomoc a dohled při vstřikování zkušebních těles. Nakonec bych rád poděkoval rodině a přítelkyni, kteří pro mě byli velkou oporou.

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

Ve Zlíně 12.5.2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Vavřík', written over a horizontal dotted line.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>6</b>
<b>1 RECYKALCE PLASTŮ</b> .....	<b>7</b>
1.1 POLYPROPYLEN JAKO ODPAD .....	7
1.2 ZPŮSOBY RECYKLACE .....	8
1.2.1 Materiálová recyklace .....	8
1.2.2 Surovinová recyklace .....	9
1.2.3 Energetická recyklace .....	9
1.2.4 Chemická recyklace .....	9
1.3 METODY ZPRACOVÁNÍ RECYKLÁTU .....	10
1.3.1 Drcení plastů .....	10
1.3.2 Prosévání materiálu .....	11
<b>2 POLYPROPYLEN</b> .....	<b>12</b>
2.1 HISTORIE.....	12
2.2 VÝROBA.....	13
2.3 VLASTNOSTI.....	13
2.4 PLNIVA.....	15
2.4.1 Mastek jako plnivo .....	15
<b>3 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>17</b>
3.1 PRŮBĚH VSTŘIKOVÁNÍ .....	17
3.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	18
3.3 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	19
3.4 VSTŘIKOVÁNÍ POLYPROPYLENU S TALKEM .....	20
<b>4 ZKOUŠKY MACHANICKÝCH VLASTNOSTÍ</b> .....	<b>22</b>
4.1 ZKOUŠKA TAHEM .....	23
4.1.1 Zkušební tělesa.....	24
4.2 ZKOUŠKY TVRDOSTI.....	25
4.2.1 Metoda dle Brinella.....	25
4.2.2 Metoda dle Rockwella.....	25
4.2.3 Metoda dle Vickerse .....	26
4.2.4 Metoda Shore .....	26
4.2.5 Metoda IRHD.....	27
4.3 RÁZOVÁ A VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST .....	27
4.3.1 Zkouška Chapyho kladivem.....	27
4.3.2 Zkušební tělesa.....	29
4.4 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI .....	29
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>30</b>
<b>5 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>31</b>
<b>6 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES</b> .....	<b>32</b>



6.1	ZKOUMANÝ MATERIÁL.....	32
6.2	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	32
6.3	ZKUŠEBNÍ TĚLESO .....	33
<b>7</b>	<b>RECYKLACE .....</b>	<b>34</b>
7.1	DRCENÍ .....	34
7.2	PROSÉVÁNÍ.....	35
<b>8</b>	<b>VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES S UŽITÍM RECYKLÁTU .....</b>	<b>40</b>
<b>9</b>	<b>MECHANICKÉ ZKOUŠKY.....</b>	<b>41</b>
9.1	ZKOUŠKA TVRDOSTI SHORE D .....	41
9.2	VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY TVRDOSTI SHORE D .....	42
9.3	ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU .....	43
9.4	VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY RÁZEM V OHYBU.....	44
9.4.1	Síla při přeražení .....	44
9.4.2	Vrubová houževnatost.....	47
9.5	STATICÁ ZKOUŠKA TAHEM.....	49
9.6	VYHODNOCENÍ STATICKÉ ZKOUŠKY TAHEM.....	50
9.6.1	Modul pružnosti v tahu .....	51
9.6.2	Mez pevnosti v tahu .....	53
9.6.3	Protažení.....	56
<b>10</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>59</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY.....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>70</b>

## ÚVOD

V dnešní době se téměř ve většině firem zabývajících se vstřikováním objevuje potřeba spotřebovat, nebo nějakým způsobem znovu uvádět do výroby výrobky, které neprošly kvalitativní kontrolou, nebo z jiného důvodu nebylo možné jejich uvedení k expedici.

Řešením je recyklace výrobku a jeho opětovné použití při výrobě nového výrobku. Z hlediska ekonomického by bylo pro firmu nejlepší využití 100 % recyklátu, ovšem z hlediska technologického tak vysoké množství není možné, jelikož by nebyla zaručena vyrobiteľnost a kvalita výsledného výrobku. U polymerů s plnivý se tyto nároky ještě ztěžují, jelikož má plnivo zásadní vliv na vlastnosti výsledného materiálu.

Polypropylen plněný mastkem, na který je zaměřena tato práce, je materiál hojně využíván pro venkovní aplikace s požadavkem na větší pevnost se zachováním rázových vlastností. Využití nachází při výrobě různých konstrukčních dílů, kde jako příklad můžeme uvést nárazníky automobilů.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 RECYKALCE PLASTŮ

Jelikož jsou polymery ve své čisté formě drahou záležitostí, dochází ve většině firem k plnění primární složky recyklátem. Recyklace má původ v anglickém slově recycling, což znamená recirkulaci, neboli znovupoužití. Z odpadu se tedy vytvoří druhotná surovina, která je vhodná k dalšímu využití. Recykláty významně šetří přírodní zdroje a také snižují ekologickou zátěž prostředí. Získávají se jako technologický, nebo amortizační (užitný) odpad. Mezi technologické odpady řadíme např. vadné výrobky, vtokové systémy, odstříky atd.. Užitný odpad vzniká z výrobků, kterým skončila jejich životnost, nebo se porouchaly. Užitné odpady jsou ovšem méně kvalitnější než technologické, jelikož byly vystaveny znečištění a došlo k degradaci materiálu stárnutím. [8],[23]

### 1.1 Polypropylen jako odpad

Jakožto užitný odpad se polypropylen shromažďuje ve formě lahví na kečup, jogurtových kelímků, krabiček na margarín a podobně. Z celkového množství komunálního odpadu zastupuje 6 %.

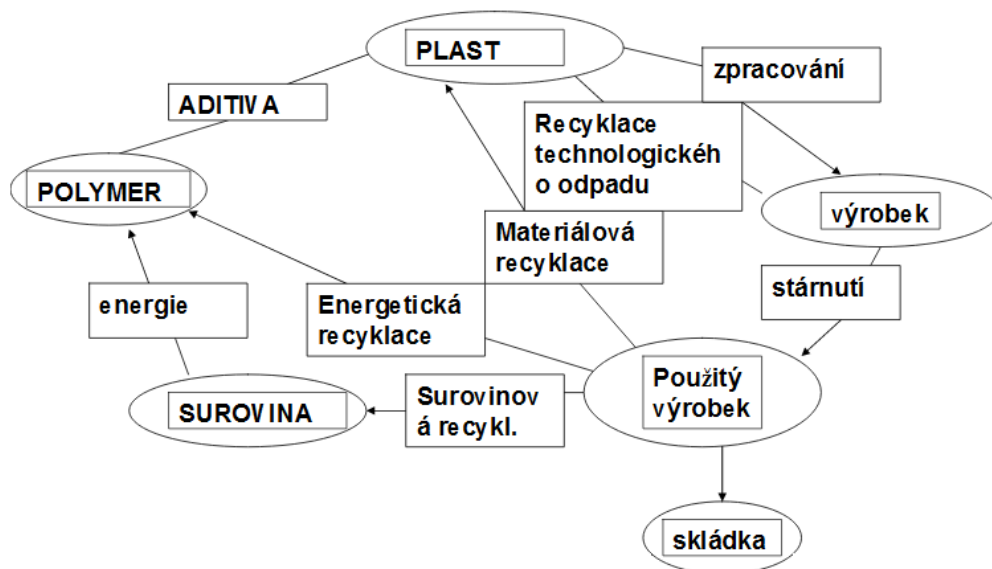
*Tab. 1. Zastoupení polymerů v komunálním odpadu [8]*

<b>polymer</b>	<b>zkratka</b>	<b>zastoupení [%]</b>
Polyethylen	PE	59
Polystyren	PS	12
Polyvinylchlorid	PVC	9
Polypropylen	PP	6
Polyethylentereftalát	PET	6
Ostatní		8

Sesbírané výrobky procházejí přes třídící linku, kde probíhá separace výrobků z jednotlivých materiálů. Ke třídění slouží recyklační symboly, které obsahuje každý plastový výrobek z komunálního oběhu, a který značí z kterého materiálu je daná věc vyrobena. Polypropylen nese označení s číslem 5. Získaný materiál je posléze buďto slisován do balíků, nebo rozemlet. Dalším krokem, ne však nutným, je plastifikace drtí a následná regranulace. [8]

## 1.2 Způsoby recyklace

Způsoby recyklace se liší dle použitého materiálu, dle použitých příměsí neboli aditiv a také dle toho, zda se jedná o materiál mechanicky čistý. Hlavní způsoby recyklace jsou: materiálová, surovinová, energetická a chemická. Cyklus a způsoby recyklace jsou znázorněny na (Obr. 1). [8]



Obr. 1. Recyklační cyklus [8]

### 1.2.1 Materiálová recyklace

Během této recyklace nedochází, při tvorbě nového výrobku, ke změnám v chemické struktuře. Odpad je přetaven na tvarové dílce nebo polotovary (kompostéry). Dále je možno použít jako aditiva do stavebních prvků, kde může recykláž zastupovat až 80 % z celkového objemu (protihlukové bariéry). Problémem je nedefinovaná barevnost nového výrobku, změna fyzikálních a chemických parametrů a nemožnost využití v potravinářském odvětví. Před samotným zpracováním se rozdílné materiály třídí různými metodami:

- Třídění vzduchem
- Třídění hydrocyklónem
- Třídění flotací

Flotace je metoda využívána pro polyolefiny, tedy i polypropylen. Jedná se o třídění ve vodní nádrži. Polypropylen díky své hustotě zůstane plavat, přičemž ostatní polymery klesají ke dnu nádrže. [8],[23]

### 1.2.2 Surovinová recyklace

Tato metoda nachází využití u velmi znečištěných směsí odpadu. Principem je rozklad vysokomolekulárních látek a následné dělení a čištění finálních sloučenin. K tomuto účelu využíváme následujících metod:

- Tepelné štěpení,
- Hydrolýza,
- Chemické zpracování,
- Depolymerace,
- Termicky destrukční procesy.

V porovnání s materiálovou recyklací jsou finanční požadavky poloviční, lze zpracovávat plasty obsahující kovy a dokážou separovat chlór. [8],[23]

### 1.2.3 Energetická recyklace

Jedná se o spalování, což je využíváno především u nepolymerních materiálů, které představují pouze 10 % z celkového spalovaného odpadu. Nicméně díky vysoké výhřevnosti vytváří spalované polymery i v tomto malém množství 50 % vytvořené energie. Výhodná je tato metoda především pro kontaminované a silně znečištěné plastové odpady. Polypropylenový odpad má nejvyšší výhřevnost, ze všech recyklovaných polymerů. Výhřevnost činí  $44 \text{ MJ.kg}^{-1}$ . [8],[23]

### 1.2.4 Chemická recyklace

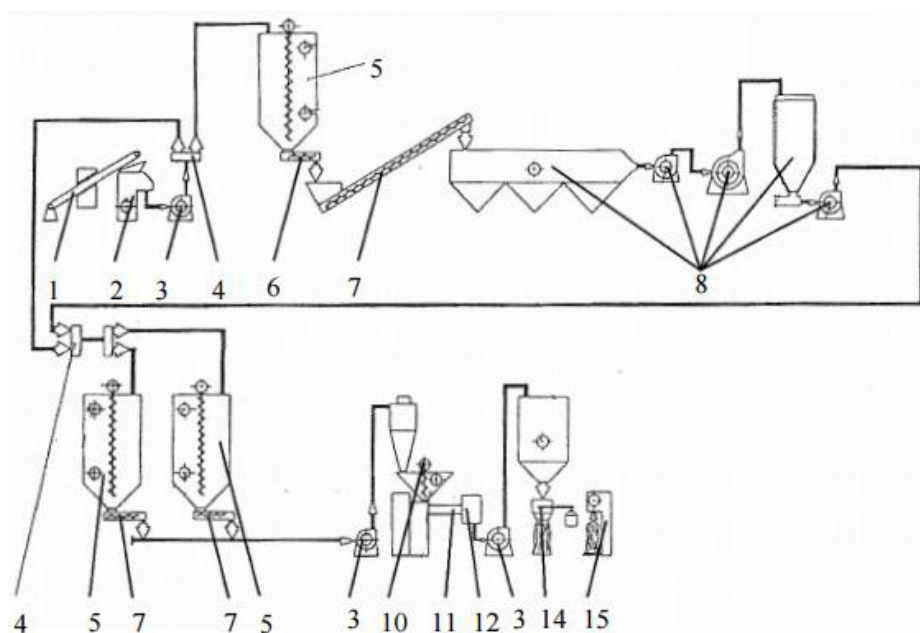
Princip je založen na chemickém rozkladu polymeru na monomerní jednotky. Dalším chemickým zpracováním získáme z monomerů použitelné suroviny. Nevýhodou jsou vysoké náklady na zpracovatelské zařízení. Rozdělujeme dvě základní metody chemické recyklace:

- Tepelná depolymerace,
- Solvolýza. [8],[23]

### 1.3 Metody zpracování recyklátu

Zpracování rozdělujeme na primární a sekundární. Primární probíhá přímo ve výrobních firmách. Zpracovává se čistý nekontaminovaný odpad (neshodné výrobky, vtokové soustavy), který je po zpracování možno přidávat k čistému materiálu. Také je možno tento materiál zpracovávat samostatně pro druhořadé výrobky. Tato metoda je jednoduchá a finančně nenáročná.

Sekundární se většinou provádí u komunálního odpadu, kdy je zapotřebí roztřídit různé druhy materiálů. Mimo třídění se také provádí čištění a sušení. [8],[9]

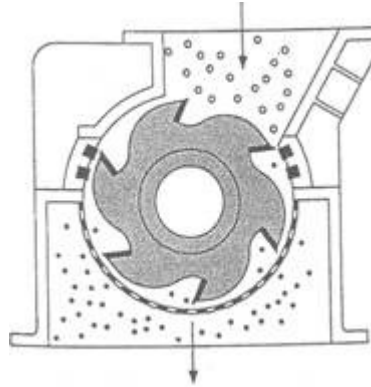


Obr. 2. Linka na zpracování plastového odpadu. [9]

1 – dopravní pás, 2 – mlýn, 3 – transportní dmýchadlo, 4 – potrubí výhybky, 5 – zásobník, 6 – vynášecí šnek, 7 – šnekový dopravník, 8 – praní a sušení, 10 – násypka, 11 - vytlačovací stroj, 12 – granulační zařízení, 14 – dávkovací zařízení, 15 – svařování pytlů

#### 1.3.1 Drcení plastů

Aby bylo možné odpadní materiál dále zpracovávat, je nutné jeho nadrcení. K těmto účelům se využívají různá mechanická zařízení. Jedním z nejčastěji používaných zařízení je nožový mlýn, který vstupující materiál seká na menší části. Pod mlýnem bývá umístěno síto, které propouští částice požadované maximální velikosti.



*Obr. 3. Nožový mlýn [10]*

Po nadrcení je materiál většinou zpracováván jednošnekovým vytlačovacím strojem, který má na konci granulační jednotku. O výsledném granulátu hovoříme jako o regenerátu a používáme ho jako plnivo. Do základní hmoty se doporučuje přidávat maximálně 20 % regenerátu. [9],[10]

### **1.3.2 Prosévání materiálu**

Prosévání neboli frakcionace je separační metoda, během které dochází k rozdělení materiálu na frakce o stejné velikosti. Nejpoužívanější metodou prosévání je síťování. Samotná síta jsou přepážky z odolného materiálu, jež mají díry různých tvarů a velikostí. Při síťování musíme dbát na pravidlo dokonale suchého materiálu a dávkování v přiměřeném množství. Mezi průmyslové třídící zařízení řadíme: vibrační prosévací přístroj, rovinný prosévací přístroj, válcová síta a cyklónový třídič. [24]

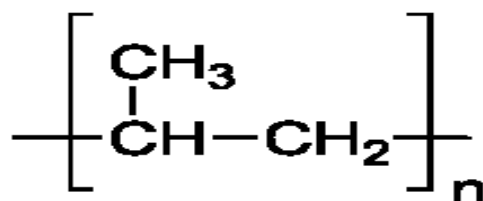


*Obr. 4. Vibrační síťovací  
zařízení [11]*



## 2 POLYPROPYLEN

Polypropylen spadá do skupiny syntetických polymerů, což jsou takové polymery, které se v přírodě nevyskytují, a člověk je vyrábí chemickou syntézou. Pokud si polymery rozdělíme na termoplasty a reaktoplasty, pak spadá polypropylen do termoplastů. Lze jej tedy zvýšením teploty uvést ze stavu tuhého do stavu plastického a to i opakovaně. [1],[2],[3]



Obr. 5. Chemický vzorec PP [12]

### 2.1 Historie

Počátky polypropylenu se tradují do roku 1869, kdy Barthelot vyrobil reakcí propylenu s koncentrovanou kyselinou sírovou první polymer propylenu, výsledkem však byla parafinická, až blátivá struktura, která nenacházela uplatnění.

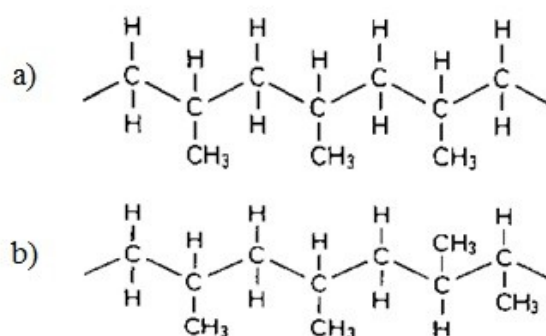
O výrobu použitelného polymeru se postaral v roce 1953 chemik Giulio Natta, který využil organokovových katalyzátorů na bázi titanu a hliníku k syntéze izotaktického polypropylenu. Tento počín byl do historie zapsán jako mezník v syntézách polymerů. Za tento objev dostal v roce 1963 Giulio Natta spolu s Karlem Zieglerem, jež vyvinul organokovové katalyzátory, Nobelovu cenu za chemii.

Díky své příznivé ceně a užitným vlastnostem se polypropylen rozšířil počátkem šedesátých let do celého světa. Do tehdejšího Československa se polypropylen dostal v sedmdesátých letech, kdy jej vyráběl Slovnaft a Záluží u Mostu.

Od šedesátých let do současnosti prošel polypropylen velkým množstvím výzkumů, jejichž výsledkem jsou lepší technologické procesy a různé nové modifikace, které mu umožňují uplatnění v širším rozmezí aplikací. V dnešní době se ve velkém objemu zpracovává při výrobě automobilů, domácích spotřebičů, nebo například pro výrobu trubek vodovodních rozvodů. Uplatnění si však našel také ve specializované výrobě netkaných textilií typu spun-bond a melt-blow. Polypropylen je tedy díky velkému množství aplikací a snadné recyklaci velmi žádaným materiálem. [1],[2],[3]

## 2.2 Výroba

Jak již bylo zmíněno, je výroba polypropylenu založena na principu Ziegler-Nattových katalyzátorů. Při výrobě je kladen velký důraz na izotakticitu materiálu, což je pravidelné uspořádání substituentů a makromolekul. Ve skutečnosti dochází k přítomnosti i ataktického uspořádání, což je příčinou zhoršení mechanických vlastností materiálu. Pro praxi byl vytvořen index izotakticity, který udává podíl izotaktické složky. Minimální hodnota indexu činí 95 %. Moderní postupy s využitím metallocenových katalyzátorů umožňují výrobu polypropylenu s obsahem izotaktické složky 99 %. [1],[2],[3]



Obr. 6. Uspořádání methylenových skupin

a) Izotaktické, b) Ataktické [1]

Rozlišuje tři typy izotaktického polypropylenu:

- Homopolymer (PP-H) dnes (PP1),
- Blokový kopolymer (PP-B) dnes (PP2),
- Statistický kopolymer propylenu a ethylenu (PP-R) dnes (PP3).

## 2.3 Vlastnosti

Dle molekulární struktury rozlišujeme polypropylen na výše uvedený izotaktický a ataktický, dále pak na syndiotaktický. Co se týče chemického složení, jedné se o tři totožné materiály, nicméně každý z nich má jiné fyzikální vlastnosti. Srovnání je znázorněno v tabulce vlastností jednotlivých polypropylenů *Tab. 1*.

Nejpoužívanější izotaktický polypropylen se za předpokladu kladných teplot vyznačuje dobrou pevností i houževnatostí. Díky vysokému bodu tání (170 °C) je maximální teplota použití až do (135 °C). Jelikož je nepolární, má výborné elektroizolační vlastnosti.

V organických rozpouštědlech je nerozpustný až do teploty 90 °C. Oproti polyetylenu je méně odolný vůči ultrafialovému záření. Hlavním rysem polypropylenu je možnost jeho modifikací, kde za pomoci různých aditiv, neboli plniv docílíme lepších mechanických vlastností a zlepšíme chemickou odolnost.

Tab. 2. Vlastnosti jednotlivých polypropylenů [2]

Vlastnost	Izotaktický	Syndiotaktický	Ataktický
Hustota [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	920-940	890-910	850-900
Teplota tání [ $^{\circ}\text{C}$ ]	165	135	-
Mez kluzu	vysoká	střední	velmi nízká
Rozpustnost v uhlovodících při 20°C	žádná	střední	vysoká

Pro názornost jsou v Tab. 2. uvedeny vlastnosti často používaného izotaktického polypropylenu Mosten 58.412. Tyto vlastnosti nám následně poslouží ke srovnání s vlastnostmi materiálu zkoumaného v praktické části práce.

Tab. 3. Fyzikálně – mechanické vlastnosti

izotaktického polypropylenu Mosten 58.412 [2]

Vlastnost	Hodnota
Index toku taveniny (230°C;21,2N) [ $\text{g}/10 \text{ min}^{-3}$ ]	3
Hustota [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	909
Odolnost za tepla dle Vicata [ $^{\circ}\text{C}$ ]	155
Mez kluzu [MPa]	34
Deformace na mezi kluzu [%]	8
E-modul v tahu [MPa]	1600
Vrubová houževnatost Charpy (23°C) [ $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ]	3
Tvrдость Shore D [-]	70

Fyzikálním stárnutím se u polypropylenu navyšuje hustota, tuhost a mez kluzu. Tyto vlastnosti však nemají vliv na funkci. Nejvíce ovlivňujícím faktorem je degradace. U polypropylenu rozlišujeme dvě fáze degradace. První je krátkodobá, ale intenzivní a probíhá při zpracování. V této etapě mohou vznikat nové chemické skupiny, které ovlivní vlastnosti materiálu. Při uvažované recyklaci můžeme očekávat zcela jiné vlastnosti, než u původního materiálu. Druhá degradace je méně intenzivní a z časového hlediska dlouhá. Zahrnujeme sem oxidaci, fotooxidaci, termickou degradaci, radiační degradaci a další vnější vlivy. [1],[2],[3]

## 2.4 Plniva

Plniva jsou většinou tuhé látky, sloužící jako přísada do polymerních směsí, díky čemuž získává polymer zcela jiné vlastnosti. Dle užitého množství a kvality plniv, dochází k zásadním změnám výsledného výrobku.

Tvarově dělíme plniva na vlákna, granule, nebo prášky. Co se týče vláken, jedná se o krátké milimetrové délky. Granule mívají tvar válečků, které svým průměrem nepřekročí několik milimetrů a délka činí zpravidla jeden centimetr. Prášková plniva jsou pro svou prašnost čím dál častěji nahrazována zmiňovanými granulemi.

Stručně lze tedy plniva charakterizovat jako látky, zlepšující mechanické vlastnosti materiálu, zvyšující odolnost vůči teplu, stárnutí a v neposlední řadě ovlivňující vzhled a cenu.

Pro termoplasty se nejčastěji používají částicová plniva, která se od výše uvedených liší především svou velikostí, kde hovoříme o rozměrech v mikrometrech. Nejvíce jsou používány plniva na základě uhličitanu vápenatého jako je vápenec, nebo na základě křemičitanu hořečnatého jako je talek, neboli mastek.

Minerální částicová plniva obecně navyšují viskozitu taveniny, zvyšují tvrdost, tuhost a zmenšují smrštění. Některé mohou také zlepšovat kluzné vlastnosti výstříků, nebo snižovat povrchová a vnitřně izolační odpor.

Koncentračně mohou dosahovat plniva nízkých obsahů, tedy pod 1 hmotnostní procento, nebo vysokých obsahů, což je 60 a více hmotnostních procent.

Jelikož bude v této práci předmětem výzkumu mastek, byl popsán podrobněji. [1],[2],[3]

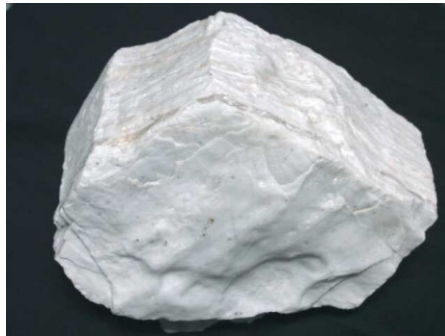
### 2.4.1 Mastek jako plnivo

Mastek je velmi měkký minerál, na stupnici tvrdosti dokonce obsazuje první místo. Svůj název získal od svého povrchu, jelikož je na omak mastný, připomínající mýdlo. Má bílou, až nazelenalou barvu. Z morfologického hlediska zaujímá lupenitý, šupinatý až celistvý tvar. Mastek je špatným vodičem tepla a elektrickému proudu klade velký odpor.

Z hlediska plniv se jedná o nejčastěji používané plnivo pro polypropylen. Užitím mastku se sníží cena, zvýší pevnost, rozměrová stabilita a krystalizace. Dojde také ke zlepšení chemicko-tepelné odolnosti. Nejčastější obsah mastku v polypropyleny činí 20 %, není to však pravidlem a můžeme se setkat i polypropylen o obsahu 60 % mastku. S rostoucím

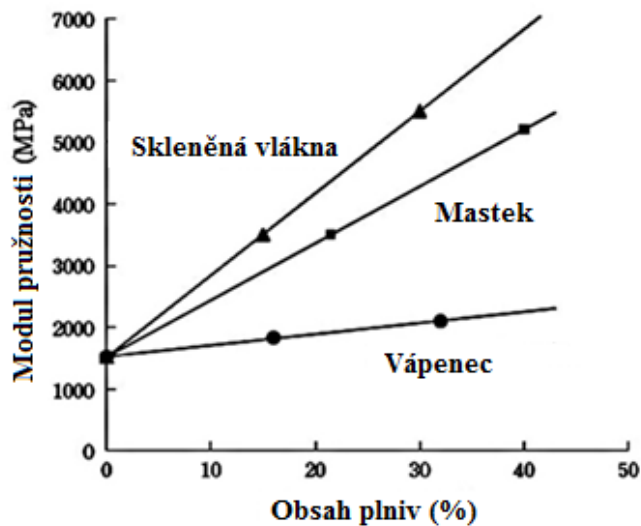
obsahem dochází k navýšení mechanických vlastností. Mez pevnosti, modul pružnosti a rázová houževnatost rostou.

Nejčastější využití tohoto plniva s polypropylenem nacházíme v automobilovém průmyslu, kde nachází uplatnění pro různé aplikace. U interiérových dílů je nacházíme například u obložení karoserie, nebo naopak v exteriéru u nárazníků, či bočních ochranných lišt.



Obr. 7. Minerální masek [13]

Na Obr. 8. lze vidět změnu modulu pružnosti při navyšování obsahu plniv v polypropylenu. Masek je zde porovnáván se skelnými vlákny a vápencem. [1],[2],[3]



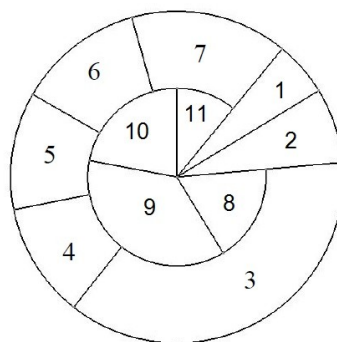
Obr. 8. Modul pružnosti v závislosti na obsahu plniv v PP[4]

### 3 VSTŘIKOVÁNÍ

Pro zpracování termoplastů a tedy i polypropylenu je nejpoužívanější metodou vstřikování. Podstata vstřikování je založena znalostí tokových vlastností vstřikovaného materiálu, který je za určité teploty, pod určitým tlakem a za určitý čas vháněn vstřikovacím strojem do formy. Výrobky jsou buď konečné, nebo slouží jako polotovary a dále se zpracovávají. Prvotní nevýhodné pořizovací náklady na vstřikovací stroj vyrovnávají výhody technologické. Výrobky jsou rozměrově a tvarově přesné, dosahují výborných kvalit povrchu a díky krátkým dobám na jeden cyklus jsou také velmi produktivní. [3],[9],[10]

#### 3.1 Průběh vstřikování

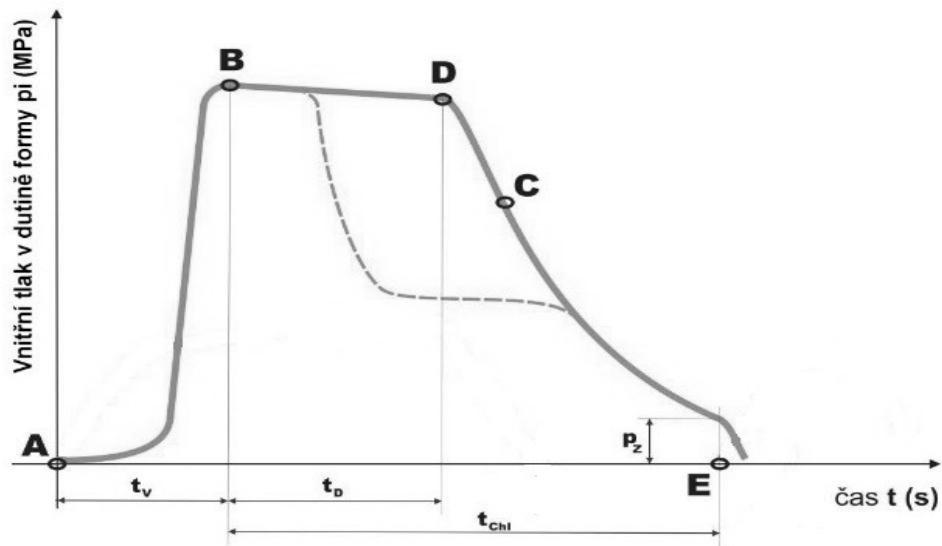
Při tomto způsobu zpracování začíná proces vsypáním materiálů, většinou ve formě granulek, do zásobníku stroje. Pomocí rozvodného systému dochází k přepravě materiálu ze zásobníku do vstřikovacího stroje. Ve vstřikovací stroji dochází pomocí šneku k posunu materiálu směrem od zásobníku k dutině formy. Během své cesty je materiál díky tření a díky topným tělesům zahříván na požadovanou teplotu, kdy dojde k přeměně z tuhého stavu do stavu tekutého. Když dojde před šnekem k nahromadění požadovaného množství tekutého polymeru, začne šnek pracovat jako píst a vtlačí, neboli vstříkne materiál do formy. Aby bylo sníženo smrštění a aby byly sníženy rozměrové změny, následuje po vstříknutí dotlak. Vstříknutý materiál ve formě následně chladne, až dosáhne teploty, při které je možné jeho vyhození. Tento výrobní proces se cyklicky opakuje.



Obr. 9. Vstřikovací cyklus [3]

1 – vstříknutí, 2 – dotlak, 3 – chlazení, 4 – otevření formy, 5 – vyprázdnění formy, 6 - příprava formy, 7 – uzavření formy, 8 – odjezd plastikací jednotky, 9 – plastikace, 10 - prodleva, 11 – přísun plastikací jednotky

Další možností popisu průběhu vstřikování je pomocí tlaku v dutině formy.



Obr. 10. Průběh vnitřního tlaku v dutině formy během vstřikování [14]

Samotné vstřikování začíná v bodě A, kde šnek vhání roztavený polymer do formy po dobu  $t_v$ . Při zaplnění okolo 95 až 97 % objemu dutiny formy se vstřikování přepne na dotlak, což znázorňuje bod B. Od bodu B do bodu D dochází k dotlaku, který doplňuje zmenšující se objem. Dobu  $t_D$  nazýváme tedy dobou dotlaku. Bod C označuje zatuhnutí hmoty ve studeném vtokovém kanálu. V bodě E dojde k otevření formy a vyhození výrobku.  $p_z$  značí zbytkový tlak, který se nachází ve formě před jejím otevřením. Od bodu B do bodu E probíhá chlazení, které na časové ose znázorňuje  $t_{ch}$ . [3],[9],[10]

### 3.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroje rozdělujeme dle pohonů na hydraulické, elektrické, nebo hybridní. Mají vždy dvě nezávislé jednotky. Vstřikovací, která dopravuje a plastifikuje polymer a uzavírací, která zajišťuje otevření a uzavření formy.

Při výběru vhodného stroje jsou stěžejní především tyto parametry:

- Vstřikovací kapacita: maximální objem taveniny plastu, který je stroj schopen vstříknout na jeden zdvih. Objem výrobku a objem vtokového systému by neměli překročit hodnotu vstřikovací kapacity.
- Plastikační kapacita: maximální množství plastu, které je stroj schopný roztavit za jednotku času.

- Uzavírací síla: síla udržující formu v uzavřeném stavu během vstřikování. Její výpočet se provede dle následujícího vzorce.

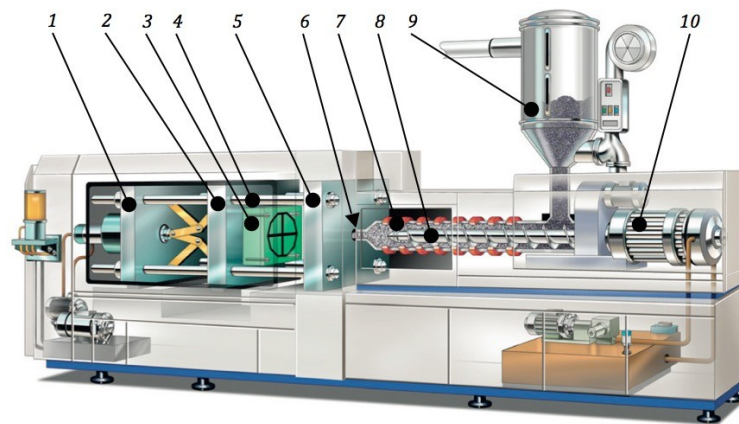
$$F_u = S \cdot p_i \text{ [kN]} \quad (1)$$

S – průmět plochy výrobku

$p_i$  – tlak v dutině formy

[3],[9],[10],[14]

Na *Obr. 11* je znázorněno schéma vstřikovacího stroje.



*Obr. 11. Schéma vstřikovacího stroje [15]*

1 – uzavírací jednotka, 2,5 – upínací desky, 3 – tvárnice, 4 – vodící sloupky, 6 – vstřikovací tryska, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka, 10 – pohon šneku

### 3.3 Vstřikovací forma

Forma je velmi důležitou a nedílnou součástí výroby vstřikovaných výrobků. Má tvar negativu výrobku. Svou konstrukcí musí zaručovat odolnost vůči vysokým tlakům, musí zaručovat přesné rozměry výrobku a také musí dovolovat vyjmutí výrobku. Materiál formy se odvíjí od zpracovávaného materiálu, od použitých technologií a samozřejmě od ceny.

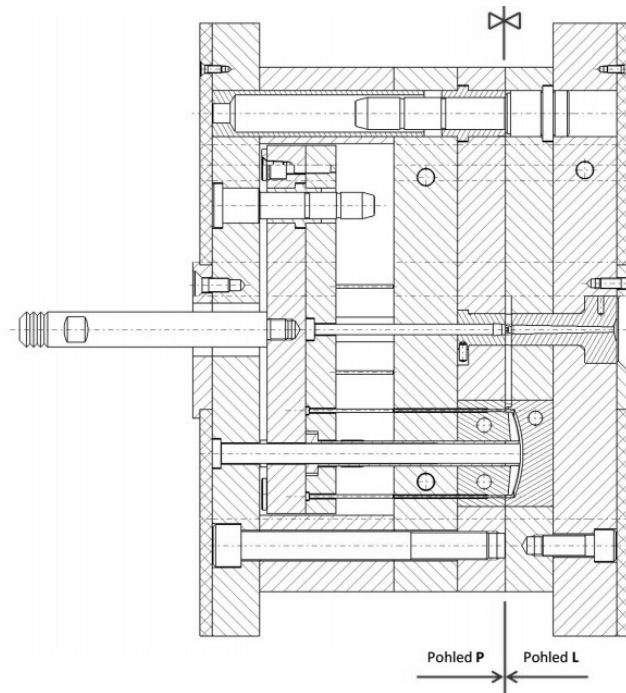
Životnost formy se prodlužuje tepelným zpracováním tvarových částí formy.

Nejdůležitějším faktorem, na který musí konstruktér formy myslet je smrštění výrobku. Tato hodnota se pro každý materiál liší a ovlivňuje ji i spousta dalších faktorů, jako jsou plniva atd. Dutina formy musí být větší o hodnotu smrštění, než je požadovaný výsledný výrobek.



Z konstrukčního hlediska si formy dělíme dle:

- Násobnosti: jednonásobné, vícenásobné
- Zaformování: dvoudeskové, třideskové, etážové, čelist'ové, vytáčečí, aj.
- Umístění vstřiku: kolmo na dělicí rovinu, do dělicí roviny



Obr. 12. Ukázka konstrukce formy[15]

Aby bylo zajištěno tuhnutí správnou rychlostí, a aby měla forma před vstříknutím správnou teplotu, obsahuje forma temperační systém. Temperační systém je skupina kanálů, které jsou vyvrtány v blízkosti místa dutiny formy, kde pomocí proudící temperační kapaliny odebírají přebytečné teplo z formy. [15]

### 3.4 Vstřikování polypropylenu s talkem

Polypropylen spadá s polyetylenem do skupiny polyolefinů, tedy částečně krystalických polymerů obsahujících pouze uhlík a vodík. Samostatný polypropylen je nenasákavý materiál s obsahem vody pod 0,1% a bez plniv se obvykle nesuší. Pokud bude ovšem plněn mastkem, pak se doporučuje před vstřikováním sušit na teplotě 80 – 110 °C po dobu 2 až 4 hodin. Smrštění u plněného PP činí 0,8 – 1,6 % v rovnoběžně a 0,7 – 1,4 % v kolmém směru. Při recyklaci dochází k opětovnému tavení materiálu, což může způsobovat jeho degradaci. PP je však schopen snášet několik recyklačních cyklů, aniž by docházelo ke ztrátám mechanických vlastností. [3]

Tab. 4. Vliv plniv na vlastnosti termoplastu

[3]

	<b>Mastek</b>
<b>Pevnost v tahu</b>	0
<b>Pevnost v tlaku</b>	+
<b>E - modul</b>	+
<b>Rázová houževnatost</b>	-
<b>Snížení teplotní roztažnosti</b>	+
<b>Snížení smrštění</b>	+
<b>Zlepšení vedení tepla</b>	+
<b>Pevnost za tepla</b>	+
<b>Elektrický odpor</b>	+
<b>Teplotní odolnost</b>	+
<b>Chemická odolnost</b>	0
<b>Zlepšení otěru</b>	+
<b>Abraze forem a strojů</b>	0
<b>Snížení ceny</b>	+

+ slabý vliv, 0 bez vlivu, - negativní vliv

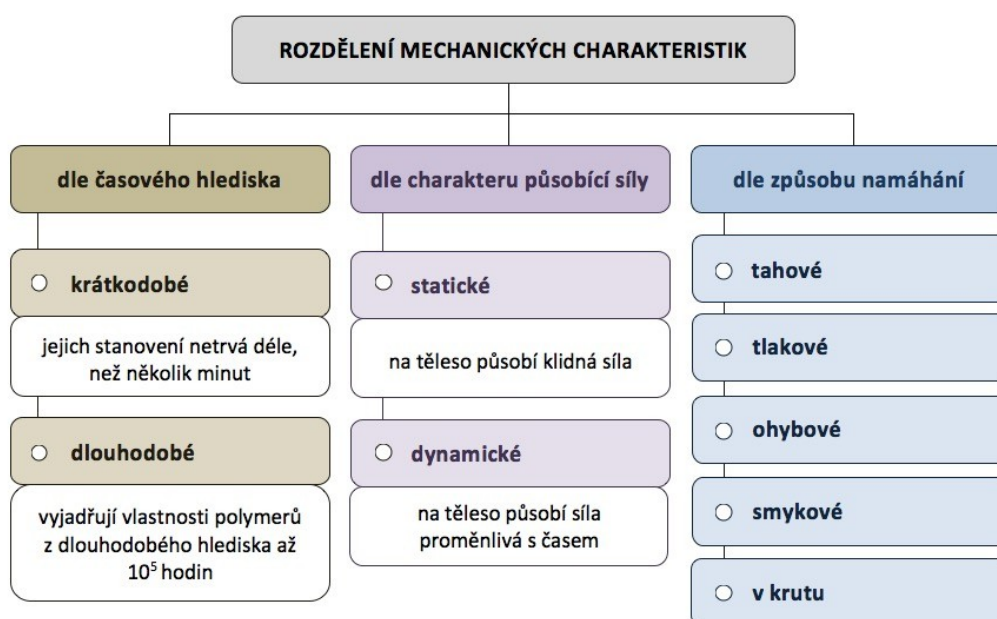
Tab. 5. Orientační parametry vstřikování

[3]

	<b>Polypropylen s 20 % mastku</b>	<b>Jednotka</b>
<b>Teplota taveniny</b>	220 - 280	[°C]
<b>Teplota formy</b>	30 - 60	[°C]
<b>Vstřikovací tlak před čelem šneku</b>	600 - 1600	[bar]
<b>Dotlak v % ze vstřikovacího tlaku</b>	50 - 90	[%]
<b>Zpětný odpor</b>	do 50	[bar]
<b>Obvodová rychlost šneku</b>	až 0,3	[m.s <sup>-1</sup> ]
<b>Max doba prodlevy ve vstřikovacím válcí</b>	40	[min]
<b>Polštář v % z dávky</b>	až 10	[%]

## 4 ZKOUŠKY MACHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

Aby bylo možné využít plastů jako konstrukčních materiálů, musíme v první řadě stanovit hodnoty mechanických vlastností. Jsou obrazem chemického složení, velikosti a tvaru makromolekul a také závislosti na teplotě a čase. K zjištění těchto hodnot využíváme zkoušek mechanických vlastností. Jelikož nejsou mechanické vlastnosti absolutní konstantou, nýbrž veličinou, která závisí na tvaru a podmínkách zkoušky, jsou stanoveny normativy, podle kterých jsou zkoušky prováděny. Experimentálně získané výsledky bývají zobrazeny v materiálových listech.



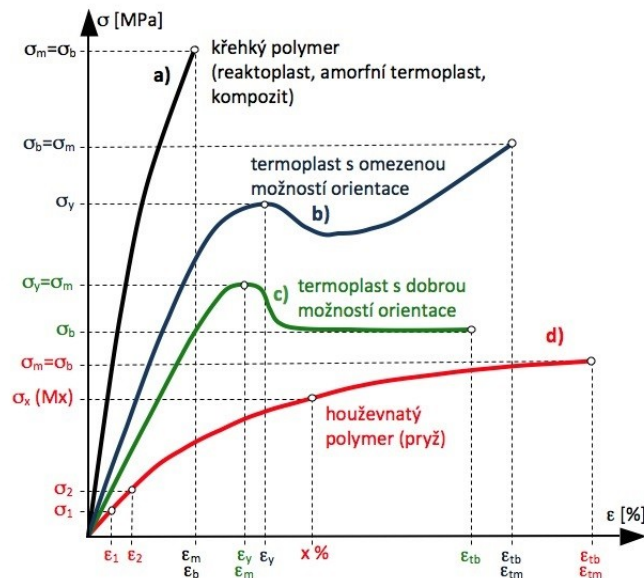
Obr. 13. Schéma rozdělení mechanických charakteristik [6]

Jelikož jsou polymery pevné a tuhé pouze z krátkodobého hlediska, ale při dlouhodobém zatěžování působí plasticky, jsou krátkodobé zkoušky pouze informativní a slouží ke kontrole vlastností materiálu a k porovnání s ostatními materiály. Z praktického hlediska se pro konstrukční výpočty používají hodnoty získané z dlouhodobých zkoušek.

Zkušební tělesa nesmí být před zkouškou vystavena jakémukoliv namáhání, jelikož by došlo k ovlivnění výsledků. Důležité je, aby zkušební vzorek dosáhl rovnovážného stavu z hlediska teploty a vzdušné vlhkosti. Toho dosáhneme kondicionováním, což je setrvání vzorku v komoře za určitých klimatických podmínek. Podmínky stanovuje norma ČSN EN ISO 291 z 9/1998. [5], [6]

## 4.1 Zkouška tahem

Tahová zkouška poskytuje nejzákladnější charakteristiky materiálu. Výsledkem je experimentálně získaná deformační křivka, znázorňující poměrné prodloužení v závislosti na normálovém napětí.



Obr. 14. Deformační křivky polymerů [6]

Samotná zkouška se provádí na trhacím zařízení. Na zkušební těleso působí, ve směru podélné osy, stále se zvětšující zatěžující síla, až do okamžiku, při kterém dojde k přetržení, nebo do doby, kdy dosáhneme zvolených hodnot. Během zkoušky je neustále zaznamenávána zatěžující síla  $F$  [N] a prodloužení tělesa  $\Delta L_0$  [mm].

**Smluvní napětí:**

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

**Poměrné prodloužení:**

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3)$$

**Jmenovité poměrné prodloužení:**

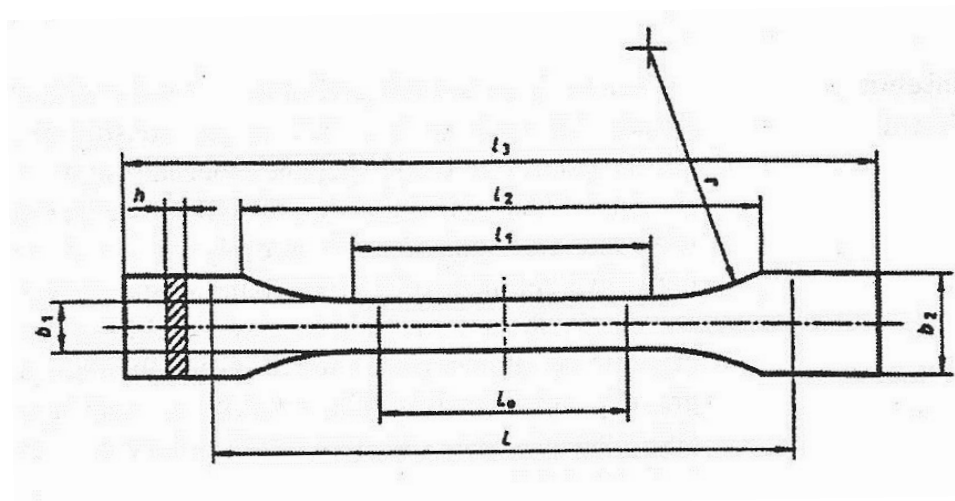
$$\varepsilon_t = \frac{L_t}{L} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

$S_0$  je původní průřez zkušebního tělesa [ $\text{mm}^2$ ],  $L_0$  je počáteční měřená délka zkušebního tělesa [mm],  $L$  je upínací vzdálenost mezi čelistmi [mm] a  $L_t$  je zvětšení upínací vzdálenosti mezi čelistmi [mm].

Rychlost deformace by měla být přibližně taková, aby k přetržení došlo v čase kolem 60 sekund. Spolu s rychlostí uvádíme do záznamu o zkoušce také teplotu a relativní vlhkost. [5], [6]

#### 4.1.1 Zkušební tělesa

Zkušební tělesa mají většinou tvar oboustranné lopatky a destičky. Pro tyto tvary je zhotovena společná forma, do které se vstříkuje.



Obr. 15. Zkušební těleso – oboustranná lopatka [16]

Tab. 6. Rozměry nejpoužívanějších typů zkušebních těles [16]

Část tělesa	Symbol	1A	1B
Celková délka	$l_3$	$\geq 150$	
Délka zúžené rovnoběžné části	$l_1$	$80 \pm 2$	$60 \pm 0,5$
Poloměr	$r$	20 až 25	$\geq 60$
Rozpětí mezi širokými rovnoběžnými částmi	$l_2$	104 až 113	106 až 120
Šířka konců	$b_2$	$20 \pm 0,2$	
Šířka zúžené rovnoběžné části	$b_1$	$10 \pm 0,2$	
Doporučená tloušťka	$h$	$4 \pm 0,2$	
Počáteční měřená délka	$L_0$	$50 \pm 0,5$	
Počáteční vzdálenost čelistí	$L$	$115 \pm 1$	$l_2 \pm 5$

## 4.2 Zkoušky tvrdosti

Další důležitou mechanickou vlastností je tvrdost. Tvrdost představuje schopnost povrchu materiálu odolávat vnikání tělesa z tvrdšího materiálu. Podstatou zkoušení tvrdosti je vnikání tzv. indentoru různého tvaru stanovenou silou do povrchu zkoušeného tělesa. Na rozdíl od kovů se měří hloubka vniknutí při zatížení a ne až po uvolnění, jelikož u plastů dochází k elastickému zotavení v místě vniknutí. Klade se velký důraz na správnou teplotu, stupeň navlhnutí a stupeň krystalinity, jelikož tyto faktory silně ovlivňují výsledky.

Existuje několik metod měření tvrdosti a z praktického hlediska se pro měření tvrdosti polymerů používají následující:

- Metoda dle Brinella,
- Metoda dle Rockwella,
- Metoda dle Vickerse,
- Metoda Shore,
- Metoda IRHD,
- Metoda vtlačováním kuličky. [5], [6]

### 4.2.1 Metoda dle Brinella

U této metody slouží jako indentor kulička o průměru  $D = 5 \pm 0,1$  mm. Zatížení probíhá za konstantní síly  $F = 50$  N po dobu 60 sekund. Proměnnou je zde hloubka vtisku  $h$ , která se odečítá hloubkovým indikátorem. Vyhodnocení probíhá dle následujícího vzorce.

$$HB = \frac{F}{\pi \cdot D \cdot h} \text{ [MPa]} \quad (5)$$

### 4.2.2 Metoda dle Rockwella

Touto metodou se měří jak po odlehčení, tak i při zatížení. Tato metoda se nazývá Rockwell a spočívá ve vtlačování kuličky o průměru  $D = 12,7$  mm nejprve po dobu 10 sekund silou  $F = 98$  N a posléze přidavnou silou  $F_m = 588,4$  N. Hloubka  $h$  se měří při celkovém zatížení a výsledná tvrdost se vypočte dle vzorce. [5], [6]

$$HR = 150 - \frac{h}{0,002} [-] \quad (6)$$

#### 4.2.3 Metoda dle Vickerse

Zde, na rozdíl od předchozích metod, vtláčujeme čtyřboký diamantový jehlan o vrcholu  $136^\circ$ . Metoda spočívá v odečítání úhlopříčky  $u$  v otisku, který vznikne působením síly  $F = 1,8544 \text{ N}$ . [5], [6]

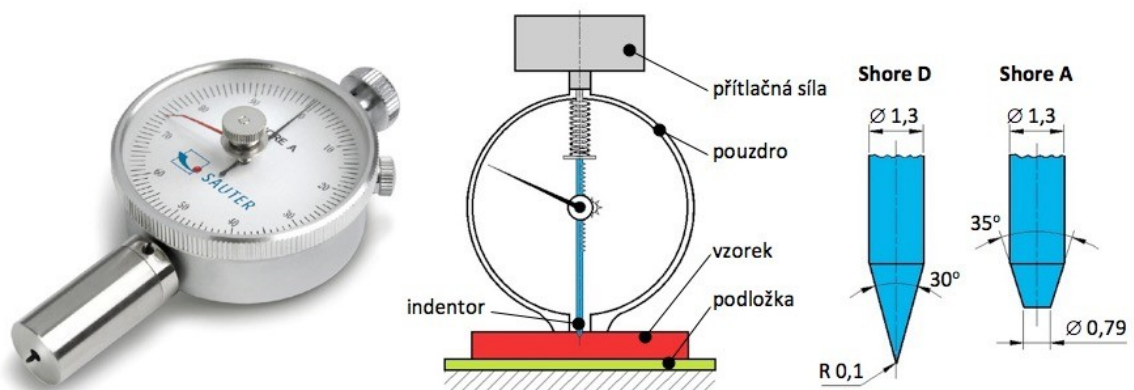
$$HV = \frac{F}{u^2} [\text{MPa}] \quad (7)$$

#### 4.2.4 Metoda Shore

V průmyslové praxi se jedná o nejrozšířenější metodu měření tvrdosti polymerů. Existují dva typy: Shore A s indentorem ve tvaru komolého kužele a Shore D s indentorem ve tvaru kužele s kulatým vrchlíkem. Pro měkčené plasty použijeme metodu Shore A s přitlačnou silou  $F = 10 \text{ N}$ . Pro tvrdší plasty použijeme Shore D s přitlačnou silou  $F = 50 \text{ N}$ .

Typické je zatěžování pomocí kalibrovaných pružin, ty je nutno ovšem před použitím kontrolovat a také vynulovat.

K určení míry tvrdosti slouží vtačená hloubka  $h$ , jež je vynášena tvrdoměrem v rozmezí od 0 po 100. Jestliže při použití metody Shore A dosáhneme velikosti 90, musíme použít metodu Shore D. Hodnotu tvrdosti odečítáme buď po 1 sekundě, čímž získáme okamžitou tvrdost, nebo po 15 sekundách. Postup zkoušky předepisuje ČSN EN ISO 868. [5], [6]



Obr. 16. Tvrdoměr Shore [6]

#### 4.2.5 Metoda IRHD

International Rubber Hardness Degrese je jak název napovídá metodou pro stanovení tvrdosti elastomerů, nebo měkčených termoplastů. Jako u většiny i zde se měří pomocí vnikající kuličky, kde se její průměr a zatěžující síla mění s očekávanou tvrdostí vzorku. [6]

### 4.3 Rázová a vrubová houževnatost

Houževnatost je vlastnost materiálu, jež uvádí jeho schopnost lokálně absorbovat energii, než dojde k porušení. Čím je houževnatost větší, tím lépe materiál odolává šíření trhlin a samotné iniciaci trhlin. Houževnatost je tedy s pevností nejdůležitější materiálovou charakteristikou.

Zkoušky rázové houževnatosti nám poskytují předběžné informace o tom, jak se chová materiál při nárazu. Představují energii potřebnou na porušení vztaženou na plochu průřezu za předepsaných podmínek.

#### Metody zkoušek:

- Charpy,
- Izod,
- Dynstat,
- Rázové zkoušky tahem,
- Rázové zkoušky padajícím závažím.

Pro praktickou část je více popsána metoda Charpyho kladiva. [6]

#### 4.3.1 Zkouška Charpyho kladivem

Zkouška se provádí na zařízení o principu kyvadlového kladiva. Zkušební vzorek ve tvaru hranolu je umístěn vodorovně do podpěr a uvolněním kladiva dojde k nárazu rychlostí 2,9 m/s a následnému přeražení vzorku. Energie potřebná k přeražení je zaznamenána měřicím zařízením. Přeražení může nastat celkové, částečné (kloubové), nebo dokonce k přeražení nemusí dojít.

Zkušební tělesa jsou opatřena vrubem ve tvaru V, přičemž můžou mít různé zaoblení kořene vrubu. [6]



Houževnatost dle Charpyho je definována dle vzorce:

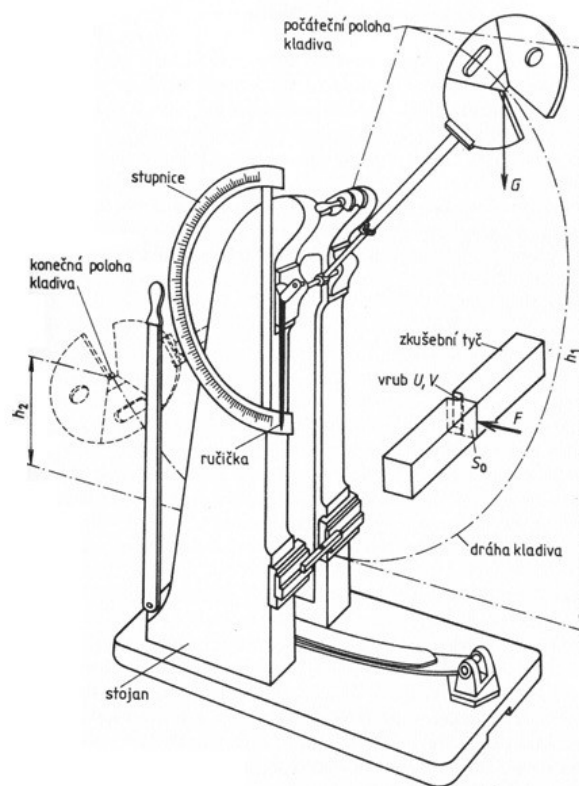
$$a_{cN} = \frac{E_c}{h \cdot b_N} \quad [kJ \cdot m^2] \quad (8)$$

$E_c$  – Spotřebovaná kinetická energie

$h$  – výška

$b_N$  – šířka pod vrubem

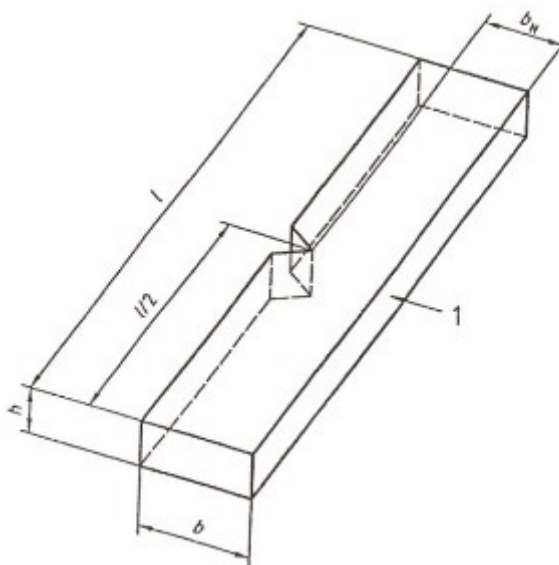
$N$  – typ vrubu



Obr. 17. Charpyho kladivo [7]

Postup provedení zkoušky a rozměry zkušebního tělesa předepisuje ČSN EN ISO 179-2.

### 4.3.2 Zkušební tělesa



Obr. 18. Zkušební těleso – destička [16]

Tab. 7. Rozměry tělesa [16]

Část tělesa	Symbol	Hodnota
délka	$l$	80 [mm]
šířka	$b$	10 [mm]
výška	$h$	4 [mm]
úhel vrubu	$\alpha$	45 [°]
vrubu $V$	$b_H$	8 [mm]

## 4.4 Shrnutí teoretické části

V teoretické části této diplomové práce byl kladen důraz na seznámení čtenáře s problematikou recyklace plastů, byl konkrétně popsán zkoumaný materiál, kterým byl polypropylen plněný mastkem a byl popsán samotný mastek jako plnivo. Dále byla popsána problematika vstřikování a následného drcení polymerních výrobků. V poslední řadě byly teoreticky popsány mechanické zkoušky, které byly posléze použity v praktické části diplomové práce.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI

V práci bude zkoumán již zmiňovaný polypropylen plněný mastkem a jeho opětovné použití ve formě recyklátu.

V první řadě budou vstříknuta zkušební tělesa, která budou posléze rozdrvena pomocí nožového mlýna a síťováním rozdělena na jednotlivé frakce. Dalším krokem bude opětovné vstřikování jednotlivých frakcí. Vstříknuté vzorky budou podrobeny mechanickým zkouškám.

Výsledkem budou tabulky s hodnotami z mechanických zkoušek a srovnání vlastností jednotlivých zkušebních vzorků formou grafů.

## 6 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

### 6.1 Zkoumaný materiál

Jednalo se o polypropylen od britské firmy Sumika. Konkrétně se jednalo o PP pro obecné inženýrství se zaměřením na automobil. PP obsahoval 15% mastku jako plnivo. V *Tab. 8.* byly popsány předepsané procesní parametry pro vstřikování. Celkový materiálový list je možno vidět v příloze na konci této práce.

*Tab. 8. Předepsané procesní parametry*

Procesní parametr	Hodnota	Jednotka
Profil teploty tavicí komory	200, 215, 230, 250	°C
Vstřikovací rychlost	rychlá	
Teplota formy	30-60	°C
Maximální doba pobytu v tavicí komoře	15	min
Maximální teplota tavicí komory	280	°C
Sušení	3-4 / 90	h / °C

### 6.2 Vstřikovací stroj

Vstřikování zkušebních těles bylo prováděno na vstřikovacím zařízení od firmy Arburg, nesoucí označení Allrounder 470H. Jedná se o hybridní zařízení, kombinující elektrické a hydraulické mechanismy, pro vstřikování termoplastů. Samotné vstřikování bylo prováděno v dílnách UTB-UVI, kde je stroj umístěn.



*Obr. 19. Vstřikovací stroj*

*Arburg Allrounder 470H*

Každý vstřikovací stroj je omezen maximálními rozměry vstřikovací formy a velikostí uzavírací síly. Námí používaný stroj splňoval parametry zobrazeny v *Tab. 9.*

Tab. 9. Technické parametry stroje

Technické parametry	
Uzavírací síla:	1000 [kN]
Vzdálenost mezi vodícími sloupy:	470x470 [mm]
Průměr šneku:	40 [mm]

K dosažení kvalitního výrobku, a tedy zaručení přesných hodnot při pozdějších mechanických zkouškách, bylo zapotřebí nastavit adekvátní procesní podmínky vstřikovacího stroje. Procesní parametry jsou zobrazeny v Tab. 10.

Tab. 10. Procesní parametry

Procesní parametry	
Profil teploty tavicí komory:	220, 225, 230, 235, 240 [°C]
Teplota formy:	25 [°C]
Vstřikovací tlak:	80 [MPa]
Vstřikovací rychlost:	50 [mm/s]
Doba chlazení:	27 [s]
Velikost dotlaku:	65 [MPa]
Doba dotlaku:	20 [s]
Dráha dávkování	27 [mm]
Čas cyklu:	54 [s]

### 6.3 Zkušební těleso

Tvar zkušební tělesa s celým vtokovým systémem zobrazuje Obr. 20. Po odstranění vtokového systému zůstaly dvě zkušební tělesa o normalizovaném tvaru a rozměrech. Konkrétně byly vyrobeny oboustranné lopatky pro statickou zkoušku tahem a destičky pro dynamickou zkoušku rázem v ohybu.



Obr. 20. Zkušební tělesa s vtokovým systémem

## 7 RECYKLACE

Po zpracování veškerého originálního materiálu byly zkušební tělesa i s vtokovými systémy rozdraceny a drť následně roztříděna do jednotlivých frakcí.

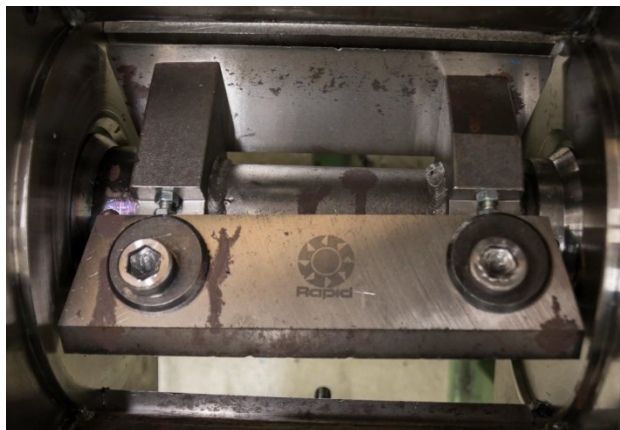
### 7.1 Drcení

Samotné drcení bylo prováděno na nožovém mlýnu od firmy Maskin AB Rapid – GK 2218. Nožový mlýn je stejně jako vstřikovací stroj umístěn v dílnách UTB-UVI.



*Obr. 21. Nožový mlýn*

*Maskin AB Rapid*



*Obr. 22. Nože přístroje*

Tab. 11. Technické parametry nožového mlýnu

Technické parametry	
Výkon:	3 [kW]
Hmotnost:	150 [kg]
Průměr děr síta:	4 [mm]

Drcení spočívalo v postupném vkládání vyrobených plastových těles do násypky, pod kterou se nacházel pracovní prostor. V pracovním prostoru docházelo k postupnému sekání výrobků pomocí dvou rotujících nožů. Tyto nože lze vidět na *Obr. 22*. Pod pracovním prostorem se nacházelo síto, které propouštělo frakce o minimálním stanoveném rozměru dle *Tab. 11*. Drť o různých velikostech frakce je zachytávána do zásobníku pod sítem. Samotná neprotříděná drť je zobrazena na *Obr. 23*.



Obr. 23. Frakce po drcení

Výsledná drť obsahovala frakce o různých velikostech. Jelikož docházelo, vlivem rotace nožů, k setrvání drtě v pracovním prostoru po delší dobu, než bylo zapotřebí, docházelo v některých případech k rozdrcení na prachové částice. Četnost jednotlivých frakcí v celkové neproseté drti je zaznamenána v *Tab. 12*.

## 7.2 Prosévání

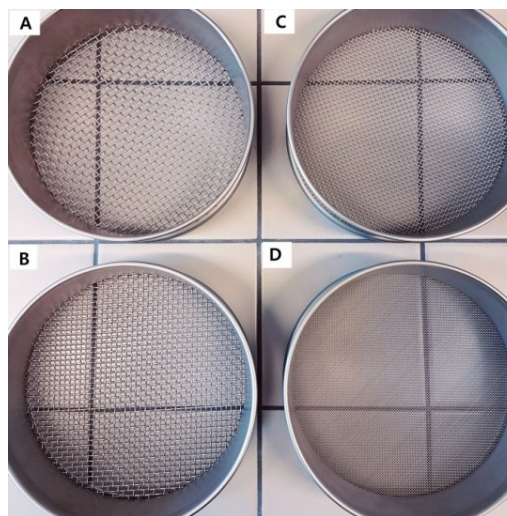
Jelikož při drcení nevznikala drť o stejné velikosti, nýbrž polydisperzní směs s frakcemi o různých rozměrech, bylo zapotřebí jednotlivé frakce rozdělit. K rozdělení se použilo vibračního prosévacího zařízení Retsch AS 200 Basic. Toto zařízení se skládalo z vibrační desky a čtyř sít s různou propustností. Prosévala se dávka o 300 gramech, po dobu 2 minut.



Amplituda byla nastavena na 70 % rozsahu stroje. Rozsah amplitudy stroje činil 0-3 mm, a rozměry stroje byly Š x V x H – 400 x 230 x 350 mm.

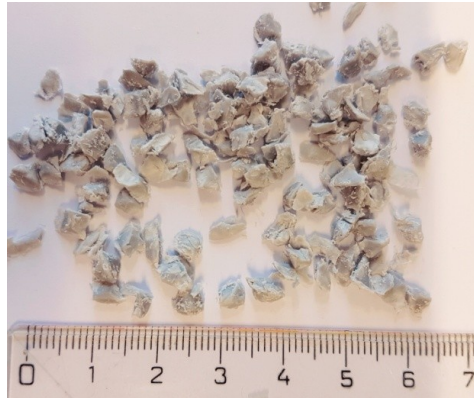


*Obr. 24. Prosévací zařízení Retsch  
AS 200 Basic*



*Obr. 25. Jednotlivá síta: A – 4 [mm],  
B – 3 [mm], C – 2 [mm], D – 1 [mm]*

Frakce o velikosti větší než 4 mm zůstávaly na sítu A. Frakce o velikosti 4 - 3 mm zůstávaly na sítu B. Frakce o velikosti 3 - 2 mm zůstávaly na sítu C a frakce 2 - 1 mm zůstávaly na sítu D. Frakce o rozměrech 1 - 0 mm, byla zachytávána do mísy, která na *Obr. 24* zaujímá poslední místo. Vzhled frakcí můžeme vidět na následujících obrázcích.



*Obr. 26. Frakce o velikosti 3 – 4 mm*

Frakce o velikosti 3-4 mm zaujímala druhé místo v četnosti z celku. Tvar drtě byl nepravidelný, místy s ostrou hranou.



*Obr. 27. Frakce o velikosti 2 – 3 mm*

Frakce o velikosti 2-3 mm byla nejvíce zastoupena v celkovém množství drtě. Jednalo se o nepravidelné tvary a více ostrými hranami.



*Obr. 28. Frakce o velikosti 1 – 2 mm*

Frakce 1-2 mm zaujímala třetí místo, co se četnosti týče. Tvarově se jednalo o špičaté tvary s ostrými hranami. Také se začal projevovat elektrostatický potenciál a lepení drti.



Obr. 29. Frakce o velikosti 0 – 1 mm

Frakce 0-1 mm byla prachového charakteru. Tvarem připomínala hoblinky a působily velmi elektrostaticky. Manipulace s touto frakcí byla velmi problematická a to jak při manipulaci, tak posléze i při zpracování, kde musela být manuálně vtlačována do komory pod zásobníkem.

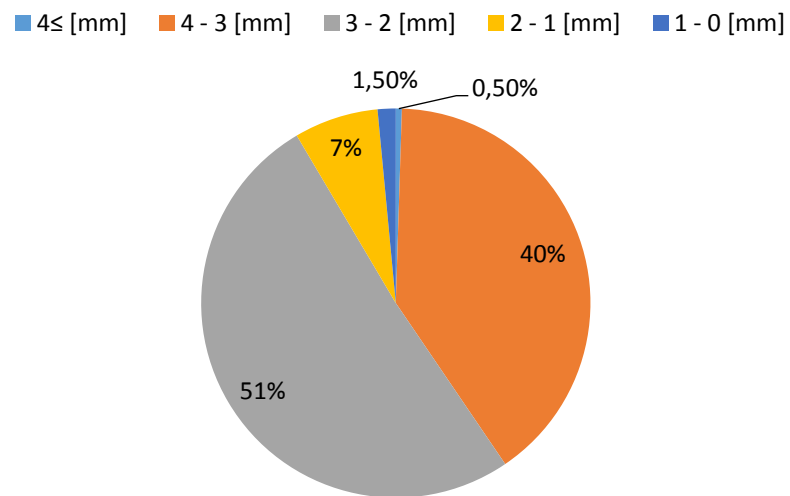
Během prosévání byla 10x zvážena hmotnost dávky vkládané do prosévacího zařízení a po prosetí byly zváženy jednotlivé frakce. Četnost jednotlivých frakcí a jejich procentuální zastoupení v celku jsou zobrazeny v Tab. 12.

Tab. 12. Četnost jednotlivých frakcí

č. měření	4 ≤ mm	4 - 3 mm	3 - 2 mm	2 - 1 mm	1 - 0 mm
	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
1	0	147	133	17	3
2	0	133	136	18	13
3	1	142	135	16	6
4	0	144	134	16	6
5	2	143	135	16	4
6	3	89	177	26	5
7	2	96	174	27	1
8	2	94	172	30	2
9	3	94	174	28	1
10	3	110	160	26	1
<b>Aritmetický průměr</b>	1,6	119,2	153	22	4,2
<b>Směrodatná odchylka</b>	1,20	23,39	18,88	5,53	3,49
<b>Procentuální zastoupení</b>	0,50 %	40 %	51 %	7 %	1,50 %

Jelikož frakce větší jak 4 mm představovala pouze 0,5 % zastoupení a nebylo by možné ji dále v dostatečném množství zpracovávat, byla z dalšího měření vyřazena a není ani uvedena na předchozích obrázcích.

Grafické znázornění procentuelního zastoupení frakcí v celku můžeme vidět na *Obr. 30*.



*Obr. 30. Procentuální zastoupení frakcí*

## 8 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES S UŽITÍM RECYKLÁTU

Pro získání zkušebních těles bylo použito recyklovaného materiálu. Jednotlivé frakce byly vstříkovány jak samostatně, tak i v neprotříděném stavu. K získání referenčních hodnot, dle kterých byly pozorovány změny vlastností, byl vyroben i samostatný originální materiál.

Vstříkování bylo prováděno za stejných procesních podmínek pro každou frakci. Bylo vystříknuto třicet zkušebních těles z frakcí od 1 mm po 4 mm. U vstříkování frakce 0 – 1 mm bylo pozorováno obtížné zásobování šneku. Celkem bylo vytvořeno 6 zkušebních souborů.

- PP + 15% mastku – originální materiál
- PP + 15% mastku – neprosetá frakce
- PP + 15% mastku – frakce 0-1 mm
- PP + 15% mastku – frakce 1-2 mm
- PP + 15% mastku – frakce 2-3 mm
- PP + 15% mastku – frakce 3-4 mm

## 9 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Zkoumaný polypropylen s 15 % mastku byl podroben mechanickým zkouškám jako zkouška tvrdosti Shore D, zkoušce rázem v ohybu pomocí Charpyho kladiva a statické zkoušce tahem. Veškeré zkoušky probíhaly dle postupu stanoveného ČSN. Jednotlivé zkoušky a dílčí výsledky budou popsány v následující části.

### 9.1 Zkouška tvrdosti Shore D

Ke zkoumání tvrdosti byl použit tvrdoměr OMAG ART 13, jež využívá ocelový indentor ve tvaru kužele. Jeho fotografie je uvedena na *Obr. 31*. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 868 s následujícím postupem:

Zkoumané těleso bylo umístěno na pohyblivou podložku, která byla pomocí páky na boku přístroje vtlačena do indentoru. Při doteku tělesa s indentorem došlo k odečtu pěti sekund, během kterých přístroj měřil, a následná výsledná hodnota tvrdosti byla zobrazena na displeji připojeném k tvrdoměru. Zkouška byla provedena 10x pro každé zkoumané těleso zvlášť. Měření bylo provedeno za pokojové teploty 23°C.



*Obr. 31. Tvrdoměr  
Shore D – Omag ART 13*

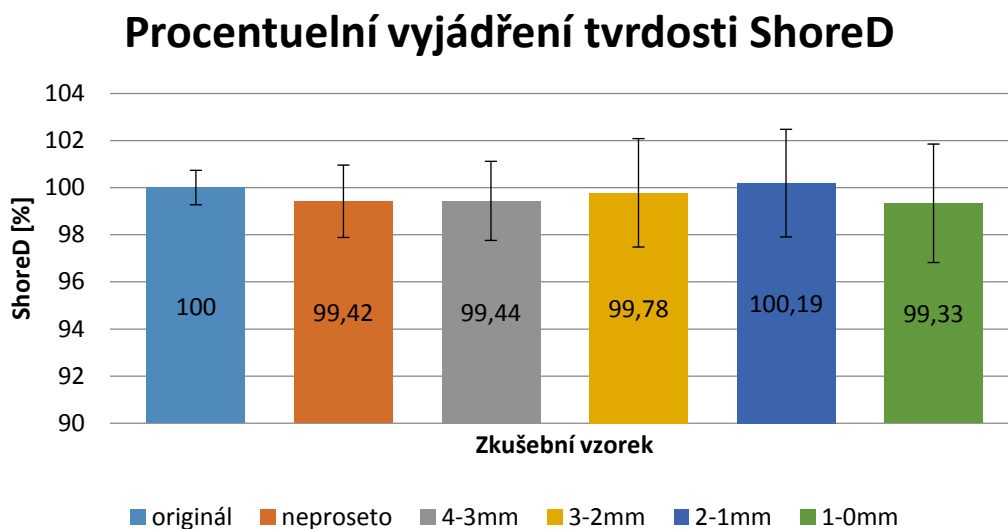
## 9.2 Vyhodnocení zkoušky tvrdosti Shore D

Hodnoty získané měřením jsou uvedeny v *Tab. 13*.

*Tab. 13. Tvrdost Shore D*

PP + 15 % mastku						
Číslo měření	originál	neproseto	4-3mm	3-2mm	2-1mm	1-0mm
1	59,1	57,3	59,1	56,5	56,6	57
2	58,7	57,4	59,2	57,8	57,7	57,9
3	58	58,3	56,7	60,1	60	60,3
4	58,3	58,5	57,6	59,9	60,7	59,6
5	58,4	57,5	57,1	57,4	57,4	59,4
6	57,9	57,1	58	59,9	59	59,8
7	58,9	58,2	59,4	56,6	60,3	56,9
8	58,6	59,8	57,4	57,4	57,1	57,3
9	57,9	59,6	57,6	58,3	58,6	56,7
10	59	57,7	59,4	59,6	58,5	56
<b>Aritmetický průměr</b>	58,48	58,14	58,15	58,35	58,59	58,09
<b>Směrodatná odchylka</b>	0,43	0,89	0,98	1,34	1,34	1,46

V grafickém znázornění na *Obr. 32*. lze vidět procentuální tvrdost, kterou zaujímaly jednotlivé zkušební vzorky vůči originálnímu materiálu, který představoval 100 %.



*Obr. 32. Tvrdost Shore D*

Dle grafu lze usoudit, že jednotlivé frakce měly pouze nepatrný vliv na výslednou tvrdost zkoumaných vzorků. Největší pokles tvrdosti nastal u vzorků z frakce 1-0 mm, naopak téměř beze změny tvrdosti zůstal vzorek z frakce 2-1 mm.

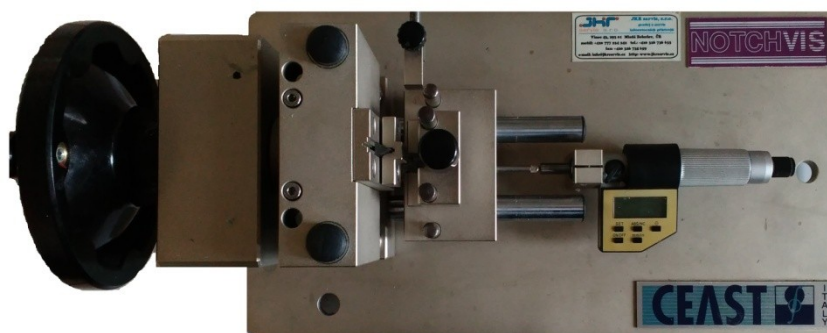
### 9.3 Zkouška rázem v ohybu

Zkouška rázem v ohybu byla prováděna na měřicím přístroji, který nazýváme Charpyho kladivo. Konkrétně se jednalo o přístroj od firmy Ceast s modelovým označením Resil Impactor Junior. Vzhled přístroje je znázorněn na *Obr. 33*.



*Obr. 33. Charpyho kladivo*

Zkouška se skládala z umístění zkušebního tělíska na podstavec, spuštění zkoušky v počítači a uvolnění samotného kladiva, které přelomilo zkušební těleso. Pomocí senzorů na kladivu došlo k odečtení naměřených hodnot a následnému uložení v počítači. Před samotnou zkouškou musel být do zkušebního tělesa vyroben vrub. Tento úkon se prováděl specializovaným vrubovacím zařízením taktéž od firmy Ceast, který je zobrazen na *Obr. 34*.



*Obr. 34. Vrubovací zařízení*

Do vrubovacího zařízení se umístily tři zkušební vzorky, otáčením kličky docházelo k vertikálnímu kmitavému pohybu nože a pomocí mikrometrické posuvky byla tělesa posunována kolmo na směr nože. Vrubování se provádělo do hloubky vrubu 2 mm.



## 9.4 Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu

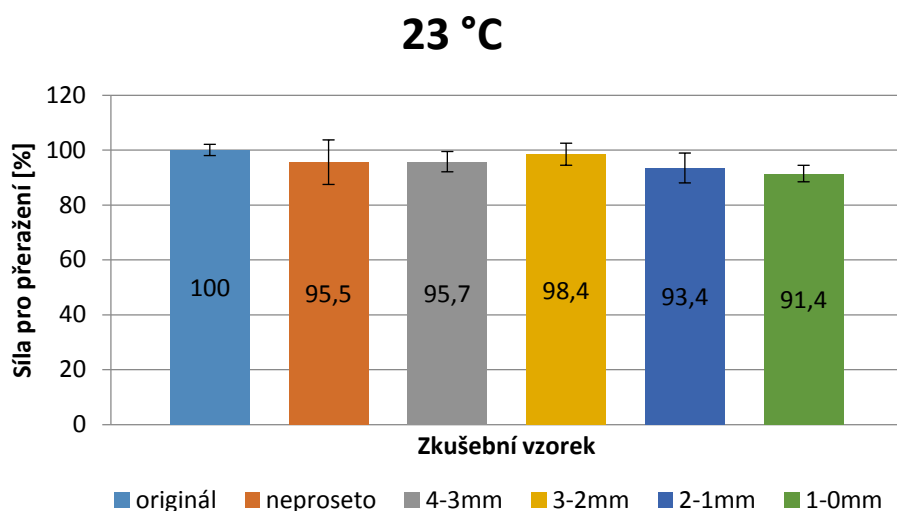
Měření bylo provedeno celkem 10x pro každou jednotlivou frakci při pokojové teplotě 23 °C, při teplotě 60 °C a při teplotě 100 °C. V *Tab. 14.* a *Tab. 15.* jsou zobrazeny aritmetické průměry z jednotlivých měření. Celkové hodnoty jednotlivých měření jsou zobrazeny v přílohách na konci práce.

Grafická vyobrazení vyjadřují procentuelní hodnotu síly potřebné k přeražení a vrubovou houževnatost jednotlivých frakcí, vztažené k originálnímu materiálu. Čáry na vrcholech sloupců znázorňují směrodatné odchylky.

### 9.4.1 Síla při přeražení

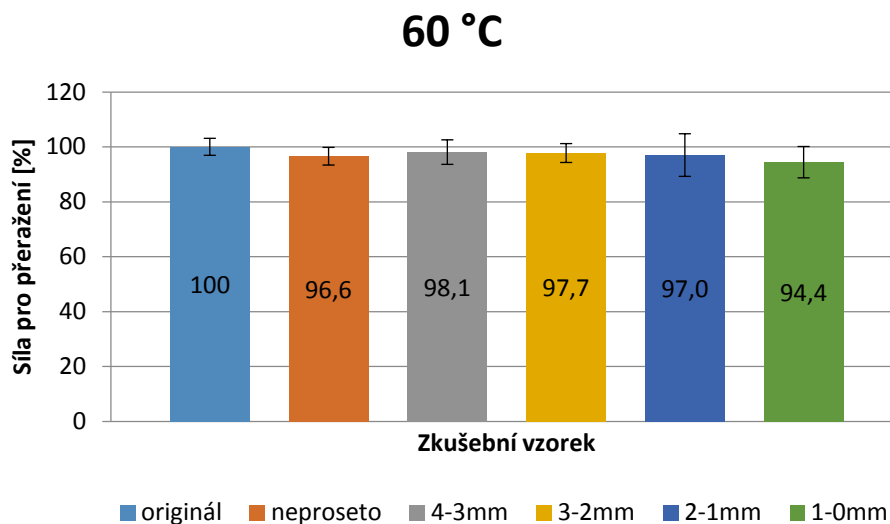
*Tab. 14. Aritmetické průměry síly potřebné k přeražení*

Vzorky	Síla potřebná k přeražení PP + 15 % mastku [N]					
	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm
<b>23 °C</b>						
aritmetický průměr	373,5	356,8	357,6	367,7	349,0	341,4
směrodatná odchylka	7,6	29,0	13,1	14,8	19,0	10,3
<b>60 °C</b>						
aritmetický průměr	243,7	235,4	239,0	238,2	236,4	230,1
směrodatná odchylka	7,6	7,6	10,7	8,2	18,4	13,1
<b>100 °C</b>						
aritmetický průměr	172,9	167,2	167,1	173,3	164,1	159,7
směrodatná odchylka	6,8	10,7	6,4	7,9	5,4	7,7



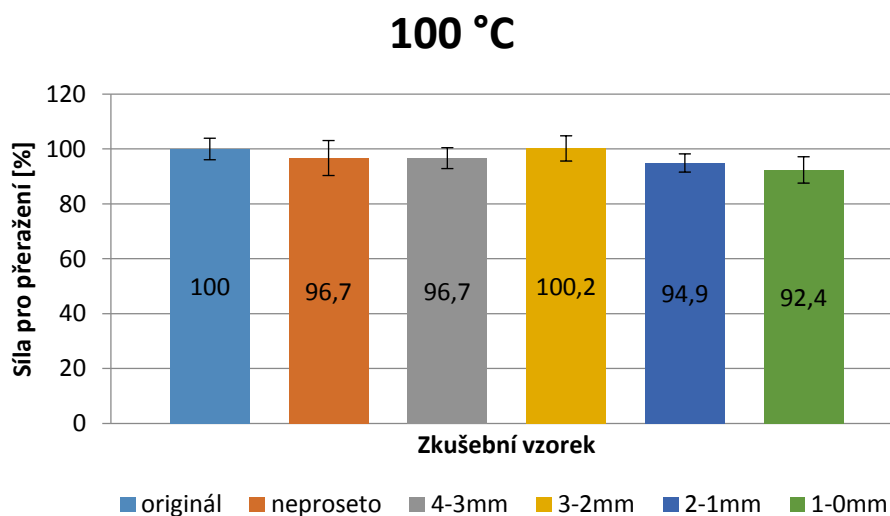
*Obr. 35. Síla pro přeražení při 23 °C*

Jak vyplývá z grafu na *Obr. 35.*, tak při pokojové teplotě 23 °C si nejlépe, oproti originálnímu materiálu, vedl vzorek z frakce 3-2 mm, kde došlo ke snížení síly potřebné k přeražení o 1,6 %. Nejhůře dopadl vzorek z frakce 1-0 mm, kde došlo ke snížení síly o 8,6 %.



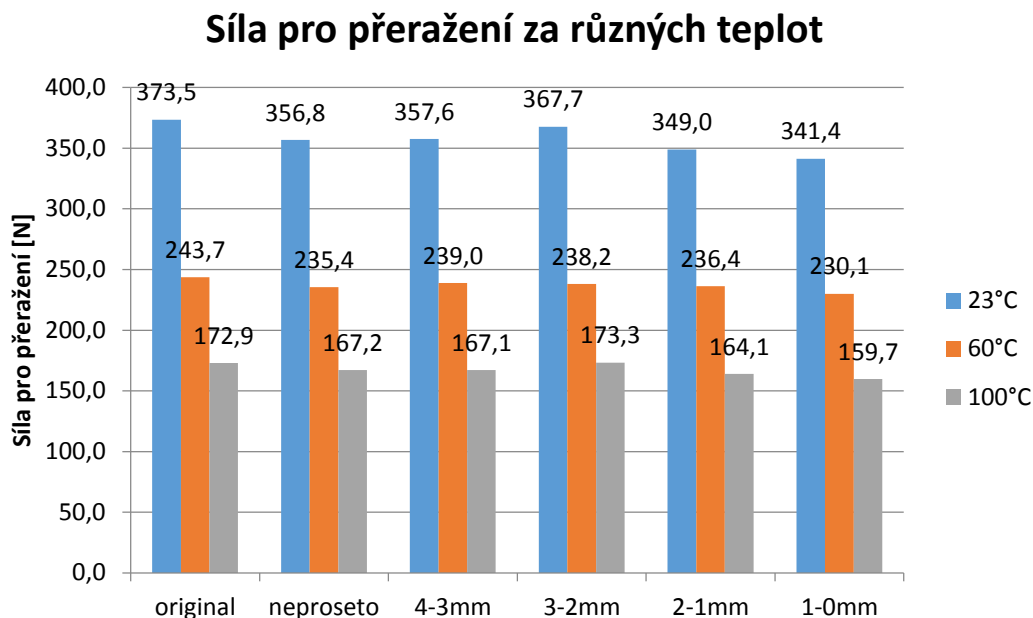
*Obr. 36. Síla pro přeražení při 60 °C*

Na *Obr. 36.* lze pozorovat srovnání při teplotě 60 °C, z kterého vyplývá, že nejlepší hodnot dosáhla tentokrát frakce 4-3 mm, u které došlo k ponížení o 1,9 %, přičemž nejhůře dopadla opět frakce 1-0 mm se snížením o 5,6 %.



*Obr. 37. Síla pro přeražení při 100 °C*

Obr. 37. znázorňuje srovnání při 100 °C. Lze říct, že vzorek z frakce 3-2 mm dopadl téměř srovnatelně, jako originální materiál. Nejhůře si opět vedla frakce 1-0 mm, s 7,6% poklesem.



Obr. 38. Síla pro přeražení za různých teplot PP + 15 % Mastku

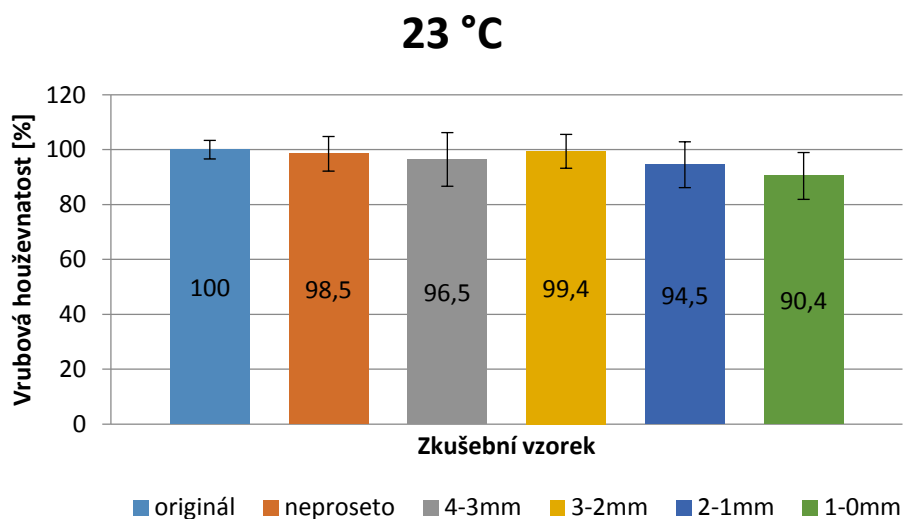
Na Obr. 38. lze vidět síly potřebné k přeražení zkušebního tělesa pro různé teploty vyjádřeny v Newtonech. Z grafu jasně vyplývá, že největší síla byla zapotřebí při pokojové teplotě a se stoupající teplotou síla klesala. Při 23 °C nejlépe dopadla vůči originálu frakce 3-2 mm a nejhůře frakce 1-0 mm. Při teplotě 60 °C dopadla vůči originálu nejlépe frakce 4-3 mm a nejhůře opět frakce 1-0 mm. Při teplotě 100 °C si nejlépe vedla frakce 3-2 mm a nejhůře frakce 1-0 mm. Síla potřebná k přeražení při 60 °C byla v průměru o 34 % nižší, než potřebná síla při 23 °C a síla potřebná k přeražení při 100 °C byla v průměru o 53 % nižší, než síla potřebná při 23 °C.

### 9.4.2 Vrubová houževnatost

Aritmetické průměry jednotlivých měření vrubové houževnatosti při různých teplotách lze vidět v *Tab. 15*.

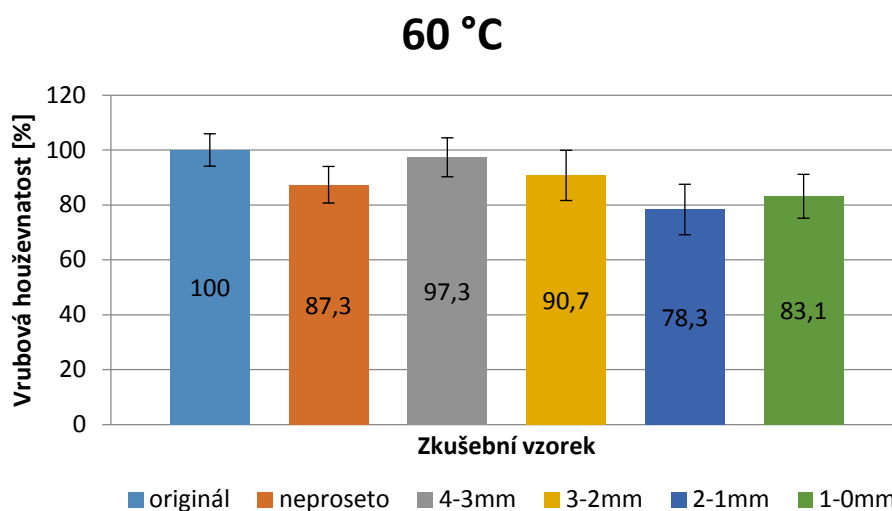
*Tab. 15. Aritmetické průměry vrubové houževnatosti*

Vzorky	Vrubová houževnatost PP + 15 % mastku [kJ.m <sup>-2</sup> ]					
	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm
<b>23 °C</b>						
aritmetický průměr	4,2	4,1	4,1	4,2	4,0	3,8
směrodatná odchylka	0,1	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
<b>60 °C</b>						
aritmetický průměr	3,0	2,6	2,9	2,7	2,3	2,5
směrodatná odchylka	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>100 °C</b>						
aritmetický průměr	2,2	2,0	2,1	2,0	1,9	1,9
směrodatná odchylka	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2



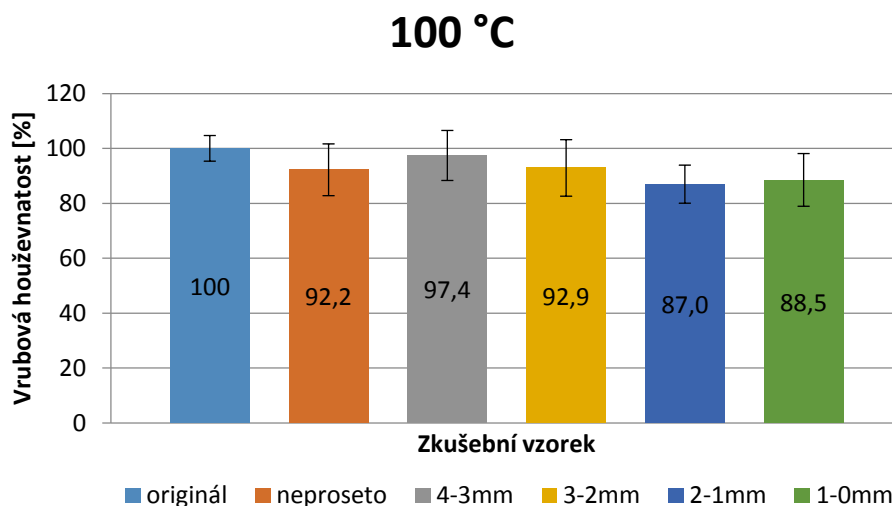
*Obr. 39. Vrubová houževnatost při 23 °C*

Na *Obr. 39*. lze vidět procentuelní pokles vrubové houževnatosti vůči originálnímu materiálu. Při teplotě 23 °C si nejlépe vedla frakce 3-2 mm s poklesem 0,6 % a nejhůře frakce 1-0 mm s poklesem 9,6 %.



*Obr. 40. Vrubová houževnatost při 60 °C*

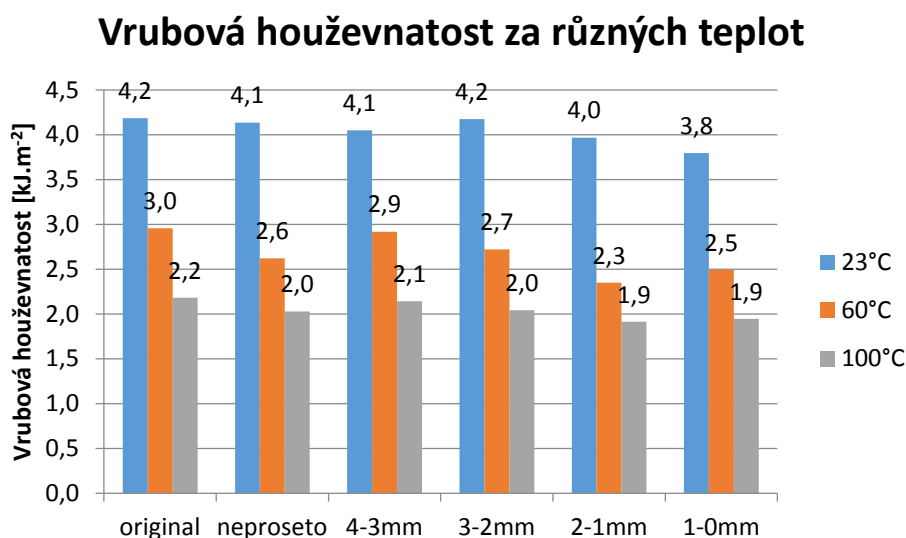
Na *Obr. 40.* lze vidět pokles vrubové houževnatosti při 60 °C, kde nejlépe dopadla frakce 4-3 mm s poklesem 2,7 % a nejhůře frakce 1-0 mm s poklesem 16,9 %. U neproseté frakce lze pozorovat zhoršené vlastnosti, což lze přisuzovat přítomnosti prachových částic o rozměrech 1-0 mm.



*Obr. 41. Vrubová houževnatost při 100 °C*

Na *Obr. 41.* lze vidět pokles vrubové houževnatosti při 100 °C, kde nejlépe dopadla frakce 4-3 mm s poklesem 2,6 % a nejhůře frakce 1-0 mm s poklesem 11,5 %. I zde lze opět pozorovat zhoršenou kvalitu neproseté frakce, která se pohybuje na průměru mezi

nejlepším recyklátem o rozměrech 4-3 mm a nejhorším recyklátem o rozměrech 1-0 mm. Potvrdilo se, že prachové částice značně ovlivňují kvalitu výrobku.



Obr. 42. Vrubová houževnatost za různých teplot PP + 15 % Mastku

Na Obr. 42. lze vidět pokles vrubové houževnatosti frakcí při různých teplotách. Dle předpokladu je největší vrubová houževnatost u nejnižší teploty a s rostoucí teplotou klesá. Při 23 °C si nejlépe vedla frakce 3-2 mm se srovnatelnými hodnotami jako originál, nejhůře pak frakce 1-0, která byla nejhorší dále i u ostatních teplot. Při teplotě 60 °C a 100 °C si nejlépe vedla frakce 4-3 mm. Vrubová houževnatost při 60 °C byla v průměru o 34 % nižší, než vrubová houževnatost při 23 °C a vrubová houževnatost při 100 °C byla v průměru o 50 % nižší, než vrubová houževnatost při 23 °C.

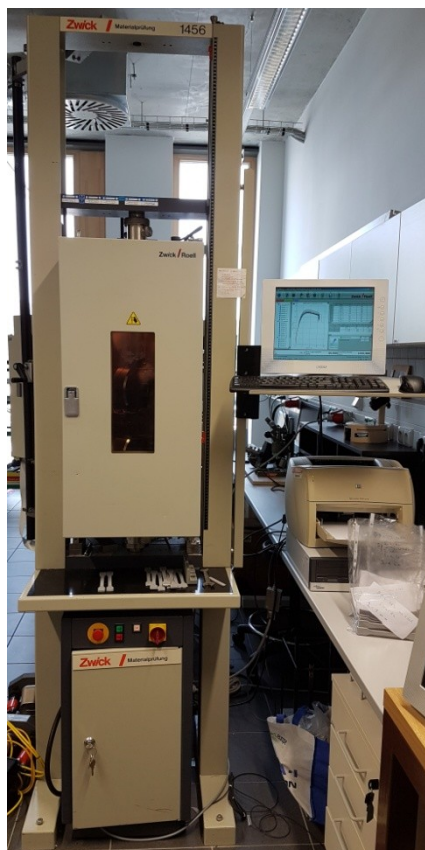
## 9.5 Statická zkouška tahem

Statická zkouška tahem byla prováděna na zkušebním stroji Zwick 1456. Tento stroj je univerzální, tudíž je na něm možno vykonávat i zkoušky jiného typu, kdy se pouze vymění upínací čelisti. Výhodou je také přítomnost temperační komory. Technické údaje stroje jsou popsány v Tab. 16. a stroj můžeme vidět na Obr. 43.

Samotná zkouška se skládala z upnutí zkušební vzorku do čelistí, stanoveného vytemperování a spuštění zkoušky na počítači. Po startu došlo k přisunutí extenzometru k vzorku a následnému natahování vzorku. Počítač zaznamenal modul pružnosti, mez pevnosti a protažení. Zkouška končí přetržením zkušební vzorku.

Tab. 16. Technické údaje Zwick 1456

Zwick 1456		
Maximální posuv příčniku	800	[mm/min]
Snímač síly	2,5 a 20	[kN]
Teplotní komora	-80 až 250	[°C]
Typy zkoušek	Tah - Ohyb - Tlak	



Obr. 43. Zwick 1456

## 9.6 Vyhodnocení statické zkoušky tahem

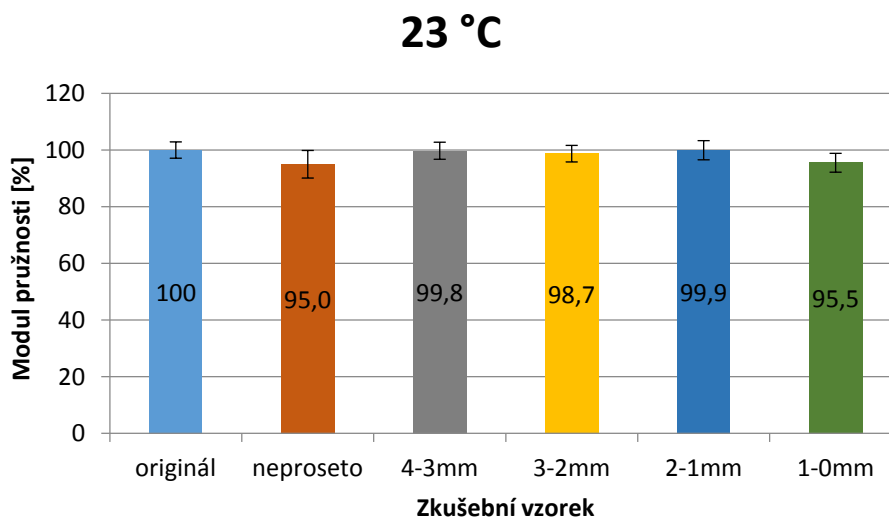
Měření bylo provedeno celkem 10x pro každou jednotlivou frakci při pokojové teplotě o 23 °C, při teplotě 60 °C a při teplotě 100 °C. V Tab. 17., Tab. 18. a Tab. 19. jsou zobrazeny aritmetické průměry z jednotlivých měření. Celkové hodnoty jednotlivých měření jsou zobrazeny v přílohách na konci práce.

Grafická vyobrazení vyjadřují procentuelní velikost modulu pružnosti a meze pevnosti, vztažené k originálnímu materiálu. Mez pevnosti znázorňuje zároveň také mez kluzu. Čáry na vrcholech sloupců znázorňují směrodatné odchylky.

## 9.6.1 Modul pružnosti v tahu

Tab. 17. Modul pružnosti v tahu

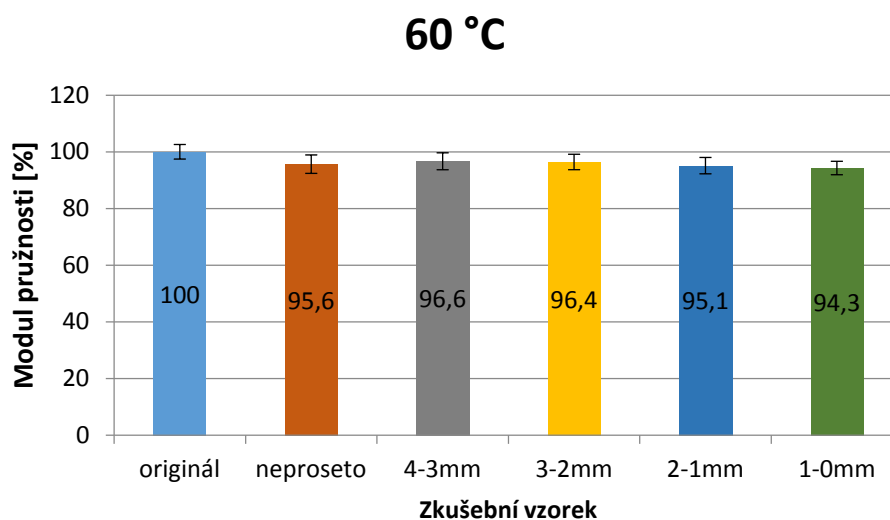
Vzorky	Modul pružnosti v tahu PP + 15 % mastku [MPa]					
	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm
<b>23 °C</b>						
aritmetický průměr	1719,0	1633,0	1715,0	1697,0	1718,0	1642,0
směrodatná odchylka	49,3	79,4	51,6	49,6	58,1	54,6
<b>60 °C</b>						
aritmetický průměr	800,1	765,1	773,2	771,3	760,9	754,2
směrodatná odchylka	20,5	24,8	23,1	21,0	22,0	17,9
<b>100 °C</b>						
aritmetický průměr	404,5	369,6	378,6	372,7	376,3	356,9
směrodatná odchylka	7,8	8,4	6,1	4,8	17,4	12,6



Obr. 44. Modul pružnosti při teplotě 23 °C

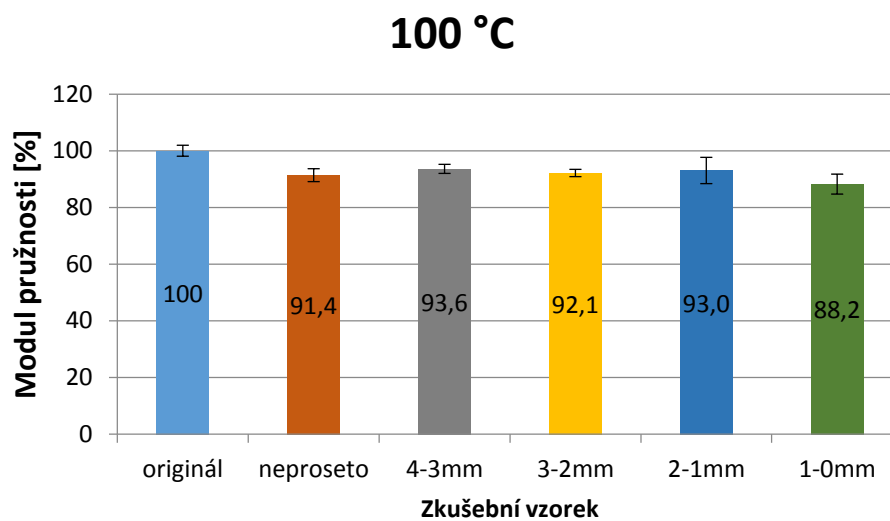
Na Obr. 44. lze pozorovat změnu modulu pružnosti u jednotlivých frakcí při teplotě 23 °C. Z grafu plyne, že frakce 4-3, 3-2 a 2-1 mm dosahují téměř stejných hodnot jako originální materiál. Největší pokles nastal u frakce o rozměrech 1-0 mm a neproseté frakce, kde výsledné vlastnosti opět ovlivňovala přítomnost prachových částic.





*Obr. 45. Modul pružnosti při teplotě 60 °C*

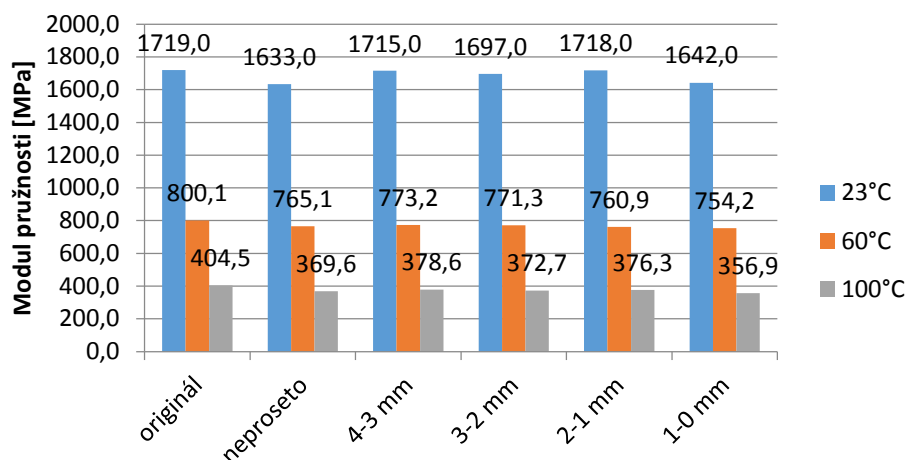
Jak lze vidět na *Obr. 45.*, při teplotě 60 °C si jsou téměř všechny recyklované vzorky podobné s rozdílem  $\pm 2$  %. Nejlepších vlastností dosahovala frakce o rozměrech 4-3 mm a nejhůřších vlastností frakce o rozměrech 1-0 mm.



*Obr. 46. Modul pružnosti při teplotě 100 °C*

Na *Obr. 46.* lze vidět srovnání při teplotě 100 °C, kde si nejlépe z recyklovaných frakcí vedl rozměr 4-3 mm s poklesem 6,4 % a nejhůřše frakce 1-0 mm s poklesem 11,8 %.

## Modul pružnosti za různých teplot



Obr. 47. Modul pružnosti v tahu za různých teplot PP + 15 % Mastku

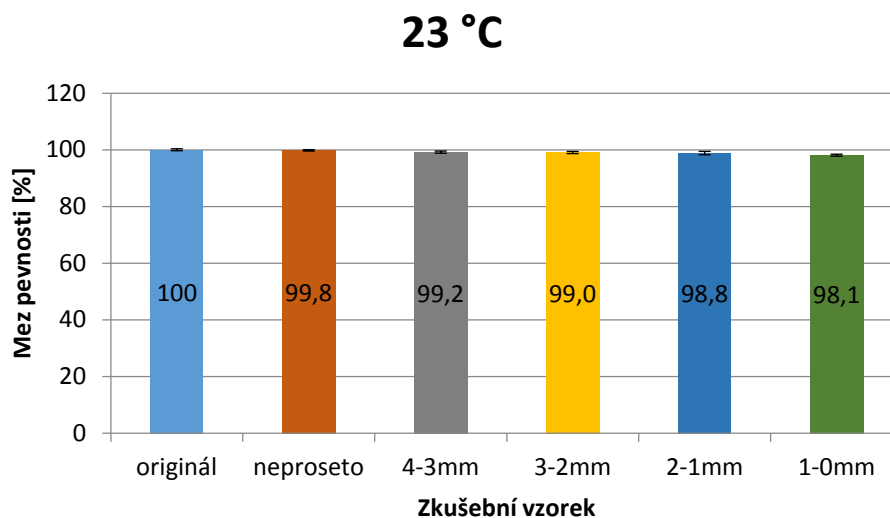
Na Obr. 47. lze vidět velikosti modulů pružnosti v závislosti na teplotě a rozměru frakce. Dle předpokladu i zde s rostoucí teplotou klesá modul pružnosti. Při teplotě 23 °C si nejlépe vedla frakce 2-1 mm a nejhůře frakce neprosetá. Při teplotách 60 °C a 100 °C si nejlépe vedla frakce o rozměrech 4-3 mm a nejhůře frakce 1-0 mm. Modul pružnosti při 60 °C byl v průměru o 54 % nižší, než modul pružnosti při 23 °C a při 100 °C byl v průměru o 78 % nižší, než při 23 °C.

### 9.6.2 Mez pevnosti v tahu

Aritmetické průměry jednotlivých měření meze pevnosti při různých teplotách lze vidět v Tab. 18.

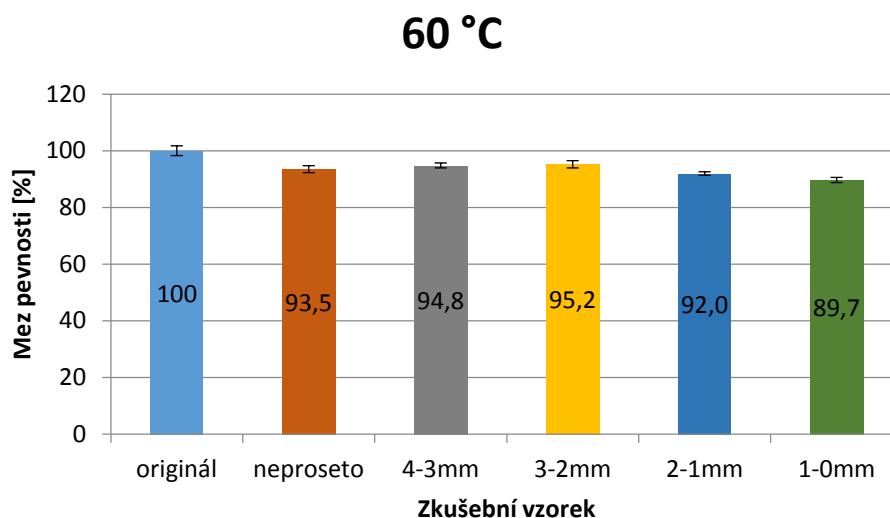
Tab. 18. Mez pevnosti v tahu

Vzorky	Mez v pevnosti v tahu PP + 15 % mastku [MPa]					
	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm
<b>23 °C</b>						
aritmetický průměr	20,5	20,5	20,3	20,3	20,3	20,1
směrodatná odchylka	0,07	0,05	0,08	0,08	0,12	0,07
<b>60 °C</b>						
aritmetický průměr	12,3	11,5	11,7	11,7	11,3	11,0
směrodatná odchylka	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
<b>100 °C</b>						
aritmetický průměr	6,5	5,9	6,1	5,9	5,7	5,6
směrodatná odchylka	0,09	0,19	0,19	0,11	0,04	0,13



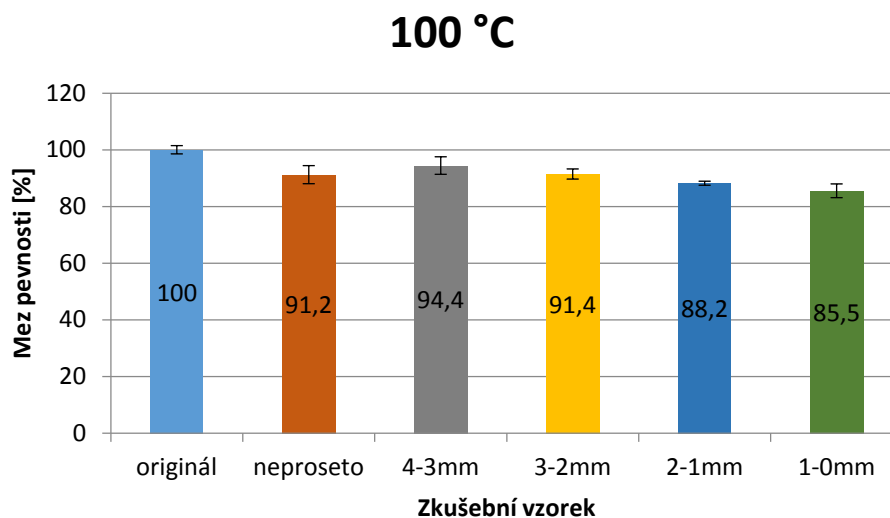
*Obr. 48. Mez pevnosti při 23 °C*

Na *Obr. 48.* jde vidět, že při teplotě 23 °C docházelo pouze k nepatrným změnám z hlediska meze pevnosti a velikostí frakce. Nejlepší hodnoty vykazoval vzorek o velikosti frakce 3-2 mm. Nejhůře dopadl vzorek o velikosti frakce 1-0 mm.



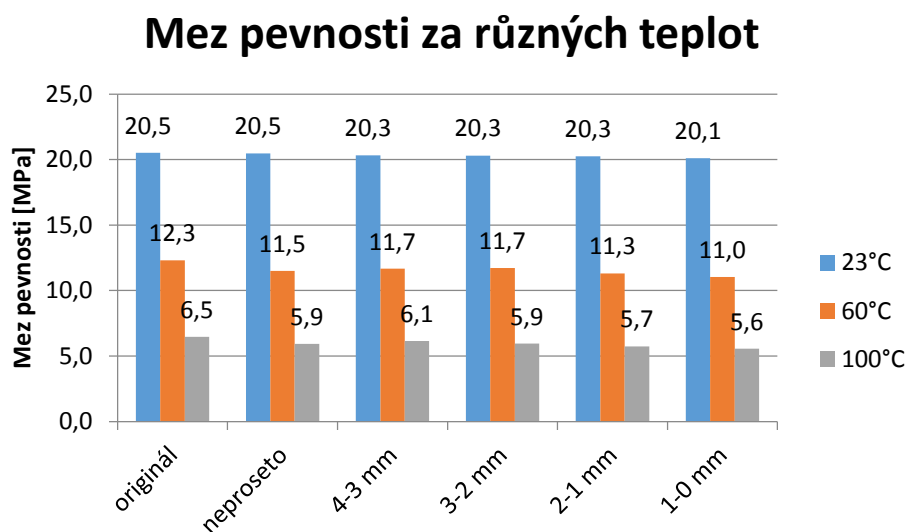
*Obr. 49. Mez pevnosti při 60 °C*

Na *Obr. 49.* lze vidět mez pevnosti při 60 °C, kde jde konstatovat, že nejlépe si opět vede vzorek frakce 3-2 mm a nejhůře si vede frakce 1-0 mm. Z hlediska meze pevnosti lze pozorovat, že nedochází k velkému ovlivnění neprosetého materiálu prachovými částicemi.



Obr. 50. Mez pevnosti při 100 °C

Jak lze pozorovat na Obr. 50., při teplotě 100 °C došlo dle předpokladů k největším ztrátám na mezi pevnosti. Nejlépe si tentokrát vedla frakce o rozměrech 4-3 mm a nejhůře opět frakce o rozměrech 1-0 mm.



Obr. 51. Mez pevnosti za různých teplot PP + 15 % Mastku

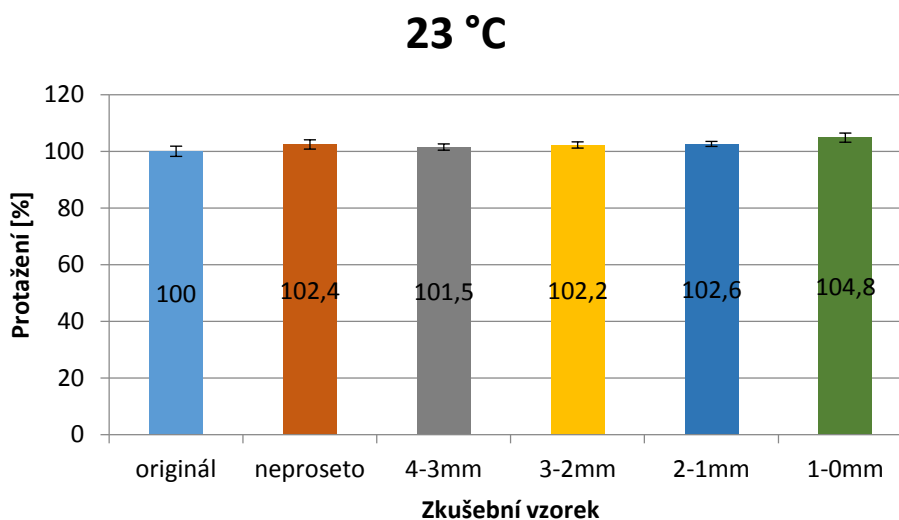
Na Obr. 51. lze pozorovat velikost meze pevnosti vztaženou na teplotu a velikost frakce. I zde dle předpokladů s rostoucí teplotou mez pevnosti klesá. Jednotlivé nejhorší a nejlepší hodnoty jsou totožné s procentuálním vyjádřením. Mez pevnosti při 60 °C byla v průměru o 43 % nižší, než mez pevnosti při 23 °C a při 100 °C byla v průměru o 71 % nižší, než při 23 °C.

### 9.6.3 Protážení

Aritmetické průměry a směrodatnou odchylku jednotlivých protážení při různých teplotách můžeme vidět v *Tab. 19*.

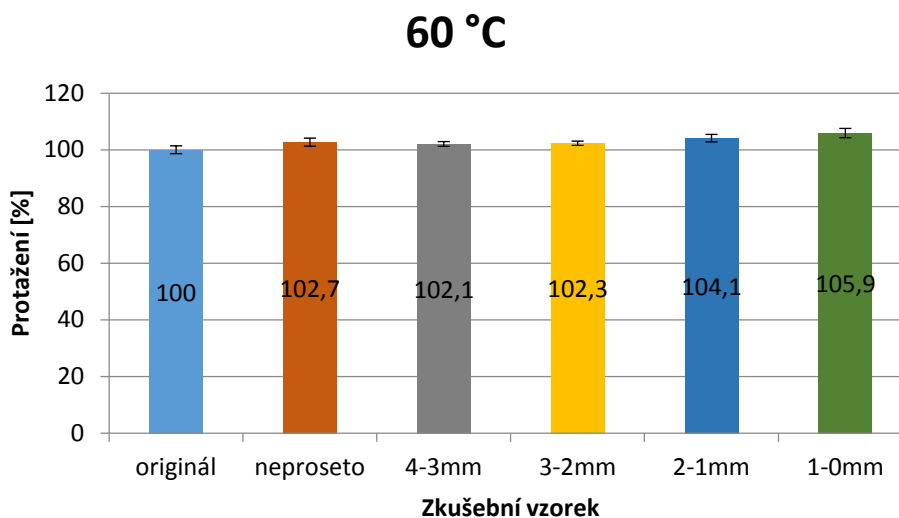
*Tab. 19. Protážení*

Vzorky	Protážení PP + 15 % mastku [mm]					
	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm
<b>23 °C</b>						
aritmetický průměr	5,4	5,5	5,5	5,5	5,5	5,7
směrodatná odchylka	0,10	0,09	0,06	0,06	0,05	0,09
<b>60 °C</b>						
aritmetický průměr	7,8	8,0	8,0	8,0	8,1	8,3
směrodatná odchylka	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>100 °C</b>						
aritmetický průměr	7,9	8,3	8,2	8,1	8,2	8,7
směrodatná odchylka	0,14	0,20	0,13	0,17	0,27	0,17



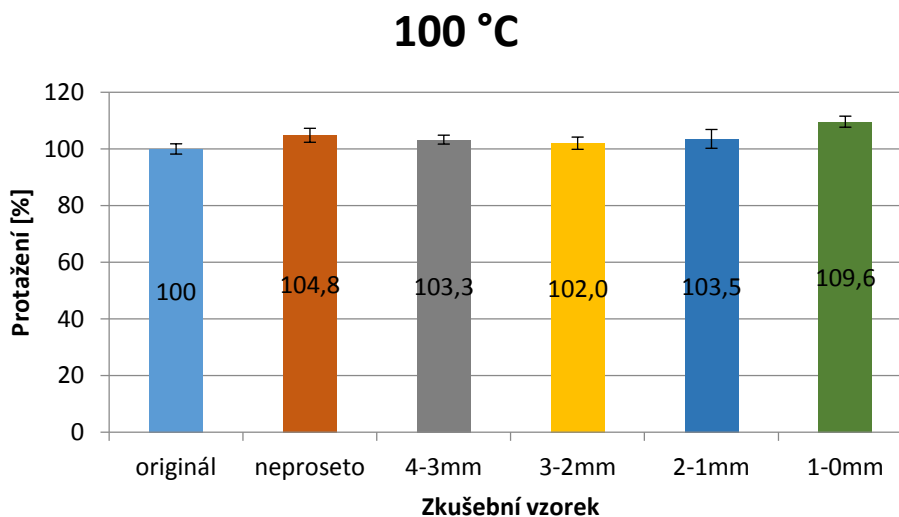
*Obr. 52. Protážení při 23 °C*

Jak lze vidět na *Obr. 52.*, nejmenší protážení při 23 °C nastalo dle předpokladu u originálního materiálu. U recyklovaných těles docházelo ke zvětšení protážení se zmenšujícími se frakcemi. Také lze vidět, že u neproseté frakce, i za přítomnosti prachových částic o rozměrech 1-0 mm, nedocházelo k většímu protážení.



*Obr. 53. Protažení při 60 °C*

Na *Obr. 53.* jde vidět protažení zkušebních těles při 60 °C. I zde nejlépe dopadl originální materiál. Opět také platilo, že čím byl menší rozměr frakce, tím docházelo k většímu protažení. U neprosetého materiálu opět nedocházelo k velkému ovlivnění prachovými částicemi.

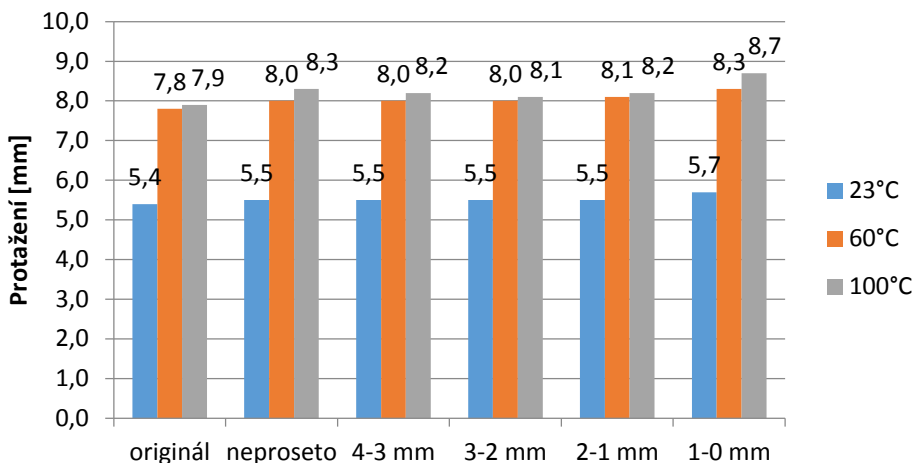


*Obr. 54. Protažení při 100 °C*

Na *Obr. 54.* lze vidět protažení zkušebních těles při 100 °C. U této teploty došlo k přerušení předchozího trendu. Nejlépe dle předpokladu dopadl opět originální materiál. Ovšem z recyklovaných materiálů došlo k nejmenšímu protažení u frakce o rozměrech

3-2 mm. Nejhůře dopadla frakce z prachových částic o rozměrech 1-0 mm. Neprosetá frakce byla ovlivněna prachovými částicemi a vykazovala celkem velké protažení.

### Protažení za různých teplot



Obr. 55. Protažení za různých teplot PP + 15 % Mastku

Na Obr. 55. lze vidět protažení jednotlivých frakcí vztažených na změny teploty. Jak lze vidět, tak při pokojové teplotě 23 °C dosahovaly veškeré frakce velmi podobných hodnot protažení. Nejlépe si dle předpokladu vedl originální materiál a nejhůře frakce o rozměrech 1-0 mm. Tento trend pokračoval i u teploty 60 °C. Při teplotě 100 °C docházelo k mírnému rozdílu hodnot protažení jednotlivých frakcí, nicméně i zde nejlepších hodnot dosahoval originální materiál a nejhůře si vedla frakce o rozměrech 1-0 mm, kde docházelo k největšímu protažení. Protažení při teplotě 60 °C vykazovalo průměrně o 33 % větší hodnotu protažení, než při teplotě 23 °C a při teplotě 100 °C průměrně o 35 % větší hodnotu protažení, než při teplotě 23 °C.

## 10 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pomocí měření bylo získáno celkem šest souborů mechanických vlastností. Jednalo se o zkoušku tvrdosti ShoreD, zkoušku rázem v ohybu na Charpyho kladivu, která poskytla záznamy o síle potřebné k přeražení tělesa a o vrubové houževnatosti tělesa. A v poslední řadě se jednalo o statickou zkoušku tahem, díky které jsme získaly informace o modulech pružnosti, mezích pevnosti a protažení těles z jednotlivých frakcí. Zkouška rázem v ohybu a statická zkouška tahem probíhaly při třech teplotách. Při 23 °C, při 60 °C a při 100 °C.

Zkouška tvrdosti ShoreD probíhala při teplotě 23 °C. Pro každou frakci bylo provedeno 10 měření. Z výsledků vyplývá, že největší tvrdosti bylo dosaženo u frakce o rozměrech 2-1 mm, která o 0,19 % překračovala tvrdost originálního materiálu. Dle předpokladu by měl být originální materiál nejtvrdší, jelikož u ostatních frakcí došlo k poklesu o  $\pm 0,5\%$ . Rozdílnost výsledku u frakce 2-1 mm může být přičítána celkem velké chybě měření, která u tohoto vzorku nastala.

Zkouška rázem v ohybu byla také provedena při třech různých teplotách uvedených výše. U síly potřebné k přeražení tělesa vykazoval téměř vždy nejlepší vlastnosti originální materiál a nejhůřší vlastnosti vždy vykazovala frakce 0-1 mm. Výjimka nastala při teplotě 100 °C, kde frakce o rozměrech 3-2 mm překračovala o 0,2 % originální materiál. Tento nepatrný rozdíl můžeme opět přičítat chybě měření a pro ověření by bylo zapotřebí provést měření s větším statistickým souborem. Celkově se dá říci, že k největšímu přiblížení k originálu docházelo u frakcí o rozměrech 4-3 a 3-2 mm. Tento výsledek může být přikládán podobnosti velikosti frakce jako u originálu, a tudíž i k podobným podmínkám při zpracování. U vrubové houževnatosti se potvrdil předpoklad nejlepších vlastností u originálu za všech teplot. Při teplotě 23 °C se nejvíce originálu přiblížila frakce 3-2 mm s 99,4 % a nejhůř dopadla frakce 1-0 mm. U zvýšených teplot došlo ke změně a nejlépe si vedla frakce o rozměrech 4-3 mm a nejhůř frakce 2-1 mm. Zajímavým je, že u zvýšených teplot nedopadl nejhůř rozměr 1-0 mm. Dle výsledků bylo zjištěno, že nejlepších hodnot dosahují frakce okolo 3 mm.

Statická zkouška tahem byla provedena také v četnosti 10 měření pro každou frakci při teplotách 23 °C, 60 °C a 100 °C. Z hlediska modulu pružnosti dopadl dle předpokladu opět nejlépe originální materiál při všech teplotách. Při teplotě 23 °C docházelo k vyrovnaným hodnotám u frakcí 4-3, 3-2 a 2-1, které se pohybovaly v hodnotách 99 %. Nejhůř při této teplotě dopadla neprosetá frakce. U teplot 60 °C a 100 °C nejlépe dopadal



frakce o rozměrech 4-3 mm a nejhůře frakce 1-0 mm. U meze pevnosti pokračoval trend nejlepších výsledků u originálního materiálu při všech teplotách. Při teplotě 23 °C nedocházelo k razantním změnám, nicméně nejlépe si tentokrát vedla neprosetá frakce, nejhůře opět frakce 1-0 mm. Při teplotě 60 °C byla nejlepší frakce 3-2 mm a nejhorší frakce 1-0 mm. A při teplotě 100 °C nejlepší hodnoty vykazovala frakce 4-3 mm a nejhorší frakce 1-0 mm. U protažení docházelo za všech teplot měření ke stejným výsledkům. Nejlepších hodnot dosahoval originální materiál a nejhorších hodnot dosahovala frakce o rozměrech 0-1 mm.

Z celkového hlediska lze říci, že nejlepších výsledků dosahoval originální materiál. Až na malé výjimky, kdy jej o nepatrný kousek předčil jiný rozměr. Tyto mírné nuance jsou zanedbatelné a vejdou se do chyb měření. Pokud vyloučíme originální materiál, můžeme předpokládat jako nejlepší rozměr frakci o velikosti 3 mm, jelikož se převážně ukazovaly jako nejlepší frakce 4-3 a 3-2 mm. Téměř při všech měřeních dopadl nejhůře rozměr 1-0 mm. Můžeme tedy říct, že použití recyklátu snižuje mechanické vlastnosti. Nicméně jak z výsledků plyne, při užití správné velikosti frakce, nemusí docházet k velkým rozdílům oproti originálu. Pro různé aplikace může tedy být použití recyklátu vhodným nahrazením originálního materiálu.

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala vlivem velikostí částic recyklátu polypropylenu obsahujícího 15 % mastku na výsledné mechanické vlastnosti.

V teoretické části je poukázáno na problematiku recyklace plastů v obecném slova smyslu a také jsou popsány různé metody recyklování polymerů. Dále se teoretická část věnuje polypropylenu samotnému a seznamuje čtenáře s historií tohoto polymeru a jeho užitnými aplikacemi. Jelikož je předmětem zkoumání polypropylen plněný mastkem, obsahuje teoretická část také krátké seznámení s tímto plnivem a poukazuje na změnu mechanických vlastností, které přináší. K pochopení procesu vstřikování je poukázáno také na základní problematiku tohoto výrobního procesu. Je poukázáno na průběh vstřikování, seznámení se strojem samotným a v krátkosti je popsána také vstřikovací forma a její složení. Závěr teoretické části je věnován mechanickým zkouškám, kde jsou obecně popsány nejčastěji používané metody měření, a ve větším rozsahu je čtenář seznámen s metodami, které byly využity u praktické části.

V praktické části jsou prezentovány výsledky měření mechanických vlastností těles vyrobených z recyklátu a originálního materiálu. Jednalo se o měření tvrdosti ShoreD, které probíhalo při teplotě 23 °C, zkoušku rázem v ohybu, která probíhala jak za pokojové teploty 23 °C, tak i za zvýšených teplot 60 °C a 100 °C. V poslední řadě byla provedena statické zkouška v tahu, která byla také provedena za teplot 23 °C, 60 °C a 100 °C. Měření probíhalo pro originální materiál a pro recykláty z různých frakcí. Jednalo se o neprosetou frakci a poté o frakce o rozměrech 4-3, 3-2, 2-1 a 1-0 mm. Pro každou frakci a každou teplotu bylo provedeno 10 měření. Veškeré statistické údaje byly zpracovány programem Microsoft Office Excel 2007. Hodnoty byly zaznamenány do tabulek po 10 měřeních a každá tabulka obsahovala aritmetický průměr a směrodatnou odchylku. Jednotlivé aritmetické průměry byly procentuelně srovnány s originálním materiálem, který představoval 100%. Dále je také možno vidět u každého měření společný graf, který popisuje jednotlivé hodnoty za různých teplot.

Měření bylo zjištěno, že recyklát zhoršuje mechanické vlastnosti výrobku oproti originálnímu materiálu. Pro aplikace za pokojové teploty se jevil recyklát o rozměru frakce 3 mm, jako velmi vhodná náhrada, jelikož vykazoval velmi malé ztráty vůči originálu. Při zvýšených teplotách už by záleželo na účelu použití výrobku. Celkově můžeme říci, že frakce 4-3 a 3-2 mm jsou vhodné k použití, prachové částice 1-0 nikoli.

## SEZNAM LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [2] LAPČÍK, Lubomír a Miroslav RAAB. *Nauka o materiálech II*. Vyd. 2., rozš. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2004. ISBN 80-7318-229-7.
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [4] MORITOMI, Satoru; WATANABE, Tsuyoshi; KANZAKI, Susumu. Polypropylene Compounds for Automotive Applications. "SUMITOMO KAGAKU" : R&D Report. 2010, 1, s. 1-16. Dostupný také z WWW: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.469.6035&rep=rep1&type=pdf>
- [5] Základní mechanické vlastnosti polymerů a jejich hodnocení. Dostupný také z WWW: [www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt.../Mechanicke%20vlastnosti%20polymeru.ppt](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt.../Mechanicke%20vlastnosti%20polymeru.ppt)
- [6] Mechanické vlastnosti polymerů – Statické namáhání. Dostupný také z WWW: <https://publi.cz/books/180/09.html>
- [7] HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie I*. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007, 266 s. ISBN 978-80-86960-26-5.
- [8] PETRA, Dundálková. *Využití plastů: Recyklace plastů* [online]. In: . [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/2062/Knihovna%20k%20projektu/Vyu%BFit%DD%20a%20recyklace%20plast%A8.pdf>
- [9] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*. Dotisk 1. vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2015. ISBN 9788070803677.
- [10] Příprava zpracování plastů. *Technologie II* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/03.htm)
- [11] Retsch. *Sítovací zařízení* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://www.retsch.cz/cz/produkty/sitovani/analyticke-sitovaci-stroje/>
- [12] ŠUTA, Miroslav. *Chemické látky v životním prostředí a zdraví*. Brno: ZO ČSOP Veronica, 2008. ISBN 9788087308004.
- [13] M&M Traders. *Talc powder* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://mnmtraders.weebly.com/talc-powder.html>
- [14] Publi. *Technologie vstřikování plastů* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [15] Publi. *Vstřikovací formy* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/01.html>

- [16] WEISS, Jiří. *FYZIKÁLNÍ STÁRNUTÍ POLYPROPYLENU*. VUT-Brno, 2011. Diplomová práce.
- [17] Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. *Technologie II* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm)
- [18] MAŇAS, Miroslav, Michal STANĚK a David MAŇAS. *Výrobní stroje a zařízení*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-596-1.
- [19] ČSN EN ISO 527-1 (640604): *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 1: Obecné principy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [20] ČSN EN ISO 527-2 (640604): *Plasty - Stanovení tahových vlastností - Část 2: Zkušební podmínky pro tvářené plasty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [21] ČSN EN ISO 868 (64 0624): *Plasty a ebonit - Stanovení tvrdosti vtláčováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore)*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [22] ČSN EN ISO 179-2 (640612): *Plasty - Stanovení rázové houževnatosti Charpy - Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
- [23] GOODSHIP, Vanessa. *Introduction to plastics recycling*. 2nd ed. Shawbury, U.K.: Smithers Rapra, 2007.
- [24] Prosévání. *Laboratorní technika* [online]. [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: <http://lat.zshk.cz/vyuka/prosevani.aspx>
- [25] TOMIS, František a František RULÍK. *Gumárenské a plastikářské stroje II*. Praha: SNTL, 1981.
- [26] GASTROW, Hans., E. LINDNER a P. UNGER. *Injection molds: 130 proven designs*. 3rd ed. / edited by Edmund Lindner and Peter Unger. Cincinnati: Hanser/Gardner [distributor], c2002. ISBN 1569903166.
- [27] BERNHARDT, E. C. *Processing of thermoplastic materials*. New York: Reinhold, 1959.
- [28] ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [29] SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, 2001 [cit. 2017-05-09]. ISBN 80-86229-15-7.
- [30] KREBS, Josef. *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Vyd. 3. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-133-3.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$a_{cN}$	[kJ · m <sup>2</sup> ]	Vrubová houževnatost
$b$	[mm]	Šířka
$b_N$	[mm]	Šířka pod vrubem
C	[-]	Uhlík
ČSN	[-]	Česká státní norma
D	[mm]	Průměr
E	[MPa]	Modul pružnosti
$E_c$	[J]	Spotřebovaná kinetická energie
EN	[-]	Evropská norma
F	[N]	Síla
$F_m$	[N]	Přídavná síla
FT	[-]	Fakulta technologická
$F_u$	[kN]	Uzavírací síla
H	[-]	Vodík
$h$	[mm]	Tloušťka
$h$	[mm]	Výška
HB	[MPa]	Tvrдость dle Brinella
HR	[-]	Tvrдость dle Rockwella
HV	[MPa]	Tvrдость dle Vickerse
$h_1$	[mm]	Hloubka vrubu V
$h_2$	[mm]	Hloubka vrubu U
ISO	[-]	Mezinárodní norma
L	[mm]	Upínací vzdálenost mezi čelistmi
$L_t$	[mm]	Zvětšení upínací vzdálenosti mezi čelistmi

---

$L_0$	[mm]	Počáteční délka zkušebního tělesa
N	[-]	typ vrubu
PP	[-]	Polypropylen
PP-B	[-]	Blokový kopolymer
PP-H	[-]	Homopolymer
PP-R	[-]	Statistický kopolymer propylenu a etylenu
$p_i$	[Pa]	Tlak v dutině formy
r	[mm]	Poloměr
S	[m <sup>2</sup> ]	Průmět plochy výrobku
$S_0$	[mm <sup>2</sup> ]	Původní průřez zkušebního tělesa
u	[mm]	Úhlopříčka
UTB	[-]	Univerzita Tomáše Bati
UVI	[-]	Ústav výrobního inženýrství
w	[mm]	Šířka
$\alpha$	[°]	Úhel vrubu
$\varepsilon$	[%]	Poměrné prodloužení
$\varepsilon_t$	[%]	Jmenovité poměrné prodloužení
$\pi$	[-]	Konstanta
$\sigma$	[MPa]	Smluvní napětí

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Recyklační cyklus [8]</i> .....	8
<i>Obr. 2. Linka na zpracování plastového odpadu. [9]</i> .....	10
<i>Obr. 3. Nožový mlýn [10]</i> .....	11
<i>Obr. 4. Vibrační síťovací zařízení [11]</i> .....	11
<i>Obr. 5. Chemický vzorec PP [12]</i> .....	12
<i>Obr. 6. Uspořádání methylenových skupin</i> .....	13
<i>Obr. 7. Minerální mastek [13]</i> .....	16
<i>Obr. 8. Modul pružnosti v závislosti na obsahu plniv v PP[4]</i> .....	16
<i>Obr. 9. Vstřikovací cyklus [3]</i> .....	17
<i>Obr. 10. Průběh vnitřního tlaku v dutině formy během vstřikování [14]</i> .....	18
<i>Obr. 11. Schéma vstřikovacího stroje [15]</i> .....	19
<i>Obr. 12. Ukázka konstrukce formy[15]</i> .....	20
<i>Obr. 13. Schéma rozdělení mechanických charakteristik [6]</i> .....	22
<i>Obr. 14. Deformační křivky polymerů [6]</i> .....	23
<i>Obr. 15. Zkušební těleso – oboustranná lopatka [16]</i> .....	24
<i>Obr. 16. Tvrdoměr Shore [6]</i> .....	26
<i>Obr. 17. Charpyho kladivo [7]</i> .....	28
<i>Obr. 18. Zkušební těleso – destička [16]</i> .....	29
<i>Obr. 19. Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470H</i> .....	32
<i>Obr. 20. Zkušební tělesa s vtokovým systémem</i> .....	33
<i>Obr. 21. Nožový mlýn Maskin AB Rapid</i> .....	34
<i>Obr. 22. Nože přístroje</i> .....	34
<i>Obr. 23. Frakce po drcení</i> .....	35
<i>Obr. 24. Prosévací zařízení Retsch AS 200 Basic</i> .....	36
<i>Obr. 25. Jednotlivá síta: A – 4 [mm], B – 3 [mm], C – 2 [mm], D – 1 [mm]</i> .....	36
<i>Obr. 26. Frakce o velikosti 3 – 4 mm</i> .....	37
<i>Obr. 27. Frakce o velikosti 2 – 3 mm</i> .....	37
<i>Obr. 28. Frakce o velikosti 1 – 2 mm</i> .....	37
<i>Obr. 29. Frakce o velikosti 0 – 1 mm</i> .....	38
<i>Obr. 30. Procentuální zastoupení frakcí</i> .....	39
<i>Obr. 31. Tvrdoměr Shore D – Omag ART 13</i> .....	41
<i>Obr. 32. Tvrdost Shore D</i> .....	42

<i>Obr. 33. Charpyho kladivo .....</i>	43
<i>Obr. 34. Vrubovací zařízení.....</i>	43
<i>Obr. 35. Síla pro přeražení při 23 °C.....</i>	44
<i>Obr. 36. Síla pro přeražení při 60 °C.....</i>	45
<i>Obr. 37. Síla pro přeražení při 100 °C.....</i>	45
<i>Obr. 38. Síla pro přeražení za různých teplot PP + 15 % Mastku.....</i>	46
<i>Obr. 39. Vrubová houževnatost při 23 °C .....</i>	47
<i>Obr. 40. Vrubová houževnatost při 60 °C .....</i>	48
<i>Obr. 41. Vrubová houževnatost při 100 °C .....</i>	48
<i>Obr. 42. Vrubová houževnatost za různých teplot PP + 15 % Mastku .....</i>	49
<i>Obr. 43. Zwick 1456 .....</i>	50
<i>Obr. 44. Modul pružnosti při teplotě 23 °C.....</i>	51
<i>Obr. 45. Modul pružnosti při teplotě 60 °C.....</i>	52
<i>Obr. 46. Modul pružnosti při teplotě 100 °C.....</i>	52
<i>Obr. 47. Modul pružnosti v tahu za různých teplot PP + 15 % Mastku.....</i>	53
<i>Obr. 48. Mez pevnosti při 23 °C .....</i>	54
<i>Obr. 49. Mez pevnosti při 60 °C .....</i>	54
<i>Obr. 50. Mez pevnosti při 100 °C .....</i>	55
<i>Obr. 51. Mez pevnosti za různých teplot PP + 15 % Mastku.....</i>	55
<i>Obr. 52. Protážení při 23 °C .....</i>	56
<i>Obr. 53. Protážení při 60 °C .....</i>	57
<i>Obr. 54. Protážení při 100 °C .....</i>	57
<i>Obr. 55. Protážení za různých teplot PP + 15 % Mastku .....</i>	58



## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Zastoupení polymerů v komunálním odpadu [8]</i> .....	7
<i>Tab. 2. Vlastnosti jednotlivých polypropylenů [2]</i> .....	14
<i>Tab. 3. Fyzikálně – mechanické vlastnosti</i> .....	14
<i>Tab. 4. Vliv plniv na vlastnosti termoplastu [3]</i> .....	21
<i>Tab. 5. Orientační parametry vstřikování [3]</i> .....	21
<i>Tab. 6. Rozměry nejpoužívanějších typů zkušebních těles [16]</i> .....	24
<i>Tab. 7. Rozměry tělesa [16]</i> .....	29
<i>Tab. 8. Předepsané procesní parametry</i> .....	32
<i>Tab. 9. Technické parametry stroje</i> .....	33
<i>Tab. 10. Procesní parametry</i> .....	33
<i>Tab. 11. Technické parametry nožového mlýnu</i> .....	35
<i>Tab. 12. Četnost jednotlivých frakcí</i> .....	38
<i>Tab. 13. Tvrdost Shore D</i> .....	42
<i>Tab. 14. Aritmetické průměry síly potřebné k přeražení</i> .....	44
<i>Tab. 15. Aritmetické průměry vrubové houževnatosti</i> .....	47
<i>Tab. 16. Technické údaje Zwick 1456</i> .....	50
<i>Tab. 17. Modul pružnosti v tahu</i> .....	51
<i>Tab. 18. Mez pevnosti v tahu</i> .....	53
<i>Tab. 19. Protážení</i> .....	56
<i>Tab. 20. Síla při přeražení při 23°C</i> .....	71
<i>Tab. 21. Síla při přeražení při 60°C</i> .....	71
<i>Tab. 22. Síla při přeražení při 100°C</i> .....	71
<i>Tab. 23. Vrubová houževnatost při 23°C</i> .....	72
<i>Tab. 24. Vrubová houževnatost při 60°C</i> .....	72
<i>Tab. 25. Vrubová houževnatost při 100°C</i> .....	72
<i>Tab. 26. Modul pružnosti v tahu při 23°C</i> .....	73
<i>Tab. 27. Modul pružnosti v tahu při 60°C</i> .....	73
<i>Tab. 28. Modul pružnosti v tahu při 100°C</i> .....	73
<i>Tab. 29. Mez pevnosti v tahu při 23°C</i> .....	74
<i>Tab. 30. Mez pevnosti v tahu při 60°C</i> .....	74
<i>Tab. 31. Mez pevnosti v tahu při 100°C</i> .....	74
<i>Tab. 32. Protážení při 23 °C</i> .....	75

---

<i>Tab. 33. Protážení při 60 °C</i> .....	75
<i>Tab. 34. Protážení při 100 °C</i> .....	75

**SEZNAM PŘÍLOH**

PI	Síla při přeražení
PII	Vrubová houževnatost
PIII	Modul pružnosti v tahu
PIV	Mez pevnosti v tahu
PV	Protažení
PIV	Materiálový list PP+15% mastku

## PŘÍLOHA P I: SÍLA PŘI PŘERAŽENÍ

Tab. 20. Síla při přeražení při 23 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[N]
1	383,00	354,60	384,50	354,60	355,10	341,50	
2	373,00	395,10	345,10	354,00	366,90	343,90	
3	375,60	357,00	355,80	350,40	351,80	348,70	
4	380,40	413,60	352,20	355,20	371,80	333,70	
5	377,40	318,20	351,00	368,90	331,50	331,90	
6	371,10	319,40	346,80	387,90	356,10	324,80	
7	363,90	362,30	374,80	382,60	328,30	355,80	
8	382,60	367,70	345,10	393,95	376,50	332,50	
9	370,20	347,40	369,58	368,30	317,90	342,70	
10	358,20	333,10	350,90	361,10	334,00	358,19	
aritmetický průměr	373,5	356,8	357,6	367,7	349,0	341,4	
směrodatná odchylka	7,6	29,0	13,1	14,8	19,0	10,3	

Tab. 21. Síla při přeražení při 60 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[N]
1	244,89	235,15	231,25	234,23	247,34	236,1	
2	256,28	244,09	238,99	248,53	240,12	256,1	
3	232,83	229,45	236,01	231,84	264,62	215,3	
4	239,59	229,46	243,17	234,82	237,8	220,5	
5	249,13	231,84	256,87	230,65	220,52	248,6	
6	234,56	225,88	225,88	237,8	218,2	228,4	
7	249,99	252,7	239,59	233,03	264,03	217,6	
8	248,6	237,8	223,5	228,86	211,58	218,1	
9	246,74	236,1	256,87	251,51	243,76	235,3	
10	234,23	231,31	237,8	250,42	215,8	224,5	
aritmetický průměr	243,7	235,4	239,0	238,2	236,4	230,1	
směrodatná odchylka	7,6	7,6	10,7	8,2	18,4	13,1	

Tab. 22. Síla při přeražení při 100 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[N]
1	167,4	187,74	169,86	161,51	164,49	166,2	
2	165,1	147,87	177,01	169,26	170,45	167,6	
3	165,1	178,2	161,51	171,65	160,92	166	
4	174,1	172,84	159,73	175,82	156,15	151,3	
5	172,57	167,11	162,71	161,51	157,34	154,7	
6	166,15	156,08	156,75	169,86	165,09	162,3	
7	181,91	159,73	174,63	188,93	171,05	154,2	
8	173,43	167,47	167,47	177,01	166,88	160,9	
9	177,61	165,69	171,65	179,99	170,45	144,8	
10	185,42	169,26	170	177,01	157,94	169	
aritmetický průměr	172,9	167,2	167,1	173,3	164,1	159,7	
směrodatná odchylka	6,8	10,7	6,4	7,9	5,4	7,7	

## PŘÍLOHA P II: VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST

Tab. 23. Vrubová houževnatost při 23 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[kJ.m <sup>-2</sup> ]
1	4,28	4,13	4,11	4,41	3,67	3,68	
2	4,25	4,36	4,27	4,36	4,57	4,08	
3	3,94	3,79	3,59	4,39	3,63	3,27	
4	4,18	3,92	3,38	4,11	4,26	3,38	
5	4,16	4,23	3,5	4,4	3,38	4,16	
6	4,42	4,39	4,49	4,39	3,92	4,16	
7	3,97	4,29	4,09	4,11	4,02	4,07	
8	4,11	4,42	4,15	3,64	4,07	3,46	
9	4,28	4,23	4,44	4,13	3,92	3,71	
10	4,29	3,61	4,49	3,81	4,26	4,01	
aritmetický průměr	4,2	4,1	4,1	4,2	4,0	3,8	
směrodatná odchylka	0,1	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	

Tab. 24. Vrubová houževnatost při 60 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[kJ.m <sup>-2</sup> ]
1	2,84	2,88	3,16	2,72	2,19	2,15	
2	2,98	2,53	3,18	2,69	2,24	2,63	
3	2,7	2,6	3,04	2,62	1,88	2,77	
4	2,84	2,8	2,6	2,54	2,3	2,25	
5	2,71	2,8	2,75	2,47	2,56	2,65	
6	2,95	2,43	2,87	2,8	2,54	2,57	
7	3,19	2,58	3,13	2,88	2,51	2,26	
8	3,22	2,27	2,62	3,11	2,29	2,51	
9	3,03	2,68	3,03	2,29	2,32	2,69	
10	3,1	2,63	2,82	3,1	2,66	2,46	
aritmetický průměr	3,0	2,6	2,9	2,7	2,3	2,5	
směrodatná odchylka	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	

Tab. 25. Vrubová houževnatost při 100 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[kJ.m <sup>-2</sup> ]
1	2,21	2,16	1,81	2,26	1,69	2,08	
2	2,35	2,1	2,33	2,18	1,87	2,26	
3	2,12	2,27	1,95	1,85	2,05	2,04	
4	2,13	1,85	2,49	1,94	1,97	1,62	
5	2	2,03	2,06	1,81	1,89	1,76	
6	2,15	1,64	2,23	1,77	1,96	1,74	
7	2,18	2,14	2,08	1,82	1,73	2,09	
8	2,1	1,87	2,21	2,27	2,09	1,88	
9	2,34	1,95	2,3	2,26	2,07	2,07	
10	2,23	2,27	1,97	2,27	1,81	1,93	
aritmetický průměr	2,2	2,0	2,1	2,0	1,9	1,9	
směrodatná odchylka	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	

## PŘÍLOHA P III: MODUL PRUŽNOSTI V TAHU

Tab. 26. Modul pružnosti v tahu při 23 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[MPa]
1	1660	1610	1690	1740	1750	1600	
2	1780	1670	1650	1710	1630	1660	
3	1780	1760	1660	1780	1630	1610	
4	1680	1550	1680	1720	1780	1680	
5	1780	1680	1710	1680	1800	1710	
6	1760	1730	1700	1680	1700	1610	
7	1720	1570	1770	1720	1790	1590	
8	1690	1540	1700	1600	1690	1570	
9	1650	1690	1820	1630	1700	1750	
10	1690	1530	1770	1710	1710	1640	
aritmetický průměr	1719	1633	1715	1697	1718	1642	
směrodatná odchylka	49,3	79,4	51,6	49,6	58,1	54,6	

Tab. 27. Modul pružnosti v tahu při 60 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[MPa]
1	806	740	747	808	748	771	
2	798	764	749	802	731	719	
3	822	805	788	756	737	768	
4	820	795	797	786	770	769	
5	774	791	800	754	742	754	
6	824	762	806	774	743	749	
7	771	739	749	776	792	766	
8	802	724	787	765	773	765	
9	769	764	756	750	789	758	
10	815	767	753	742	784	723	
aritmetický průměr	800,1	765,1	773,2	771,3	760,9	754,2	
směrodatná odchylka	20,51	24,85	23,09	21,02	21,97	17,89	

Tab. 28. Modul pružnosti v tahu při 100 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[MPa]
1	401	359	378	373	355	345	
2	413	371	373	378	361	347	
3	406	370	376	379	346	356	
4	412	352	376	372	392	369	
5	386	370	390	370	404	343	
6	413	376	376	366	379	347	
7	404	367	388	368	369	380	
8	400	374	369	369	385	346	
9	409	373	380	381	379	369	
10	401	384	380	371	393	367	
aritmetický průměr	404,5	369,6	378,6	372,7	376,3	356,9	
směrodatná odchylka	7,81	8,43	6,05	4,78	17,44	12,57	

## PŘÍLOHA P IV: MEZ PEVNOSTI V TAHU

Tab. 29. Mez pevnosti v tahu při 23 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[MPa]
1	20,4	20,5	20,4	20,3	20,4	20,1	
2	20,6	20,5	20,4	20,4	20,4	20,1	
3	20,5	20,4	20,2	20,4	20,3	20	
4	20,5	20,4	20,2	20,3	20,4	20,2	
5	20,6	20,5	20,4	20,3	20,2	20	
6	20,5	20,4	20,4	20,3	20,2	20,1	
7	20,5	20,5	20,4	20,2	20,3	20,1	
8	20,6	20,5	20,3	20,2	20	20,2	
9	20,4	20,4	20,3	20,2	20,2	20,1	
10	20,5	20,5	20,3	20,4	20,2	20,2	
aritmetický průměr	20,51	20,46	20,33	20,30	20,26	20,11	
směrodatná odchylka	0,07	0,05	0,08	0,08	0,12	0,07	

Tab. 30. Mez pevnosti v tahu při 60 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[MPa]
1	12,1	11,4	11,5	11,9	11,4	11,2	
2	12,3	11,5	11,6	11,9	11,3	11	
3	12,3	11,5	11,7	11,7	11,3	11	
4	12,5	11,5	11,7	11,7	11,3	10,9	
5	12,3	11,4	11,5	11,6	11,4	11,1	
6	12,5	11,5	11,6	11,6	11,2	11	
7	12,6	11,7	11,8	11,5	11,3	11	
8	12,5	11,3	11,7	11,9	11,3	10,9	
9	12,1	11,4	11,8	11,5	11,4	11,2	
10	11,9	11,8	11,7	11,8	11,2	11	
aritmetický průměr	12,31	11,5	11,66	11,71	11,31	11,03	
směrodatná odchylka	0,21	0,14	0,10	0,15	0,07	0,10	

Tab. 31. Mez pevnosti v tahu při 100 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[MPa]
1	6,4	5,55	6,3	5,82	5,79	5,78	
2	6,51	5,8	6,24	5,91	5,69	5,51	
3	6,62	5,85	6,28	6,04	5,76	5,6	
4	6,36	5,88	6,42	6,07	5,66	5,42	
5	6,45	6,06	6,36	5,96	5,73	5,48	
6	6,36	6,11	5,97	5,97	5,7	5,8	
7	6,54	6,11	5,96	6,04	5,78	5,44	
8	6,5	5,72	5,9	6,05	5,74	5,46	
9	6,62	6,09	6,02	5,81	5,71	5,45	
10	6,38	6,12	5,93	5,77	5,77	5,65	
aritmetický průměr	6,474	5,929	6,138	5,944	5,733	5,559	
směrodatná odchylka	0,09	0,19	0,19	0,11	0,04	0,13	

## PŘÍLOHA P V: PROTAŽENÍ

Tab. 32. Protážení při 23 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[mm]
1	5,5	5,6	5,5	5,5	5,5	5,6	
2	5,4	5,5	5,5	5,5	5,6	5,6	
3	5,5	5,4	5,4	5,5	5,5	5,8	
4	5,5	5,6	5,5	5,5	5,5	5,6	
5	5,4	5,4	5,5	5,5	5,5	5,7	
6	5,3	5,4	5,6	5,5	5,5	5,7	
7	5,2	5,6	5,5	5,7	5,6	5,8	
8	5,5	5,6	5,4	5,5	5,5	5,7	
9	5,5	5,6	5,4	5,5	5,6	5,6	
10	5,4	5,6	5,5	5,5	5,6	5,5	
aritmetický průměr	5,42	5,53	5,48	5,52	5,54	5,66	
směrodatná odchylka	0,10	0,09	0,06	0,06	0,05	0,09	

Tab. 33. Protážení při 60 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[mm]
1	7,9	8,2	7,9	7,9	8,1	8,4	
2	7,7	8,1	8	8	8,1	8,3	
3	7,7	7,9	7,9	8	8,2	8,1	
4	7,7	7,9	7,9	8,1	7,9	8,2	
5	7,8	8,2	8	8	8,1	8,2	
6	7,7	8	7,9	7,9	8,1	8,1	
7	7,9	7,9	7,9	8	8,2	8,1	
8	8	8	8	7,9	8,3	8,4	
9	7,9	8	8,1	8	8	8,5	
10	7,9	7,9	8	8	8,2	8,3	
aritmetický průměr	7,82	8,01	7,96	7,98	8,12	8,26	
směrodatná odchylka	0,11	0,11	0,07	0,06	0,11	0,14	

Tab. 34. Protážení při 100 °C

PP + 15 % mastek	originál	neproseto	4-3 mm	3-2 mm	2-1 mm	1-0 mm	[mm]
1	7,7	8,5	8,1	8,2	8,6	8,5	
2	8,1	8,6	8,2	7,8	8,7	8,9	
3	7,9	8,2	8,4	8,2	8	8,5	
4	7,8	8,3	8,1	8,2	7,8	8,8	
5	8,1	8	8,1	8,2	8	8,8	
6	8	8,1	8,3	8,2	8,2	8,5	
7	7,8	8	8,3	8,1	8,3	8,5	
8	7,7	8,4	8	8,1	8	8,7	
9	7,8	8,5	8,1	7,8	8,2	8,5	
10	7,8	8,2	8	7,8	8	8,9	
aritmetický průměr	7,87	8,28	8,16	8,06	8,18	8,66	
směrodatná odchylka	0,14	0,20	0,13	0,17	0,27	0,17	



## PŘÍLOHA P VI: MATERIÁLOVÝ LIST

# TECHNICAL DATA SHEET



<b>PRODUCT CODE:</b>	<b>D320G03</b>
<b>CATEGORY:</b>	<b>GENERAL ENGINEERING</b>

<b>DESCRIPTION :</b>	<b>15% Talc filled elastomer modified polypropylene</b>
<b>APPROVALS :</b>	
<b>TYPICAL APPLICATIONS:</b>	<b>Automotive</b>

Properties at 23°C	Test Method	Units	Value
Reinforcement Content	SPC Method	%	15
Specific Gravity (SG)	ISO R1183		0.99
Melt Flow Index (MFI)	ISO R1133	g/10 minutes	25-35
Mould Shrinkage	SPC Method	%	0.8-1.0
Tensile Strength	ISO R527	MPa	20
Elongation at Break	ISO R527	%	>100
Tensile Modulus	ISO R527	GPa	-
Flexural Strength	ISO 178	MPa	26
Flexural Modulus	ISO 178	GPa	1.5
Izod Impact (notched)	ISO R180	KJ/m	55
Izod Impact (notched) -30°C	ISO R180	KJ/m <sup>2</sup>	5
Charpy Impact (unnotched)	ISO 179	KJ/m <sup>2</sup>	-
Heat Distortion Temperature	ISO 75/0.46 MPa	°C	100
Heat Distortion Temperature	ISO 75/1.81 MPa	°C	-
Dielectric Strength	IEC 243	MV/m	-
Surface Resistivity	IEC 93	Log <sub>10</sub> Ohm	-
Volume Resistivity	IEC 93	Log <sub>10</sub> Ohm/cm	-



**Sumika Polymer Compounds**

Sumitomo Chemical Group

Sumika Polymer Compounds (UK) Ltd.  
28, New Lane, Havant Hampshire PO9 2NQ UK  
Telephone : 00 44 (0) 23 92 48 63 50 Fax 00 44 (0) 23 92 47 23 88

Information in this publication and otherwise supplied to users is based on our general experience and is given in good faith, but because of the many particular factors which are outside our knowledge and control and affect the use of the products, no warranty is given or to be implied with respect to such information. The property values and applications quoted are believed typical but do not constitute a specification. Users should make their own tests to determine the suitability of the information and products for any particular use. Users also assume all responsibility and liability for loss or damage arising from the processing and use of the information and products. Freedom under patents, copyright and registered designs cannot be assumed.

Registered in England No 2594313

<b>PRODUCT CODE :</b>	<b>D320G03</b>
-----------------------	----------------

### PRE-DRYING REQUIREMENTS

	Units	Values
Pre-Dried Ready For Use	-	Yes
Storage Life (unopened) @ 23°C/50%R.H	Months	6
Open Storage Time Before Pre-Drying Required	Hours	6
Pre-Drying Recommendation		3-4 Hours at 90°C

### PROCESSING GUIDELINES

Processing Parameter	Units	Recommendation
Barrel Temperature Profile (Rear to Nozzle)	°C	200, 215, 230, 250
Injection Speed		Fast
Use of Back Pressure		Low
Tool Temperature Requirement	°C	30-60
Regrind Addition (Maximum)	% by Weight	10

SPECIALIST PROCESSING ADVICE IS AVAILABLE FROM SPC TECHNICAL DEPARTMENT

### HEALTH & SAFETY DATA

	Units	Recommendation
Maximum Barrel Residence Time	Minutes	15
Maximum Barrel Temperature	°C	280
Spontaneous Ignition Temperature	°C	320
Disposal of Purgings and Melts		Cooled in Water to avoid fire

A separate Material Safety Data Sheet is also available

### HANDLING RECOMMENDATIONS AND DETAILS

Packaging Code (Digit 9)	Pallet Size WxLxH(mm)	Overall Height (m)	Maximum Stack Height (Pallets)	Weight Per Pallet Nett (Kgs)	Suitable for Racking System Supported on 2 Sides	Description	2 Way or 4 Way Entry Pallets
F	1000x1200x120	2.0	2	1000	Yes	Octabin	4
J	1000x1200x120	1.1	3	500	Yes	Gallia Standard Octabin	4
S	1000x1200x120	1.2	2	1000	No	20-25Kg Bags	4

<b>Issue No:</b>	<b>1</b>
<b>Date Issued:</b>	<b>19/06/13</b>