

Mechanické vlastnosti polykarbonátu, akrylonitril-butadien-styrenu, jejich směsí a jejich tahové vlastnosti za zvýšené teploty

Marek Škorec

Bakalářská práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Marek Škorec
Osobní číslo:	T19882
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Mechanické vlastnosti polykarbonátu, ABS, jejich směsí a jejich tahové vlastnosti za zvýšené teploty

Zásady pro vypracování

1. Vypracování literární řešení k dané problematice
2. Vyrobení zkušebních těles ze zvolených materiálů
3. Provedení experimentálních zkoušek mechanických vlastností za zvolených podmínek
4. Vyhodnocení dosažených výsledků

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

Seznam doporučené literatury:

1. B.V. Lingesh, B.N. Ravikumar, B.M. Rudresh.: Combined Effect of Micro Fillers on the Mechanical and Fracture Behavior of Polyamide 66 and Polypropylene (PA66/PP) Blend, Trans.Indian Inst. Met 70 (2017), pp. 1743-1753.
2. L. Hyliva, M. Manas.: Impact behaviour of acrylonitrile-butadiene-styrene after temperature and humidity load, MATEC Web of Conferences 125, 02048 (2017), DOI: 10.1051/mateconf/201712502048.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Žaludek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. ledna 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

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

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá mechanickými vlastnostmi polykarbonátu, akrylonitril-butadien-styrenu, jejich směsí a jejich tahovými vlastnostmi za zvýšené teploty. Teoretická část popisuje termoplasty, druhy polymerů a následně vybrané polymery a jejich mechanické vlastnosti.

Praktická část popisuje nejprve výrobu zkušebního tělesa, dále tahovou zkoušku a následně jsou zkoumány a porovnávány naměřené hodnoty u vybraných polymerů.

Klíčová slova: polymer, polykarbonát, akryl-nitril-butadien-styren, mechanické vlastnosti, tahová zkouška

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the mechanical properties of polycarbonate, acrylonitrile-butadiene-styrene, their mixtures and their traction properties at elevated temperatures. The theoretical part describes thermoplastics, types of polymers and subsequently selected polymers and their mechanical properties.

The practical part describes first the production of the test body, then the tensile test, and then the measured values of the selected polymers are examined and compared.

Keywords: polymer, polycarbonate, acrylic nitrile-butadiene-styrene, mechanical properties, tensile test

Chtěl bych poděkovat Ing. Milanu Žaludkovi Ph.D za pomoc s laboratorním měřením a za cenné rady při psaní mé bakalářské práce, dále za ochotu a pomoc při hledání materiálů a za jeho odborné vedení. Také bych rád poděkovat své přítelkyni za pomoc podporu.

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

OBSAH

ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1 POLYMERY.....	10
1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	10
1.2 PLASTY	11
1.2.1 Termoplasty.....	12
1.2.2 Reaktoplasty.....	12
1.3 ELASTOMERY	12
1.3.1 Kaučuky	13
1.4 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	13
2 TERMOPLASTY	14
2.1 AMORFNÍ TERMOPLASTY	15
2.2 SEMIKRYSTALICKÉ TERMOPLASTY	15
3 CHARAKTERISTIKA ZADANÝCH POLYMERŮ.....	17
3.1 POLYKARBONÁT.....	17
3.2 AKRYLONITRIL-BUTADIEN-STYREN.....	18
3.3 SMĚS POLYKARBONÁTU A AKRYLONITRIL-BUTADIEN-STYRENU	19
4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	21
4.1 TAHOVÉ VLASTNOSTI	21
4.1.1 Tahová zkouška.....	21
4.1.2 Výpočty napětí	22
4.1.3 Výpočty poměrného prodloužení.....	22
4.1.4 Výpočet modulu pružnosti	23
4.1.5 Poissonův poměr	23
4.2 TAHOVÉ VLASTNOSTI ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT	24
4.3 VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST	24
4.4 SHORE D	25
4.5 OHYBOVÉ VLASTNOSTI	25
II PRAKTICKÁ ČÁST	26
5 CÍL PRÁCE	27
6 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	28
6.1 PŘÍPRAVA MATERIÁLŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	28
6.2 POSTUP PŘI VSTŘIKOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES	29
7 TAHOVÁ ZKOUŠKA – NAMĚŘENÁ DATA.....	31

7.1	ZKUŠEBNÍ STROJ.....	31
7.2	ZKOUŠKA TAHEM	32
7.3	PC	32
7.4	ABS	36
7.5	ABS/PC	40
8	VYHODNOCENÍ	44
8.1	MECHANICKÉ VLASTNOSTI TERMOPLASTU ZA ROZDÍLNÝCH TEPLOT	44
8.1.1	PC	44
8.1.2	ABS	45
8.1.3	ABS/PC	47
8.2	POROVNÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ TERMOPLASTŮ MEZI SEBOU	49
8.2.1	Pro teplotu 21 °C	49
8.2.2	Pro teplotu 40 °C	50
8.2.3	Pro teplotu 60 °C	52
8.2.4	Pro teplotu 80 °C	53
	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	56
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	60
	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
	SEZNAM TABULEK.....	63

ÚVOD

Polymery jsou makromolekulární látky, které nacházíme ve formě různých výrobků okolo nás. Polykarbonát je termoplast s dobrými mechanickými vlastnostmi a snadnou zpracovatelností. Akrylonitril-butadien-styren je velmi používaný termoplast, který má také výborné mechanické vlastnosti. Jeho použití je tudíž velmi univerzální, od domácích spotřebičů až po součásti automobilů. Směs polykarbonátu a akrylonitril-butadien-styrenu je velmi dobře zpracovatelná.

Cílem bakalářské práce je vytvoření zkušebních vzorků PC, ABS a ABS/PC a provedení zkoušky na trhacím stroji dle normy ISO 527-1. Následně porovnání mechanických vlastností daného materiálu za zvyšujících teplot a porovnání těchto materiálů mezi sebou.

Teoretická část popisuje polymery a termoplasty. První kapitola se zabývá nejprve polymery obecně, jejich historií, vlastnostmi a rozdělením. Dále jsou popsány hlavní dvě skupiny plastů, podskupina elastomerů a termoplastické elastomery.

Ve druhé kapitole jsou blíže specifikovány termoplasty, které se dělí na dvě skupiny a to amorfní termoplasty a semikrystalické termoplasty.

Třetí kapitola blíže popisuje vybrané polymery, které jsou dále v praktické části více zkoumány a měřeny. Jsou jimi polykarbonát a akrylonitril-butadien-styren a jejich směs.

V praktické části jsou uvedeny naměřené hodnoty z trhacího stroje pro dané materiály za pokojových a zvýšených teplot. Dále graficky znázorněné vybrané mechanické vlastnosti a porovnání mezi sebou.

I. TEORETICKÁ ČÁST

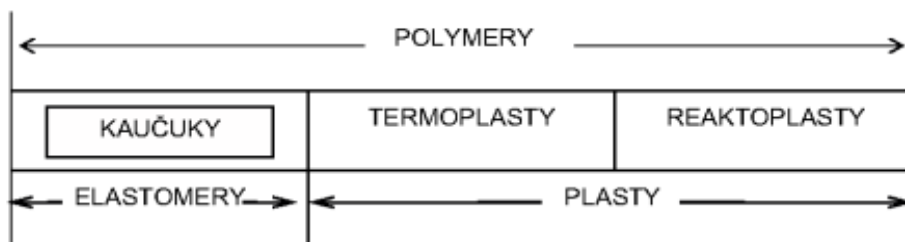
1 POLYMERY

Polymer je látka sestávající z molekul jednoho nebo více druhů atomů (atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, dusíku chloru, křemíku) nebo skupin spojených navzájem ve velkém počtu. Jsou to obecně makromolekulární látky o molekulové hmotnosti vyšší jak 10^4 a z chemického hlediska jsou to látky organické. Podstatou polymerů je makromolekulární látka přírodního (škrob, celulóza) nebo syntetického původu. (Křenek, 2010) Polymery můžeme nejčastěji najít v pevné podobě a to ve formě všemožných výrobků okolo nás. Jedná se o různé kryty kuchyňských spotřebičů, telefonů, oken, designových doplňků v domácnosti a mnoho dalších výrobků. Těmto stavům předchází kapalný stav, kdy jsou polymery za zvýšeného tlaku a teploty zpracovávány a následně dostanou požadovaný tvar. (Hluchník, 2017)

První využití plastů datujeme na rok 1843, kdy si lékař Dr. William Nontgomerie všiml místních domorodců, jak vyrábějí rukojeti z vytčené pryskyřice ze stromů gutaperče. Díky němu pak byla pryskyřice sbírána a zasílána do Anglie ke zkoumání a následně ke zpracování. V procesu zkoumání bylo zjištěno, že výtažky ze stromu jsou dobrými izolanty elektrického proudu, a to i v kapalném prostředí. V roce 1925 byla v Německu zavedena první průmyslová výroba. Průkopníkem tohoto průmyslu se stal John W. Hyatt. Vynalezl hmotu zvanou Celluloid. O několik let později se spojil se svým bratrem a získali patent na výrobu plastů. S novým stoletím přišel i velký rozvoj polymerů. Dnes už je život bez nic nepředstavitelný. (Hluchník, 2017).

1.1 Základní rozdělení Polymerů

Pomocí základních technických vlastností rozdělujeme polymery na plasty a elastomery.(Obr. 1).



Obr. 1 – Rozdělení polymerů (Ducháček, 2006)

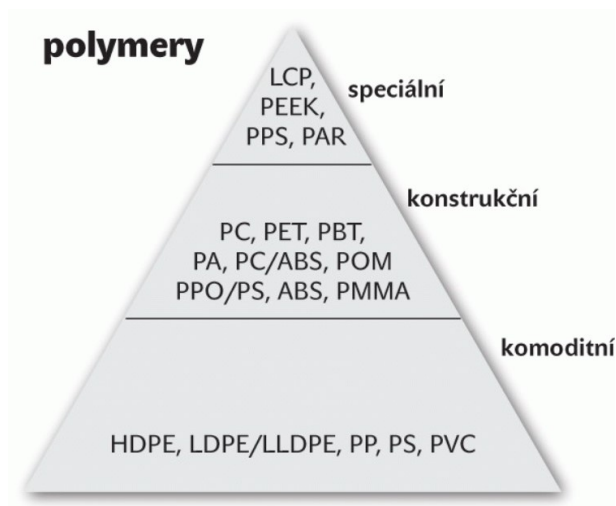
Příměsi do polymerů:

- **Plniva:** mají vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti (menší tepelná roztažnost, vyšší pevnost atd.)
- **Změkčovadla:** zlepšují jejich ohebnost
- **Stabilizátory:** zlepšují odolnost vůči vlivům prostředí (teplota, vlhkost)
- **Maziva:** pomáhají při zpracování, zvyšují tekutost
- **Nadouvadla:** díky nim nabývá objem, a díky nim vzniká bublinová (pěnová) struktura
- **Barviva:** způsobují žádané zbarvení (Bařtipán, 2017)

1.2 Plasty

Polymery lze rozdělit dle použití do třech skupin, viz obr. 2. Plasty se řadí mezi materiály s vysokou využitelností a také nízkou spotřebou energie. Mezi jejich výhody patří nízká hmotnost, vysoká schopnost izolace a také korozivzdornost. (Mleziva a Šňupárek, 2000) Materiálově jsou na bázi makromolekulárních látek, tzn. organických sloučenin, které se skládají z makromolekul. Ty mohou vznikat buď z cyklických monomerů, nebo z molekul obsahující dvojnou vazbu. U plastů jakékoliv vnější namáhání způsobuje nevratnou deformaci. Obvykle se vyskytují v pevném stavu. Plasty v první řadě dělíme na Termoplasty a Reaktoplasty. (Hluchník, 2017) Dále by se dalo plasty dělit dle uplatnění na trhu:

- **Komoditní plasty:** Tento druh plastů se vyrábí v největším množství a jejich výroba stále roste. Nevynikají ale užitnými vlastnostmi, výhodou je velmi nízká cena
- **Konstrukční plasty:** Oproti komoditním plastům mají velmi dobré mechanické vlastnosti a teplotní odolnost. Jejich nevýhodou je už vyšší cena.
- **Speciální plasty:** Jsou to plasty s teplotní i chemickou odolností, dokonce i biologická snášenlivost a mají velmi dlouhou životnost. Ale jsou to nejdražší polymerní materiály. (Kotek a Raab, 2009)



Obr. 2 – Polymery (Kotek a Raab, 2009)

1.2.1 Termoplasty

Jsou to polymery, které díky zahřívání přecházejí do plastického stavu a jsou znovu tvárné. A to díky zahřátí do oblasti nad teplotu tání. Poté po ochlazení přechází do tuhého stavu. Změny, kterými prochází, jsou pouze fyzikální a ne chemické. Takže se nemění jejich struktura. Termoplasty jsou amorfní i semikrystalické. (Bařtipán, 2017) A jsou to např.: polyethylen (PE), polyvinylchlorid (PVC), akrylonitrilbutadienstyren (ABS), polyoxymethylen (POM) a další. Termoplasty se zpracovávají: vstřikováním, válcováním, vytlačováním, vyfukováním, ohýbáním a vakuovým tvarováním. (Raab, 2020)

1.2.2 Reaktoplasty

Jsou to polymery, které díky chemické reakci jsou znovu netavitelné. Jinak je nazýváme termosety. Pomocí zahřátí nebo přidání vytvrzovacího prostředku, přechází do netavitelného a nerozpustného stavu. Reaktoplasty jsou amorfní polymery, které se vyznačují velkou chemickou a tepelnou odolností a také velkou tuhostí a tvrdostí. (Raab, 2020) A jsou to např.: epoxidová pryskyřice (EP) polyesterová pryskyřice (UP) a další. Reaktoplasty se zpracovávají lisováním, vstřikováním, navíjením, laminováním, přetlačováním a odléváním. (Hluchník, 2017)

1.3 Elastomery

Jak již název říká, je to opravdu velmi pružný materiál, tzn. materiál s nízkou tuhostí. Tento materiál můžeme potom za běžných podmínek pomocí malé síly deformovat a to bez

porušení. Tyto deformace jsou většinou vratné. Největším představitelem jsou kaučuky, ze kterých se díky vulkanizaci vyrábí pryže (velmi pružný materiál, který je vysoce odolný vůči trvalé deformaci). Elastomery se zpracovávají: vstřikováním, lisováním, válcováním a odléváním. (Bařtipán, 2017). Zpracování elastomerů má několik částí. V první fázi, a to je zahřívání, začnou měknout a je možno je tvarovat, ale jen po určitou dobu. V další fázi dojde k chemickým reakcím a zesíťování struktury (vulkanizace). (Ondráček, 2016)

1.3.1 Kaučuky

Kaučuk je polymerní materiál přírodního nebo syntetického původu. Vyznačuje se velkou pružností, to znamená schopností se účinkem vnější síly výrazně deformovat a poté zaujmout původní tvar. Je to tedy tzv. elastomer. Přírodní kaučuk se získává z tropického stromu kaučovníku brazilského, kdy se nařezáváním jeho kůry získává surový latex a následně se z něj srážením a dalšími úpravami vyrábí kaučuk. (Zhánělová, 2010) Syntetický kaučuk se vyrábí ve větším počtu a každý má specifické vlastnosti. Můžeme je dělit na kaučuky pro všeobecné a speciální použití. Všeobecné nemají daleko od přírodních kaučuků. Speciální se vyrábí v menším množství, ovšem svými vlastnostmi mohou převážit přírodní kaučuk, například polychloropen, který je odolný vůči oleji a používá se jako těsnění. (Hluchník, 2017)

1.4 Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery (TPE) spojují vlastnosti termoplastů a elastomerů. Cílem je vysoká ohebnost, snazší zpracování a recyklace. Jsou to polymery s dvoufázovou strukturou, kterou tvoří tvrdé a měkké segmenty, které jsou vzájemně nemísitelné. Díky měkkým segmentům má materiál vysokou elasticitu a tvrdé segmenty omezují vzájemnou pohyblivost měkkých segmentů. (Běhálek, 2015)

2 TERMOPLASTY

Jak již bylo zmíněno výše, jedná se o polymerní materiál, který při zahřátí přechází do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních newtonovských kapalin, a díky tomu je můžeme snadno tvářet a zpracovávat pomocí různých technologií. Zpět do tuhého stavu přecházejí při ochlazení pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty) anebo pod teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). (Lenfeld)

Polyamidy jsou důležité strojírenské plasty pro svou houževnatost v širokém rozmezí teplot. Mají dobrou odolnost proti nárazům a oděru, organickým rozpouštědlům a ropným produktům. Polyamidy mohou být zpracovány technikami zpracování, jako je vstřikování, vytlačování, vyfukování atd. Pro svou hygroskopickou povahu a hydrolyticky nestabilní vlastnosti jsou polyamidy před zpracováním taveniny dobře vysušeny. (Xanthopoulos, 2019)

Termoplastické polyamidy se používají v mnoha automobilových aplikacích, jako jsou ozubená kola, ložiska atd. Zesílené nylony se používají pro vnější části karoserie, jako jsou nástavce blatníků, dekorativní žaluzie, výplňové desky, pouzdra světlometů, příčné panely a mnoho dalších aplikací. V elektrické a elektronické oblasti se polyamidy používají při výrobě zástrček, zásuvek, spínačů, konektorů. Běžně se extruduje s polyethylenem pro obaly potravin. Další aplikace zahrnují boty, lyžařské boty, hřebeny, kola, zapalovače, rámy raket, vrtule, ventilátory a hračky. (Xanthopoulos, 2019)

Díky tomu že při zahřívání neproběhne chemická změna je to pouze fyzikální proces. Díky tomuto můžeme proces měknutí a poté tuhnutí opakovat téměř do nekonečna. Termoplasty se skládají z lineárních makromolekul s dlouhým řetězcem. Tyto řetězce jsou u sebe drženy jen za pomoci mezimolekulární interakcemi neboli van der Waalsovými silami (vodíkovými můstky). Mezi termoplasty se např. řadí polykarbonát (PC), polyamid (PA), Polypropylen (PP), polystyren (PS), Akrylonitril-butadien-styren (ABS) atd.

Termoplasty díky vnitřní struktuře dělíme na:

- **Amorfní.** Mají řetězce, které jsou nepravidelně uspořádány
- **Semikrystalické.** Mají větší část řetězců pravidelně a těsně uspořádány a díky tomu tvoří krystalické útvary. Ta menší část tvoří amorfní uspořádání. (Šenkeřík, 2016)

2.1 Amorfní termoplasty

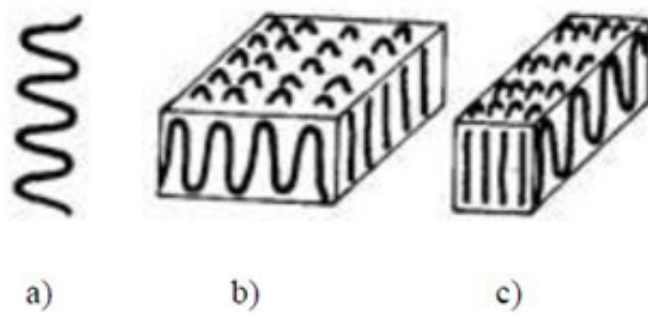
Struktura amorfního plastu je vyznačena svou neuspořádaností, tedy chaotičností. Základní část struktury jsou globuly, které jsou vytvořené z neuspořádaně stočených makromolekul. Patří tam PS, PC, PMMA a podobně. Amorfní termoplasty jsou křehké, tvrdé, vysoce pevné a mají modul pružnosti. Jejich index lomu je 1,4 až 1,6 a díky tomu jsou průhledné. Dále se dělí na čiré, transparentní nebo průhledné. (Hluchník, 2017)

Pokud zahříváme amorfní termoplast, oslabujeme tím jeho mezimolekulární soudržné síly a díky tomu modul pružnosti začne trochu klesat. V tomto stavu je pohyblivost řetězců velmi omezena. Tento stav označujeme jako sklovitý stav. Pokud bude nadále zvyšována teplota, přejde polymer nad T_g (teplota skelného přechodu). Při překročení T_g přejde polymer ze sklovitého stavu na kaučukovitý stav. Tento stav u polymeru znamená, že za pomoci malé síly tvořit velkou deformaci. Většina těchto deformací je vratná bez porušení polymeru. Tato oblast mezi T_g a T_f (teplota toku) je vhodná pro zpracování polymeru tvarováním. Pokud bude nadále zvyšována teplota, polymer přejde do viskózního stavu. Tato teplota se označuje T_f . Pokud je polymer nad touto teplotou lze ho zpracovávat vstříkovaním nebo vyfukováním atd. (Šenkeřík, 2016)

2.2 Semikrystalické termoplasty

Patří sem plasty, jejichž struktura je z větší části uspořádaná. Stupeň uspořádanosti nazýváme jako stupeň krystalinity. Pohybuje se od 40 do 90% a sděluje nám relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi oblastmi amorfními. Na 100% nelze nikdy dosáhnout, z toho důvodu krystalické plasty značíme jako semikrystalické. Patří tam různé plasty, jako například PP, PE, PA a mnoho dalších. Jsou to plasty zakalené, mléčné, s velkým podílem krystalinity roste modul pružnosti. (Hluchník, 2017)

Uspořádaná struktura má tvar lamely nebo fibrily (viz Obr. 3). Lamely jsou destičkové útvary a mohou být pyramidálně prohnuté. Vlákniťm útvarům naopak říkáme fibrily. (Hluchník, 2017)



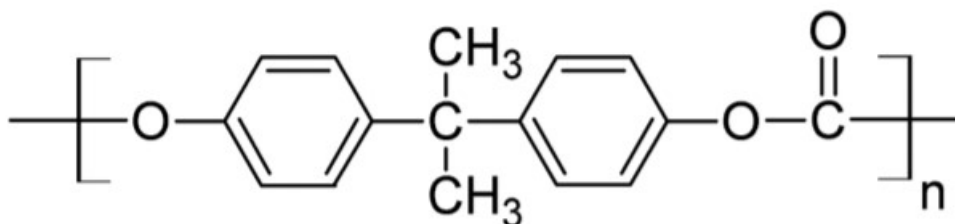
Obr. 3 – Struktura krystalických plastů. A) Proužek B) Lamela C)Fibrila
(Zeman, 2009)

3 CHARAKTERISTIKA ZADANÝCH POLYMERŮ

3.1 Polykarbonát

Polykarbonát (PC) je široce používaný strojírenský plast díky svým vynikajícím mechanickým vlastnostem a nízké specifické gravitaci. (An et al., 2020)

Polykarbonát (PC) je průhledný amorfní termoplast, který má velmi dobré mechanické vlastnosti (lepší pevnost, tuhost a výborná houževnatost). A jeho vlastnosti se téměř nemění ani ve velkém rozsahu teplot -70 až 140 °C. Další jeho výhodami je že se dá velmi dobře obrábět nebo lepit. PC má také velmi dobrou odolnost vůči slunečnímu světlu, dobrý elektrický izolant a dobrou chemickou odolnost (slabší kyseliny, oleje, alkohol). Jeho chemickou stavbu můžeme vidět na obrázku 4. Avšak špatně odolává vroucí vodě, zásadám a většině rozpouštědel. (Mleziva a Šňupárek, 2000)



Obr. 4 – Chemický vzorec polykarbonátu (Wypych, 2012)

PC se nejvíce zpracovává pomocí vstříkovaní nebo vytlačování. Jeho použití je ve velmi širokém rozsahu díky tomu, že je fyziologicky nezávadný a bez zápachu. Nejčastější místa použití jsou elektrické součástky, stavební materiály (světla, zvukové stěny atd.), pro ukládání dat (kompaktních disků, DBD a blu-ray disků) a dokonce i v lékařství. (Ducháček, 2006)

Patří mezi nejvíce transparentní polymery. Vyrábět ho lze v různých odstínech, ale také v neprůhledných barvách. Když se podíváme do oblasti technických polymerů, PC má jedny z nejvyšších estetických vlastností. Váhu jeho molekulového řetězce lze upravovat během polymerace, záleží na rychlosti toku taveniny. Jde ho vyrobit s různými vlastnostmi. Jak se sníženou hořlavostí (ekologicky velmi výhodné), s odolností proti poškrábání, s různou tuhostí a tepelnou odolností a odolností v extrémních povětrnostních podmínkách. Je UV stabilní a může být biokompatibilní. Lze jej plnit skleněnými vlákny což vede k zvýšení pevnosti materiálu. Z PC se vyrábí bezpečnostní okna, střešní i okenní desky a profily, zásuvky,

měřidla, bezpečnostní prvky, mísy mixérů, ochranné brýle, helmy, dopravní osvětlovací tělesa, CD, DVD a další produkty, které můžeme vidět všude kolem nás, viz Obr. 5. (Valentová, 2015)



Obr. 5 – Výrobky z polykarbonátu (Mallik, 2008)

3.2 Akrylonitril-butadien-styren

Akrylonitril-butadien-styren (ABS) je terpolymer vyrobený polymerizací styrenu a akrylonitrilu, za přítomnosti polybutadienu. Podílově to může být do 35% akrylonitril, až 30% butadien a 40 až 60% styren. ABS je strojírenský plast, který má butadienovou část distribuovanou po akrylonitril-styrenové matici. Má výbornou houževnatost, dobrou rozměrovou a geometrickou stabilitu, snadnou zpracovatelskou schopnost, chemickou odolnost a levnost. (Milde a Jurina, 2019)

Podle (Owen a Harper, 1999) je ABS široce používaný strojírenský termoplast, díky svým žádaným vlastnostem, které zahrnují dobré mechanické vlastnosti, chemickou odolnost a snadné zpracování. Jednou z hlavních nevýhod ABS je jeho vlastní hořlavost.

Xanthopoulos (2019) definuje akrylonitril-butadien-styrén jako ideální materiál všude tam, kde je požadována kvalita povrchu, stálost barev a lesk. Díky své dobré rovnováze vlastností, houževnatosti, pevnosti, teplotní odolnosti spojené se snadným formováním a vysoce kvalitní povrchovou úpravou má, má ABS velmi širokou škálu aplikací. Patří mezi ně domácí spotřebiče, telefonní sluchátka, počítače a další kancelářské vybavení, kryty sekaček

na trávu, ochranné přilby, skořepiny zavazadel, trubky a tvarovky, součásti interiéru a exteriéru automobilů

Rozlišujeme dva typy pro dispergaci: mísení a roubování. Roubované polymery ABS mají lepší reologické vlastnosti a vzhled. (Mleziva a Šňupárek, 2000)

Jak již bylo zmíněno, materiál se velmi dobře zpracovává, a to pomocí vstřikování, vyfukování, válcování, lisování, nebo tvarování teplem. Dají se použít i nadouvadla. Výrobek je uvnitř napěněn a díky úniku plynu z povrchu výrobku lze získat tvrdou povrchovou vrstvu. (Mleziva a Šňupárek, 2000)

Akrylonitril-butadien-styren je používán při náročných chemických aplikacích, jako vysoké požadavky na houževnatost a odolnost. Na interiérové a exteriérové díly motorových vozidel (palubní desky a podobně). (Mleziva a Šňupárek, 2000)

3.3 Směs polykarbonátu a akrylonitril-butadien-styrenu

Směs výše zmíněných polymerů ABS a PC mají za následek velmi dobrou zpracovatelnost ABS, výborné mechanické vlastnosti a odolnost proti teplu a nárazu, které jsou typické pro PC. Tepelnou odolnost konečného výrobku ovlivňuje poměr PC a ABS. (Mačálová, 2015)

ABS/PC mají vynikající odolnost proti nárazům při nízkých teplotách, která je dokonce lepší než odolnost proti nárazům samotného ABS nebo PC.

Další vlastnosti:

- vysoká tuhost,
- snadné zpracování,
- nízké celkové smrštění a vysoká rozměrová přesnost,
- schopnost barvení a potisku.

Definice podle (Valentová, 2015) také říká, že směs ABS a PC poskytuje kombinaci dobré zpracovatelnosti. Vyváženost vlastností PC/ABS se kontroluje poměrem PC a ABS ve směsi, molekulovou vahou polykarbonátu a příslušnými aditivami.

Jejich vlastnosti jsou:

- Vysoká odolnost proti nárazům při nízkých teplotách,
- tepelná odolnost a vysoká tuhost,
- nízké celkové smrštění a vysoká rozměrová přesnost.

Polymer PC/ABS se hodí pro aplikace vyžadující vysokou teplotu průhybu při zatížení materiálu a dobrou tuhost a pevnost. PC/ABS má vynikající tuhost při nízkých teplotách, a proto je ideálním řešením pro výrobky vystavované širokému rozsahu teplot.

Výroba např.

- rámu televizorů,
- počítačů,
- LCD panelů,
- klávesnic,
- adaptérů,
- těl mobilních telefonů. (Valentová, 2015)

„Polykarbonát (PC) přes své nesporné kvality (houževnatost, tuhost, křepovou i teplotní odolnost) vykazuje i určitá slabá místa: náchylnost ke korozi za napětí a poměrně nízkou chemickou odolnost. Tyto nedostatky jsou polymerní směsí PC/ABS odstraněny, při zachování její tuhosti a houževnatosti. Významným faktorem je i příznivá cena polymerní směsi.“
(Běhálek, 2015)

4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Dají se rozdělit na 4 části (pevnost, pružnost, houževnatost a plasticita). Potom zde máme mechanické charakteristiky, které najdeme v materiálovém listu. Údaje v materiálovém listu jsou dělány na normalizovaných zkušebních tělesech, které jsou zhotoveny za předepsaných podmínek z práškového nebo granulového polymeru.

4.1 Tahové vlastnosti

Tyto vlastnosti patří mezi nejzákladnější. Polymerní materiály se od kovových liší hlavně díky dlouhým řetězcům menší tuhostí, větší elasticitou a vratnou deformací. (Lampman, 2003) Pokud je zkušební těleso vystaveno namáhání v tahu, průběh deformace je možno sledovat pomocí deformační křivky v závislosti na normálovém napětí. Deformační křivka poskytuje důležité informace o materiálu. Zkušební těleso je uchyceno do zubů stroje a na těleso je nasazen průtahoměr. (Běhálek, 2015)

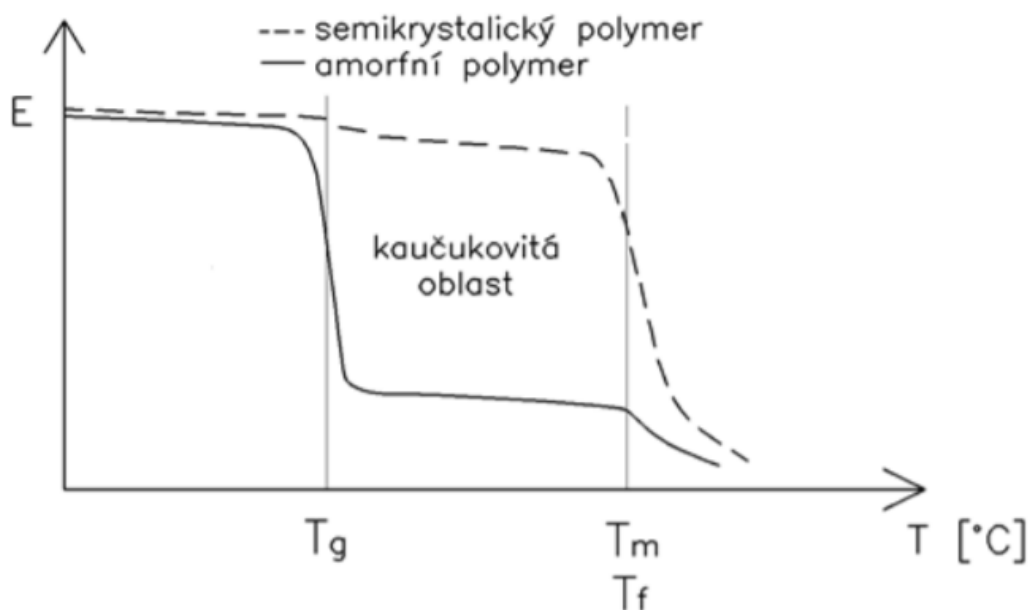
Modul pružnosti, který vyjadřuje tuhost materiálů je jedna z dalších charakteristik. Čím vyšší hodnota modulu pružnosti je, tím vyšší je jeho tuhost. Hodnota modulu pružnosti vychází z deformačních křivek v oblasti, kde je lineární závislost napětí na poměrném prodloužení. Pro tuto oblast platí Hookův zákon. Definuje se jako deformace, která je přímo úměrná napětí materiálu. Popisuje pružnou deformaci materiálu, na kterou působí malé síly. Deformace po odlehčení mizí. S rostoucím zatížením, ve kterém je zahrnuta pružná i plastická deformace, dochází k zakřivení tahové křivky. Existuje místo, kde je deformace ještě vratná. Nazývá se mez pružnosti. Po překročení tohoto bodu dochází k velké deformaci, a to i při malém zvýšení napětí. Deformace je plastická, neboli trvalá. V případě křehkých polymerů dochází k lomu těsně za mezí pružnosti, při relativně nízkých deformacích. (Běhálek, 2015)

4.1.1 Tahová zkouška

Tahová zkouška spočívá v zatěžování zkušebního tělesa postupně se zvyšující tahovou silou s předepsanou rychlostí. Zkouška probíhá obvykle až do mechanického porušení tělesa. Cílem zkoušky je stanovit deformační a napěťové vlastnosti zkoušeného materiálu. Pokud zatěžujeme jednoosým tahem, je napětí rozloženo rovnoměrně po celém průřezu zkušebního tělesa. (Rybníkář et al., 1965)

Tahová zkouška je jedna z nejpoužívanějších zkoušek pro vyhodnocení mechanických vlastností materiálů. Stanovujeme jednu nebo více mechanických vlastností, které jsou zavedeny

v normě. Jednou z těchto vlastností je modul pružnosti, který se s rostoucí teplotou klesá, viz Obr. 6. Pro zkoušku tahem se používají zkušební tělesa vylisovaná ze vstřikovacího nástroje ve tvaru oboustranných lopatek. Zkušební tělesa musí být vyrobena podle příslušné materiálové specifikace. Všechny povrchy zkušebních těles musí být bez viditelných vad, vrypů nebo jiných nedostatků. (Hluchník, 2017)



Obr. 6 – Vliv teploty na modul pružnosti (Šenkeřík, 2016)

4.1.2 Výpočty napětí

$$\sigma = \frac{F}{A} [\text{MPa}]$$

Kde

σ je vyhodnocovaná hodnota tahového napětí, vyjádřená v [MPa]

F je příslušná naměřená hodnota síly, vyjádřená v N

A je plocha počátečního příčného průřezu zkušebního tělesa, vyjádřená v mm^2 (Vrbová, 2019)

4.1.3 Výpočty poměrného prodloužení

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0} * 100 [\%]$$

Kde

ε je vyhodnocovaná hodnota poměrného prodloužení, vyjádřená jako bezrozměrný poměr nebo v procentech

L_0 je počáteční měřená délka zkušebního tělesa, vyjádřená v mm

ΔL_0 je zvětšení délky zkušebního tělesa mezi značkami vyznačujícími počáteční měřenou délku, vyjádřené v mm (Vrbová, 2019)

4.1.4 Výpočet modulu pružnosti

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Kde

E_t je modul pružnosti v tahu, vyjádřený v megapascálech

σ_1 je napětí v megapascálech, naměřené při hodnotě poměrného prodloužení $\varepsilon_1 = 0,0005$

σ_2 je napětí v megapascálech, naměřené při hodnotě poměrného prodloužení $\varepsilon_2 = 0,0025$ (Vrbová, 2019)

4.1.5 Poissonův poměr

$$\mu_n = -\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon}$$

Kde

μ_n je Poissonův poměr, vyjádřený jako bezrozměrné číslo, kde $n = b$ (šířka) nebo h (tloušťka), podle daného normálového směru

ε poměrné prodloužení

ε_n deformace v normálovém směru, kde $n = b$ (šířka) nebo h (tloušťka) (Vrbová, 2019)

4.2 Tahové vlastnosti za zvýšených teplot

Při vystavení polymerů vyšším teplotám dochází ke změnám. Tyto změny nezávisí jen na druhu polymeru, ale i na reálných podmínkách prostředí, které na ně působí. Přítomnost zvýšené teploty se u polymerů projevuje dvěma způsoby:

- A) polymer změkne, začne téct
- B) změni strukturu

Metody, které určují vliv teploty na materiál, zkoumají vlastnosti:

- Při teplotě zkoušky
- Zkouška po určité době teplotního namáhání.

Každý polymerní materiál se dá použít v určitém teplotním rozmezí. Vlastnosti se mění na základě stoupající či klesající teploty. Všechno závisí na typu polymeru a teplotě. (Ducháček, 2006)

4.3 Vrubová houževnatost

Je to kinetická energie, která se používá k přeražení zkušebního tělesa. Jde o vlastnost materiálu, která zabraňuje vzniku trhlin při namáhání a následnému šíření trhlin v materiálech. Dále má schopnosti absorpce energie a deformace určitou rychlostí. Díky rostoucí rychlosti deformace se materiály stávají křehčími, a abychom je porušili, není zapotřebí vyvíjet velkou sílu. Při větších rychlostech deformace dochází už při malém průhybu tělesa k porušení a vznikají trhliny. Opakem houževnatosti je tedy křehkost. (Ovsík, 2010)

Nejvyšší vrubovou houževnatost můžeme nalézt u elastomerů, které mohou absorbovat velké množství energie za krátký čas a díky svým elastickým schopnostem umí utlumit rázy. Při rázovém namáhání reaktoplastů a termoplastů dochází k porušení tělesa různými způsoby lomu. Ty jsou křehké, houževnaté nebo tvárné. O jaký typ se jedná, se určuje pohledem. Když se druh zkoumaného materiálu nachází nad teplotou skelného přechodu, lomy jsou křehké. Naopak, pokud je pod teplotou, lomy jsou tvárné nebo houževnaté.

Parametry, které ovlivňují vrubovou houževnatost, jsou:

- Složení,
- Druh materiálu
- Teplota materiálu při zkoušce
- Doba stáří materiálu

- Obsažená vlhkost
- Rázová síla použitá k přeražení tělesa
- Podmínky zkoušky
- Rozměry zkušebního tělesa (Běhálek, 2015)

4.4 Shore D

Shore D je metoda pro stanovení tvrdosti, a to termoplastů a reaktoplastů. Funguje to na bázi vtlačováním hrotu tvrdoměru Shore typu D do materiálu. Celé to záleží v měření hloubky a vtlačení hrotu do materiálu za dodržení podmínek. Tvrdost se stanovuje na počátku vtlačení hrotu (okamžitá hodnota tvrdosti) nebo po 15 sekundách. Celá zkouška závisí na pozorování či experimentu, takže nemůžeme určit přímý vztah mezi jakoukoliv základní vlastností materiálu a naměřenou tvrdostí. (Jarušek, 1989)

4.5 Ohybové vlastnosti

Tyto vlastnosti jsou velmi důležité při namáhání polymerních dílů v ohybu. Toto je časté namáhání plastů a patří tam, co se konečných výrobků týče nosníky, různé střešní konstrukce z laminátů, obkladové materiály a další. Polymery, které nejsou dostatečně tuhé v ohybu, jsou elastomery a lehčené polymery. Není možné je významně zatížit, a proto se u nich ohybové testy buď nepoužívají, nebo jen velmi ojediněle. K ohybovým zkouškám se používají tělesa ve tvaru hranolu, která se umístí na dvě podpěry v předepsané vzdálenosti. Síla působící na těleso potom působí uprostřed mezi podpěrami (tříbodový ohyb) anebo je rozdělena na dvě stejné velké síly působící v určité vzdálenosti od podpěr. (Běhálek, 2015)

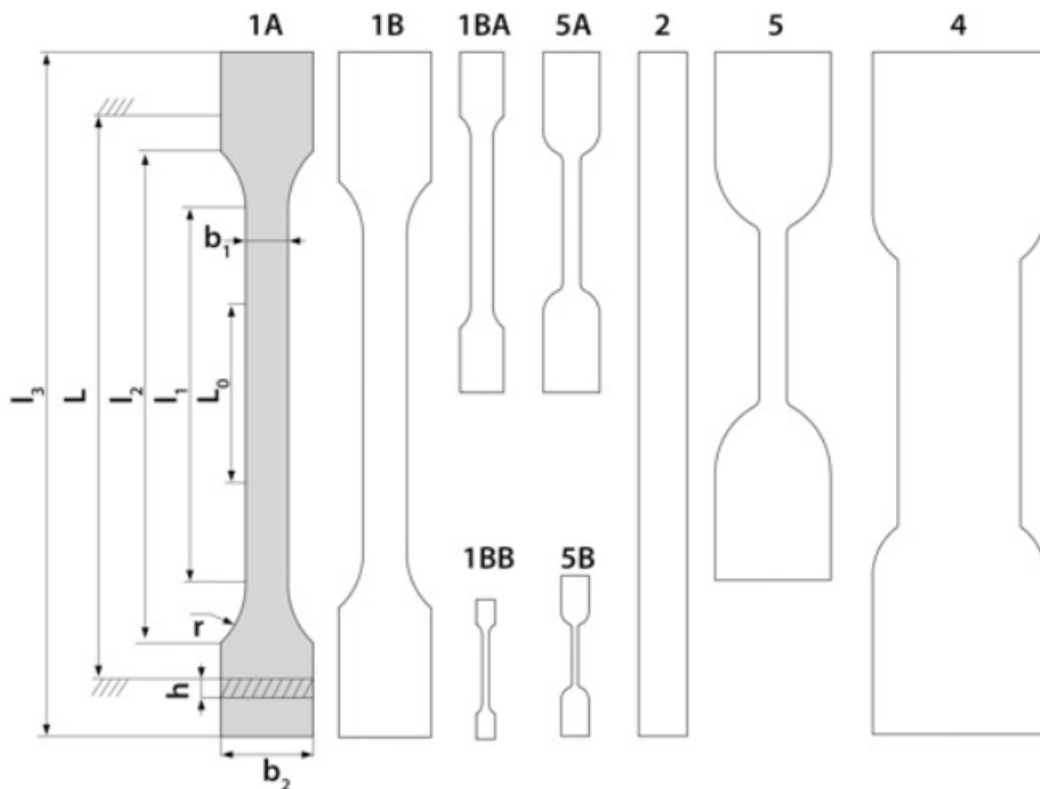
II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRÁCE

- 1) Výroba zkušebních těles
- 2) Zkouška Tahem
- 3) Porovnání mechanických vlastností s rostoucí teplotou
- 4) Porovnání mechanických vlastností mezi sebou ABS, PC a PC/ABS

6 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Pro výrobu zkušebních těles byl použit vstřikovací stroj DEMAG ERGOtech 50-200 systém. Vstřikování bylo provedeno z materiálů PC, ABS a blend PC/ABS. Zkušební tělesa byla zhotovena dle normy: ČSN EN ISO 527-1. Tvar tohoto zkušebního tělíska je oboustranná „lopatka“ (viz obr. 7).



Obr. 7 – Zkušební těleso (Běhálek, 2015)

6.1 Příprava materiálů před vstřikováním

Aby se zamezilo vlhkosti materiálu, byl granulát před vstřikováním sušen v sušárně.

Granulát PC byl umístěn do sušárny na 4 hodiny za teploty 100°C. Granulát ABS byl umístěn do sušárny také na dobu 4 hodin ale za teploty 80°C. Granulát pro blend PC/ABS byl sušen 4 hodiny za teploty 100°C. Ihned po vysušení byl granulát umístěn do násypky pro vstřikování, z důvodu zamezení navlhnutí materiálu. Pokud by došlo k navlhnutí materiálu, mohlo by to zapříčinit vady na zkušebních tělískách a následné nepřesnosti měření. Po tomto procesu byl materiál připraven pro použití na vstřikovacím stroji DEMAG ERGOtech 50-200 systém, viz obr. 8.

Parametry stroje		
Uzavírací síla	50	t
Zdvih pohyblivé desky	400	mm
Průchod mezi sloupky	355 x 355	mm
Vnější rozměr upínacích desek	530 x 540	mm
Rozměry stroje	3,70 x 1,40 x 2,00	mm
Hmotnost stroje	3300	kg
Parametry vstřikovací jednotky		
průměr šneku	mm	25
Vstřikovací tlak	bar	2752

Tab. 1 – Základní parametry vstřikovacího stroje (Vrbová, 2019)



Obr. 8 – Vstřikovací stroj DEMAG ERGOtech 50-200 systém (Vrbová, 2019)

6.2 Postup při vstřikování zkušebních těles

Na vstřikovacím stroji byla již připravena forma na vstřikování normalizovaných zkušebních těles. Vzhled formy můžeme vidět na obrázku 9. Na této formě vyrábíme zkušební tělesa pro tahovou zkoušku a zkoušku vrubové houževnatosti. Pokud by na stroji nebyla připevněna tato forma, muselo by dojít k výměně za požadovanou formu.

Postup byl stejný pro všechny materiály. V první části proběhlo nastavení stroje pro daný materiál dle materiálového listu. Toto nastavení bylo orientační a později došlo k menším úpravám. Po základním nastavení následoval ohřev stroje na požadované teploty. Z důvodu, aby nebyl do zkušebního tělíska přidán jiný materiál z předchozího vstřikování, muselo být první provedeno nabrání materiálu, pomocí šneku a následné vytlačení přes trysku. Když byl

stroj připraven, přišlo na řadu odladění a v poloautomatickém režimu bylo vytvořeno první zkušební těleso. Tento vzorek byl ihned po vyhození z formy zkontrolován, jestli zde nejsou deformace nebo vady. Pokud ano je teplota chlazení buď moc vysoká nebo nízká.

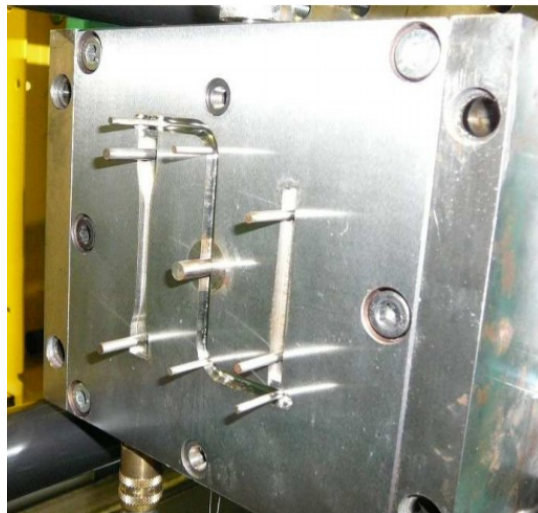
Jako další se kontrolovalo protečení materiálu, aby nenastalo přetečení nebo nedotok materiálu. Tato vada je většinou z důvodu malého nebo vysokého vstřikovacího tlaku nebo do-tlaku. Ale také z důvodu nastavení množství materiálu pro vstřík. Jako poslední byl vzorek kontrolován pohledem, jestli zde není nějaká další vada (vadný povrch, spálená část atd.).

Pokud vstřikování proběhlo bez nalezení některého z problému, přešlo do přepnutí na auto-matický režim a výrobu všech zkušebních těles. Pokud ale nastal některý z problému, byla úprava parametrů a následné opakování v poloautomatickém režimu.

Při běhu v automatickém režimu zhotovené zkušební tělesa byla ochlazená vzduchem při laboratorní teplotě.

Následně bylo provedeno ostřížení zkušebních vzorků od zbytků.

Po ukončení výroby zkušebních těles se musel vstřikovací stroj vyčistit. Na tento proces se používá polypropylen, který se nasype do násypky a následně je protlačen přes plastifikační jednotku a trysku. Sleduje se výtok materiálu z trysky, dokud nedojde výtoku čistého poly-propylenu.



Obr. 9 – Forma pro vstřikování normalizovaných zkušebních těles (Hubáček, 2014)

7 TAHOVÁ ZKOUŠKA – NAMĚŘENÁ DATA

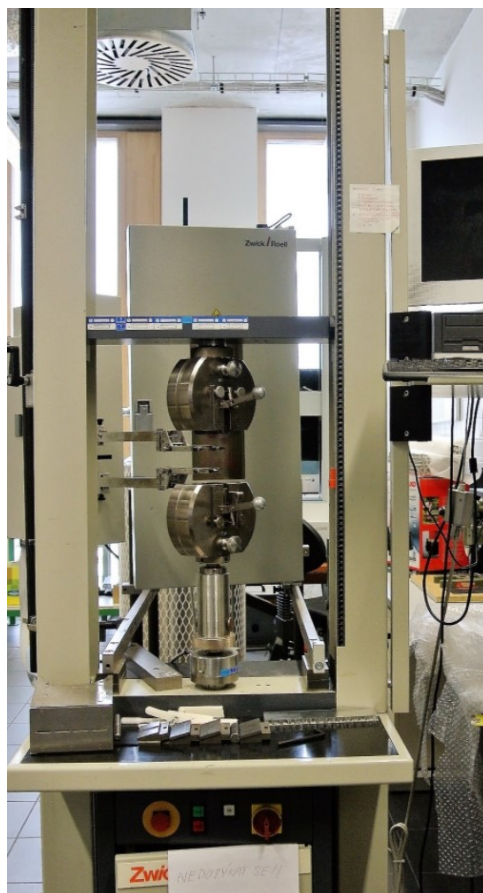
V této části jsou uvedena naměřená data z trhacího stroje (plus) grafické znázornění průběhu této zkoušky.

7.1 Zkušební stroj

Na provedení tahové zkoušky byl použit stroj Zwick 1456, viz obr. 10. A dále pro měření zvýšených teplot byla připojena teplotní komora pro nahřátí vzorků.

Parametry stroje		
Maximální síla	20	kN
Maximální posuv příčnicku	800	mm/min
Testovací software	testExpert	
Teplená komora	-80 až +250	°C

Tab. 2 – Parametry zkušebního stroje Zwick 1456 (Katalog: strojní, přístrojové a laboratorní vybavení ÚVI)



Obr. 10 – Zkušební stroj Zwick 1456 (Katalog: strojní, přístrojové a laboratorní vybavení ÚVI)

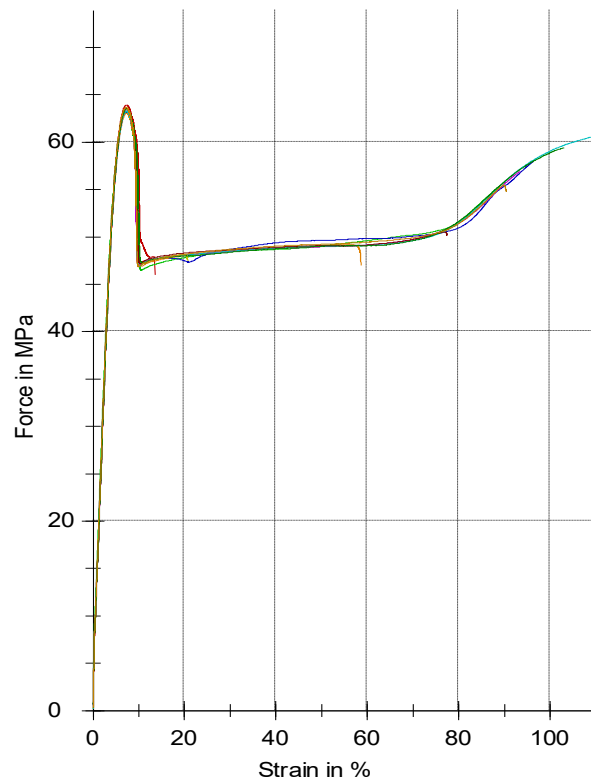
7.2 Zkouška tahem

Tato zkouška probíhala na již zmiňovaném stroji Zwick 1456 za pokojové teploty a dále za pomoci teplotní komory za teplot 40°C, 60°C a 80°C.

7.3 PC

V této části jsou uvedené tabulky s grafy průběhu tahové zkoušky pro materiál PC za daných teplot.

1) Tahová zkouška PC za laboratorní teploty

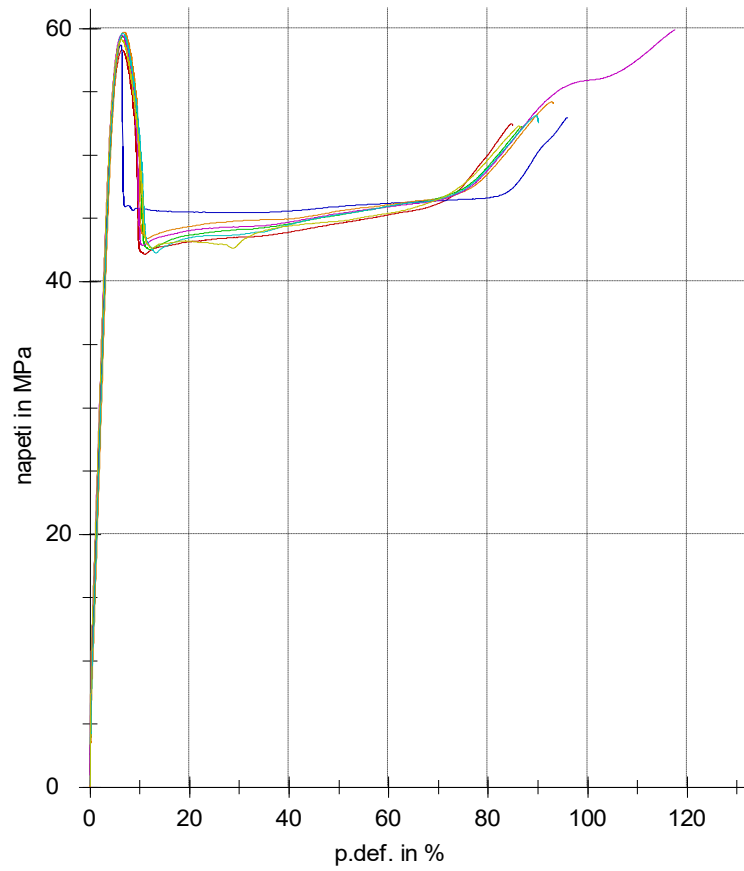


Obr. 11 – Graf tahové zkoušky PC za laboratorní teploty

počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	2440	63,4	7,3	7,7	75,2	6200,53	74483,58
s	85,9	0,263	0,1	0,1	33,7	60,69	34180,52

Tab. 3 – Naměřené hodnoty pro PC za laboratorní teploty

2) Tahová zkouška PC za teploty 40 °C

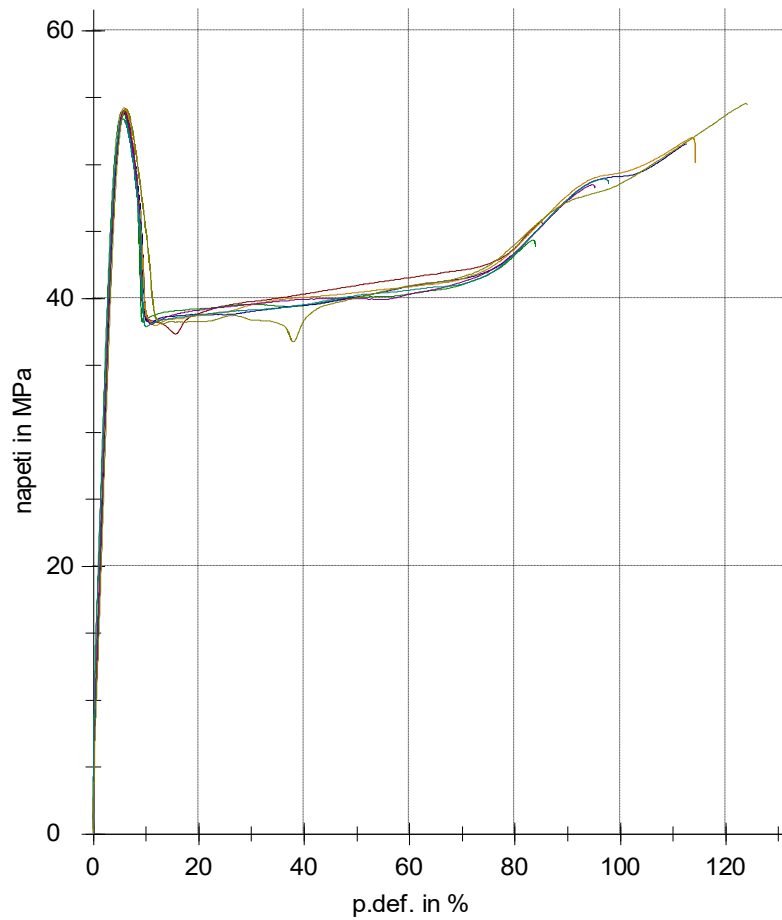


Obr. 12 – Graf tahové zkoušky PC za teploty 40 °C

počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	2420	59,3	22,3	23,1	93,6	20296,51	85096,26
s	124	0,588	42	42	11,3	40507,97	12641,52

Tab. 4 – Naměřené hodnoty pro PC za teploty 40°C

3) Tahová zkouška PC za teploty 60 °C

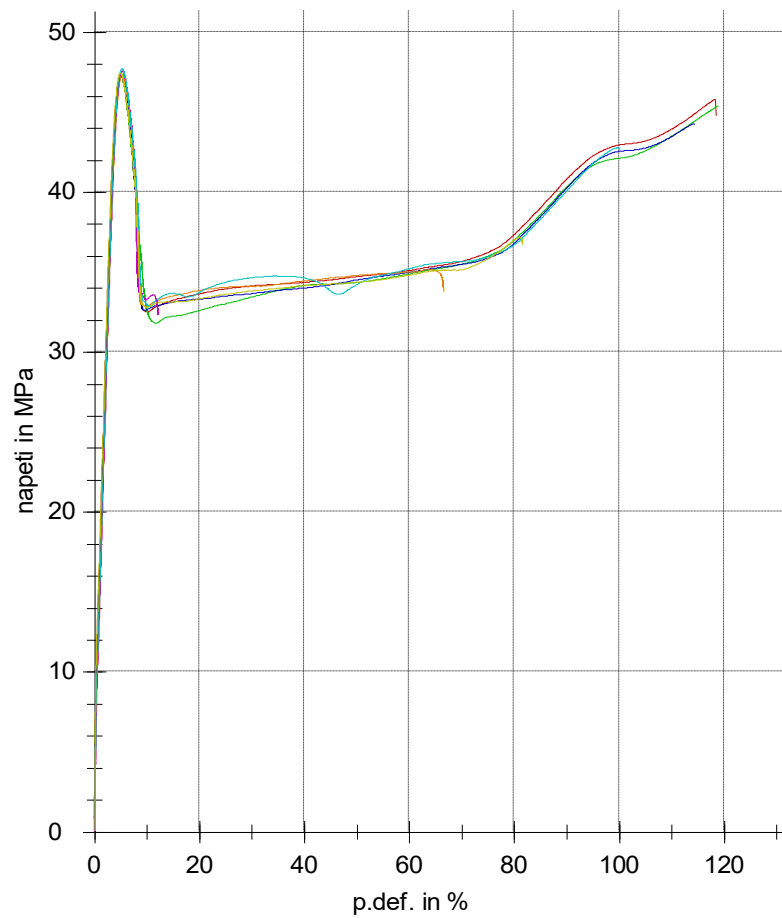


Obr. 13 – Graf tahové zkoušky PC za teploty 60 °C

počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	2260	54	5,6	6,6	101,8	4119,84	84148,73
s	182	0,351	0,1	0,2	15,4	85,64	14936,53

Tab. 5 – Naměřené hodnoty pro PC za teploty 60°C

4) Tahová zkouška PC za teploty 80 °C



Obr. 14 – Graf tahové zkoušky PC za teploty 80 °C

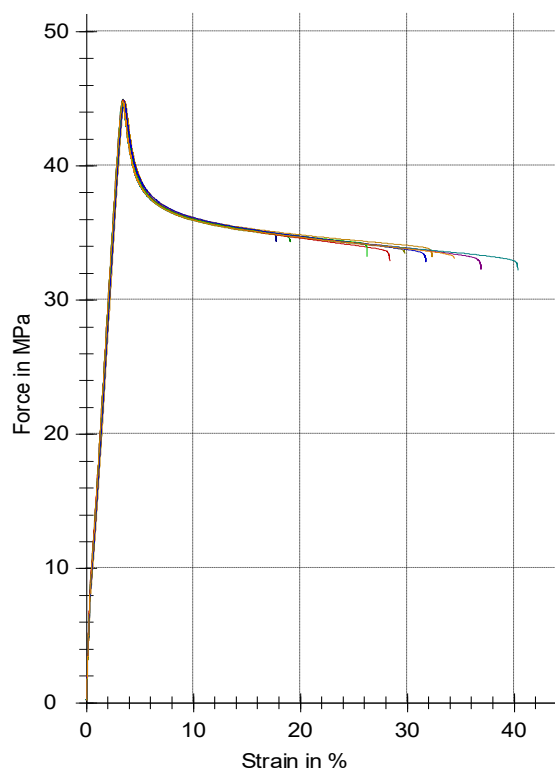
počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	2020	47,4	5,1	6	87,4	3124,61	62143,24
s	49,2	0,173	0,2	0,1	38,7	45,07	28587,18

Tab. 6 – Naměřené hodnoty pro PC za teploty 80°C

7.4 ABS

V této části jsou uvedené tabulky s grafy průběhu tahové zkoušky pro materiál ABS za daných teplot.

1) Tahová zkouška ABS za laboratorní teploty

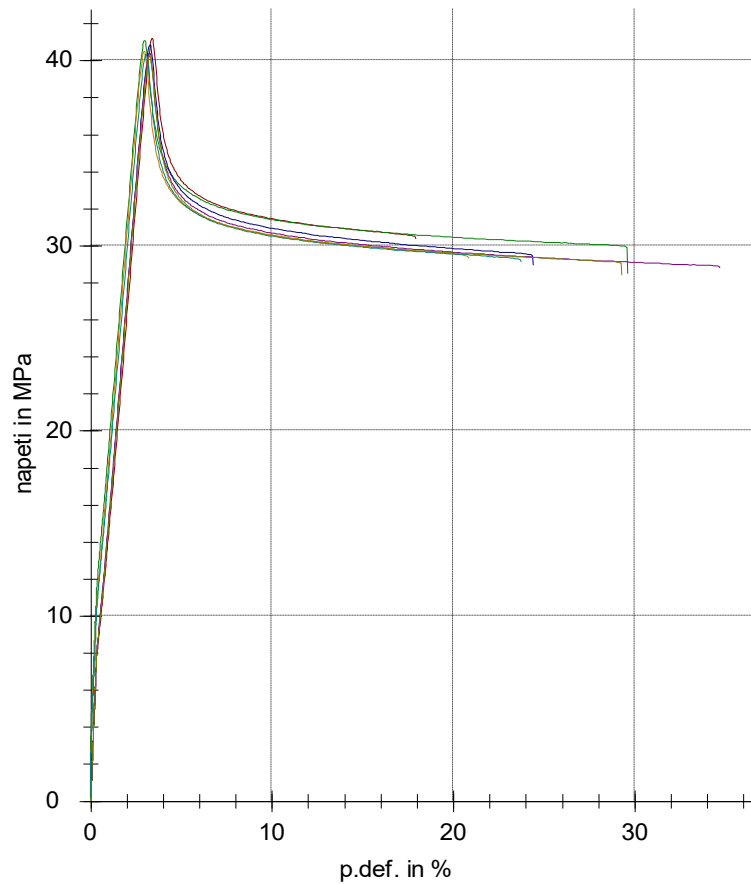


Obr. 15 – Graf tahové zkoušky ABS za laboratorní teploty

počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	2340	44,8	3,4	3,9	29,7	1725,1	20371,54
s	101	0,092	0,1	0,1	7,2	26,46	4894,63

Tab. 7 – Naměřené hodnoty pro ABS za laboratorní teploty

2) Tahová zkouška ABS za teploty 40 °C

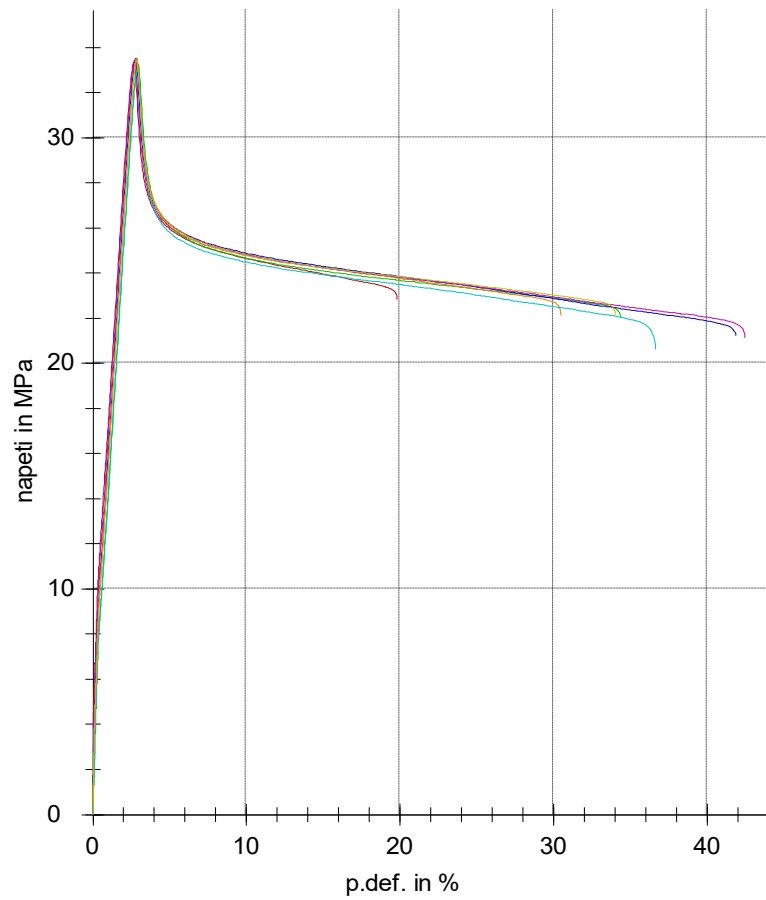


Obr. 16. – Graf tahové zkoušky ABS za teploty 40 °C

počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	2400	40,7	3,2	3,9	25,8	1448,6	15166,08
s	49,6	0,374	0,2	0,1	5,7	38,82	3314,65

Tab. 8 – Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 40°C

3) Tahová zkouška ABS za teploty 60 °C

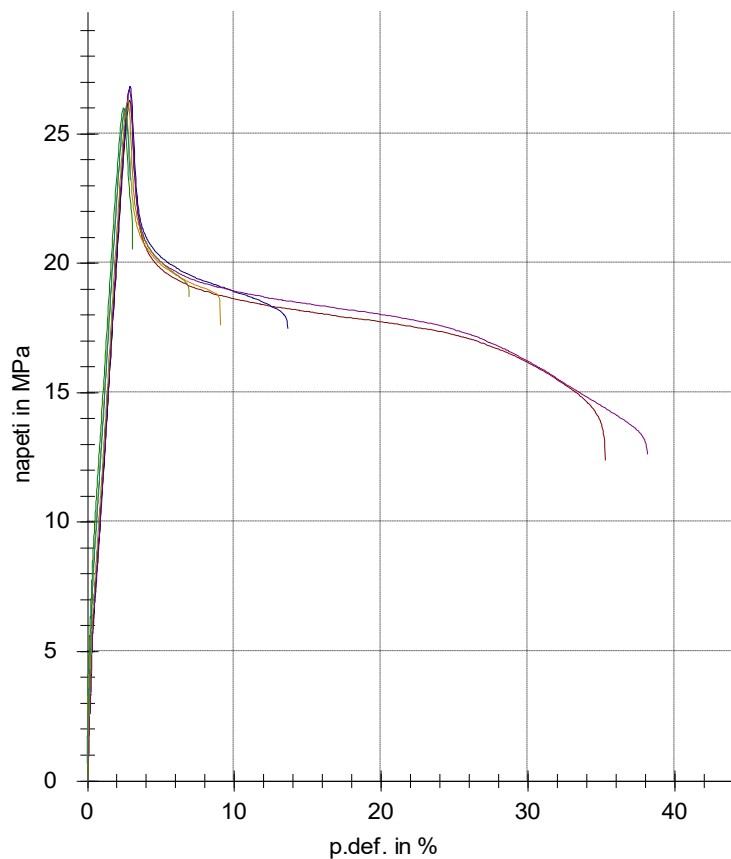


Obr. 17 – Graf tahové zkoušky ABS za teploty 60 °C

počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	2130	33,4	2,8	3,6	34,2	1088,59	15974,8
s	99,8	0,184	0,1	0	7,7	15,58	3446,95

Tab. 9 – Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 60°C

4) Tahová zkouška ABS za teploty 80 °C



Obr. 18 – Graf tahové zkoušky ABS za teploty 80 °C

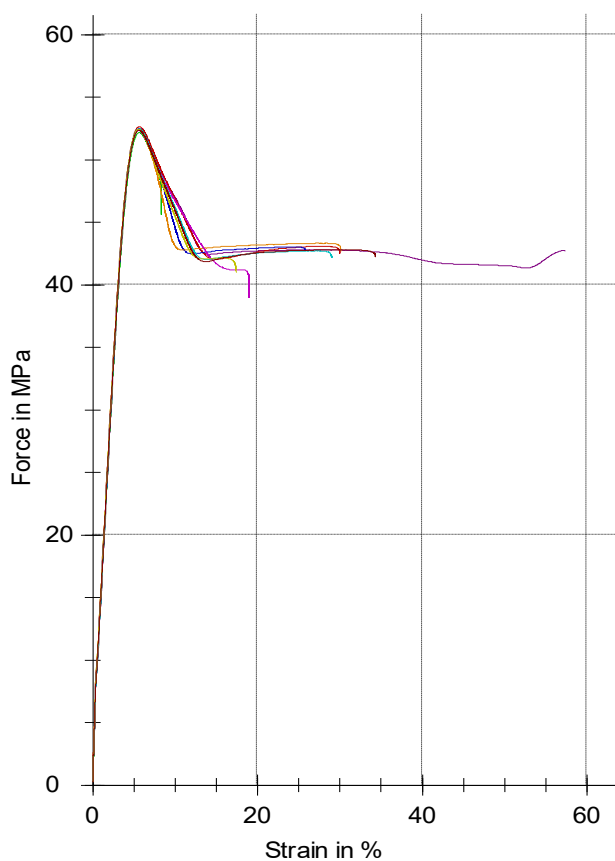
počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	1580	26,3	2,7	3,4	15,6	818,7	5453,96
s	89,2	0,367	0,2	0	14,9	29,41	5091,81

Tab. 10 – Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 80°C

7.5 ABS/PC

V této části jsou uvedené tabulky s grafy průběhu tahové zkoušky pro materiál ABS/PC za daných teplot.

1) Tahová zkouška ABS/PC za laboratorní teploty

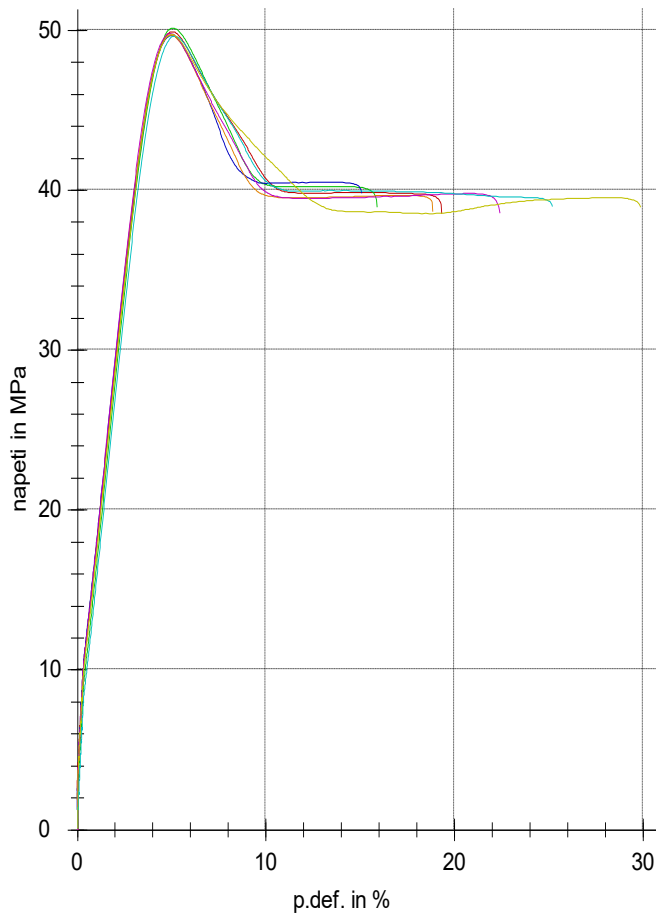


Obr. 19 – Graf tahové zkoušky ABS/PC za laboratorní teploty

počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	2220	47,3	5	5,4	27,9	3410,13	23446,21
s	41,7	16,3	1,8	1,9	13,7	1199,13	11649,39

Tab. 11 – Naměřené hodnoty pro ABS/PC za laboratorní teploty

2) Tahová zkouška ABS/PC za teploty 40 °C

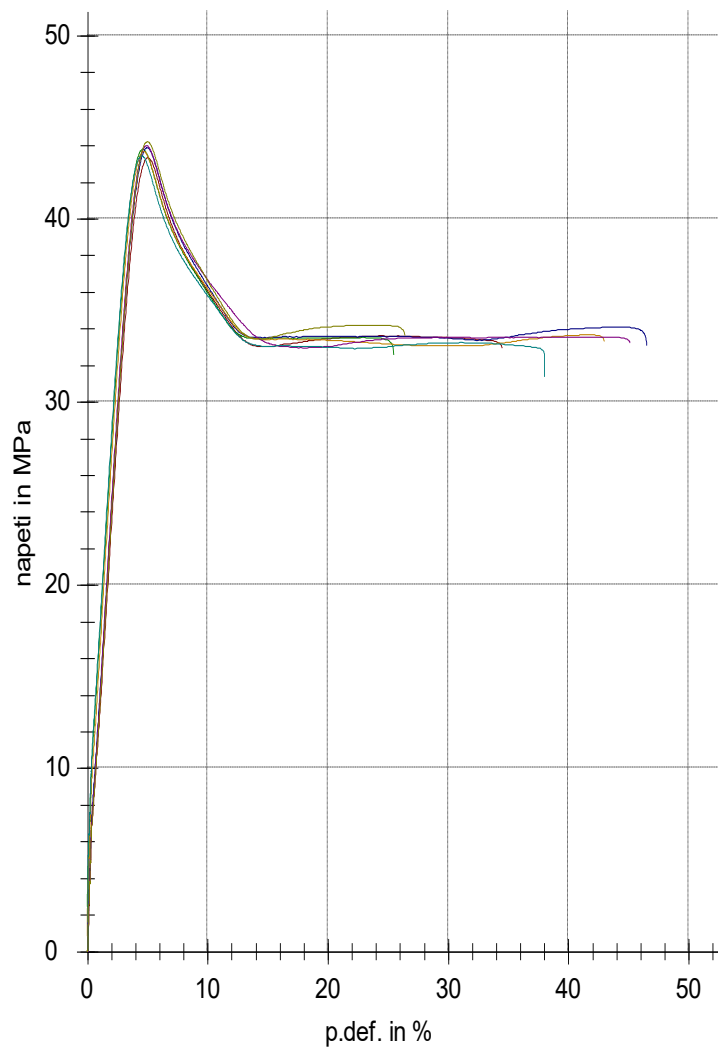


Obr. 20 – Graf tahové zkoušky ABS/PC za teploty 40 °C

počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	2270	49,8	5	5,8	20,9	3168,36	16145,08
s	104	0,171	0,1	0,1	5,3	41,64	4065,86

Tab. 12 – Naměřené hodnoty pro ABS /PC za teploty 40°C

3) Tahová zkouška ABS/PC za teploty 60 °C

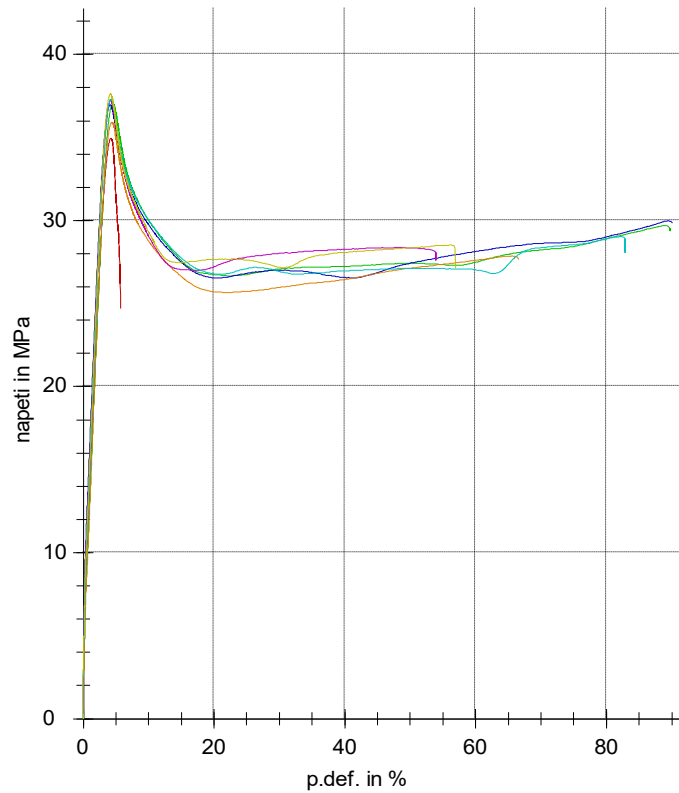


Obr. 21 – Graf tahové zkoušky ABS/PC za teploty 60 °C

počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	1980	43,8	4,8	5,5	37	2628,69	24548,26
s	69,5	0,31	0,2	0,1	8,6	41,47	5652,89

Tab. 13 – Naměřené hodnoty pro ABS/PC za teploty 60°C

4) Tahová zkouška ABS/PC za teploty 80 °C



Obr. 22 – Graf tahové zkoušky ABS/PC za teploty 80 °C

počet měření	E[MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [Nmm]	W_{break} [Nmm]
x	1760	36,7	4,3	5,1	63,7	1994,56	34802,93
s	66,2	0,942	0,1	0,1	29,6	49,52	16317,4

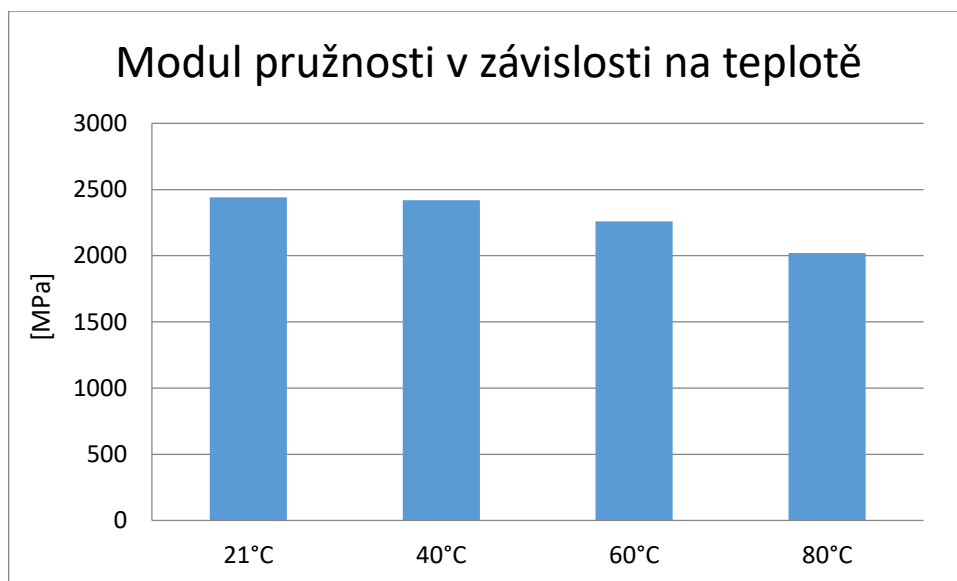
Tab. 14 – Naměřené hodnoty pro ABS/PC za teploty 80°C

8 VYHODNOCENÍ

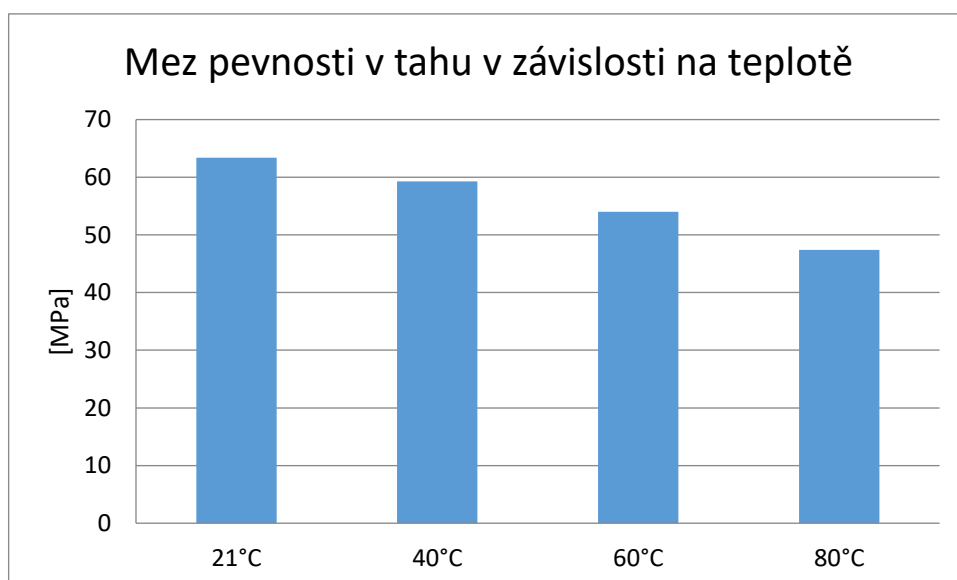
8.1 Mechanické vlastnosti termoplastu za rozdílných teplot

8.1.1 PC

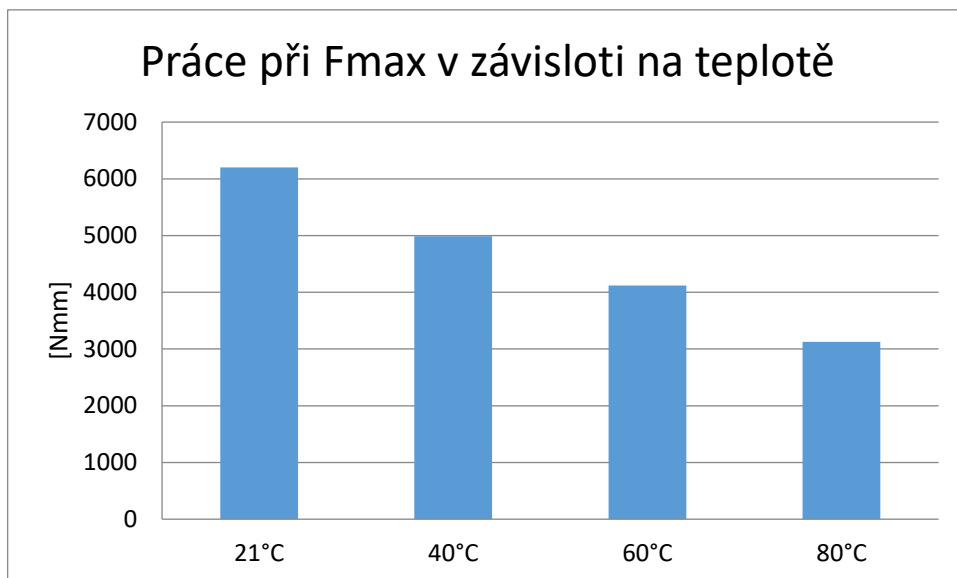
V této části došlo k porovnání základních dat s rostoucí teplotou u materiálu PC.



Obr. 23 – Graf modulu pružnosti v závislosti na teplotě



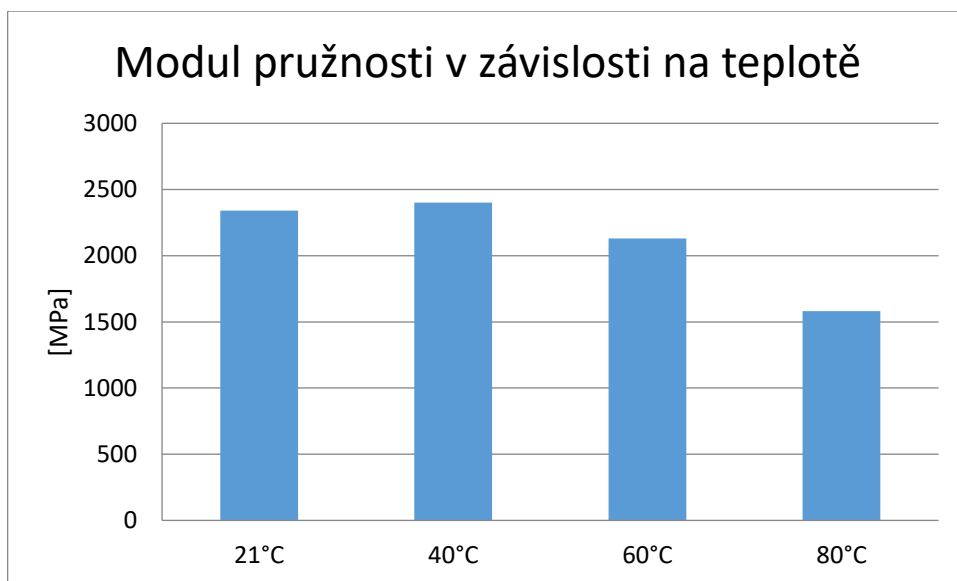
Obr. 24 – Graf meze pevnosti v tahu v závislosti na teplotě



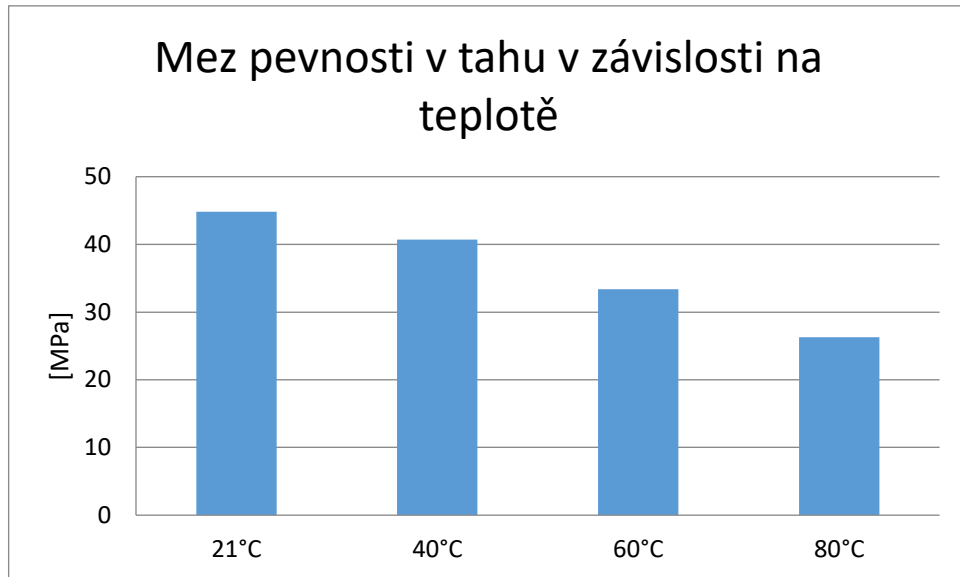
Obr. 25 – Graf práce při Fmax v závislosti na teplotě

Modul pružnosti pro PC se do 40°C drží na stejných hodnotách jako za laboratorní teploty, ale dále s rostoucí teplotou začíná klesat. U 60°C teplota klesá o 7% a u 80°C klesá o 17%, viz Obr. 23. Co se týče meze pevnosti v tahu, ta začíná klesat už na teplotě 40°C a pozvolna klesá dál. Na teplotě 80°C nám klesá až o 25%, viz Obr. 24. Hodnoty teplot u práce při Fmax klesá o 50%, viz Obr 25.

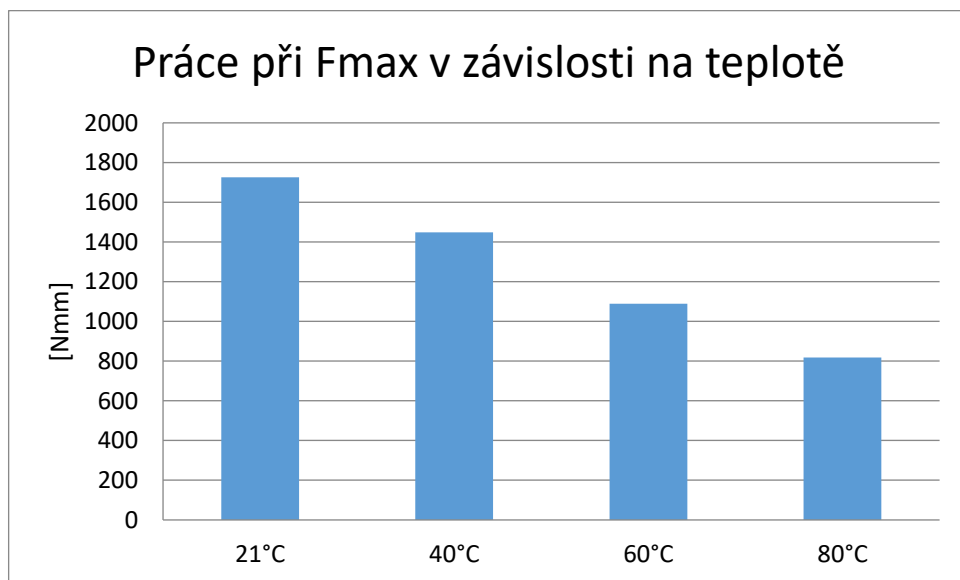
8.1.2 ABS



Obr. 26 – Graf modulu pružnosti v závislosti na teplotě



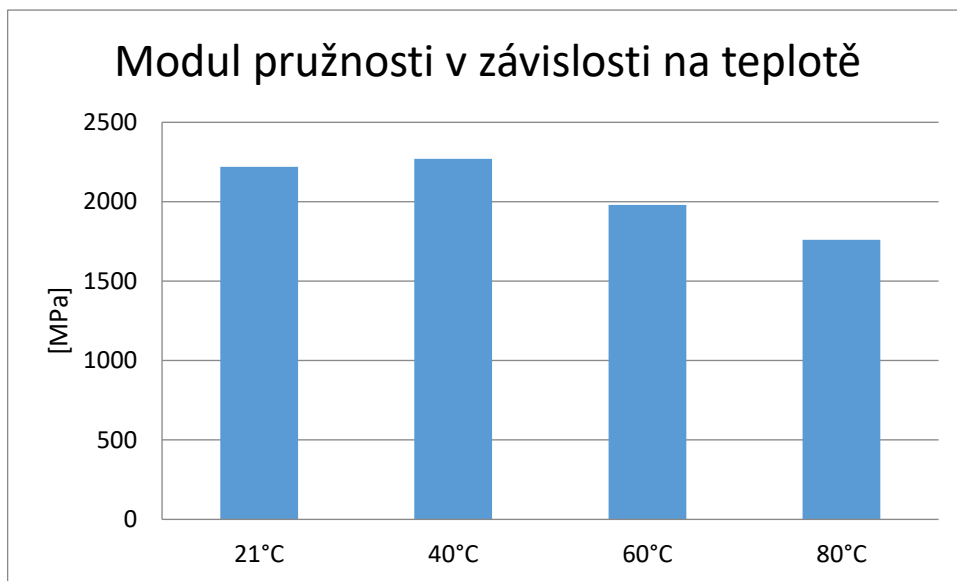
Obr. 27 – Graf meze pevnosti v tahu v závislosti na teplotě



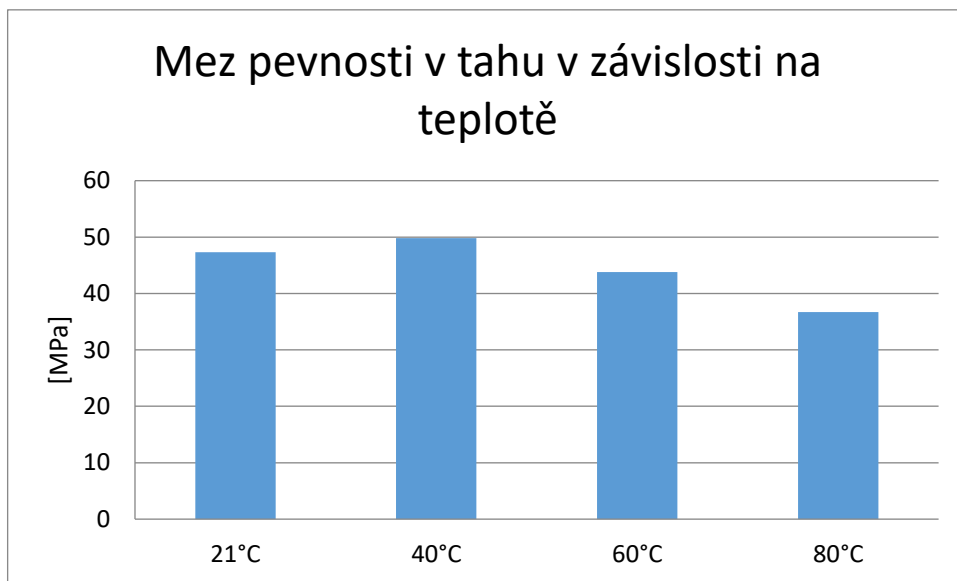
Obr. 28 – Graf práce při Fmax v závislosti na teplotě

U materiálu ABS dochází u teplot 21°C a 40°C k minimálnímu nárůstu modulu pružnosti, a to o 3%. S další rostoucí teplotou dochází již k poklesu u teploty 60°C o 9% a u teploty 80°C o 33%, viz Obr 26. Mez pevnosti v tahu klesá postupně, a to o 42% u teploty 80°C oproti laboratorní teplotě, viz Obr. 27. Co se týče práce při Fmax, teplota klesá o 52% u teploty 80°C oproti laboratorní teplotě, viz Obr 28.

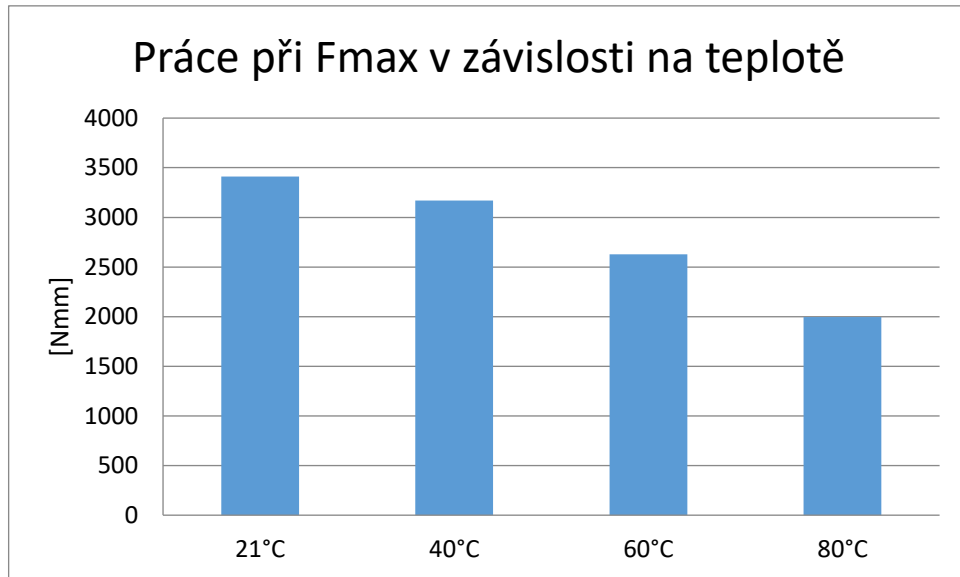
8.1.3 ABS/PC



Obr. 29 – Graf modulu pružnosti v závislosti na teplotě



Obr. 30 – Graf meze pevnosti v tahu v závislosti na teplotě

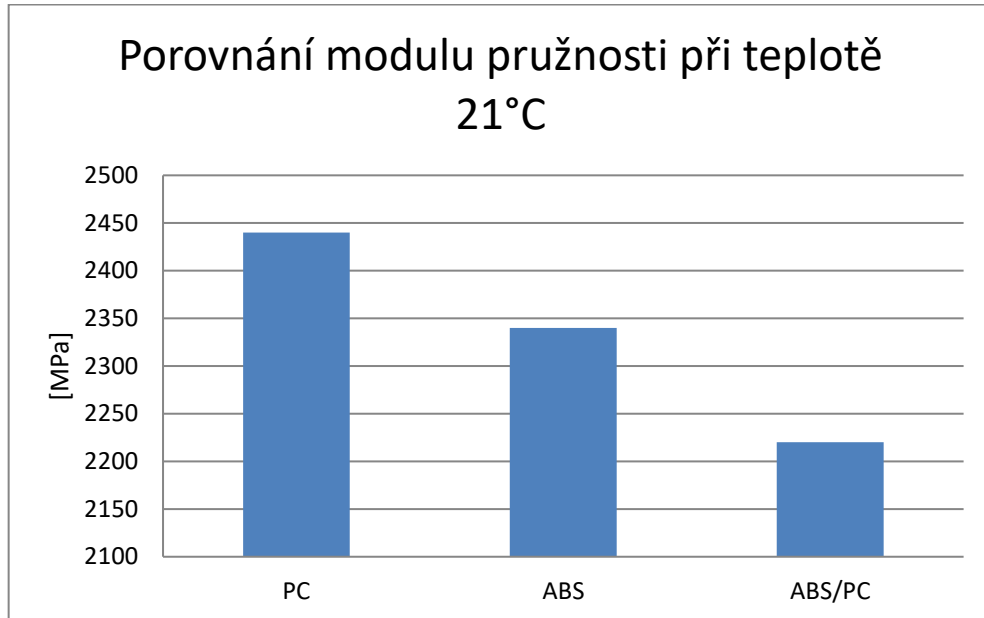


Obr. 31 – Graf práce při Fmax v závislosti na teplotě

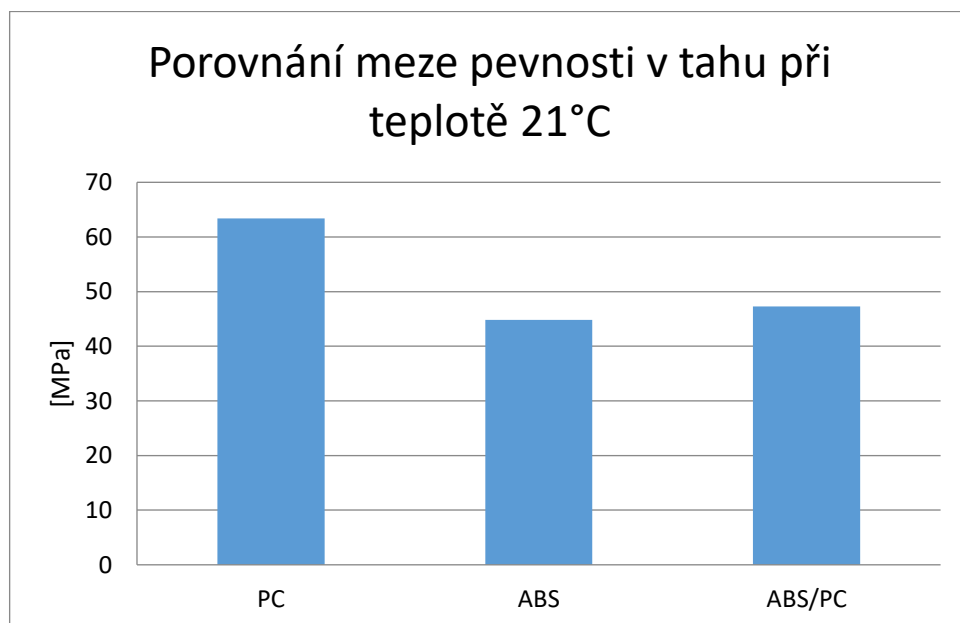
U kombinace materiálů, tak zvaný blend ABS/PC dochází u modulu pružnosti k udržení vlastností do teploty 40°C. Poté již u teploty 60°C dochází k poklesu o 11% a u teploty 80°C až o 21%, viz Obr 29. Mez pevnosti v tahu je také stejná nebo u některých měření minimálně vyšší do teplot 40°C. U teploty 60°C už začíná pomalu klesat o 8% oproti laboratorní teplotě a u teploty 80°C klesá o 23%, viz Obr. 30. Práce při Fmax pozvolna klesá a u teploty 80°C klesá o 42%.

8.2 Porovnání mechanických vlastností termoplastů mezi sebou

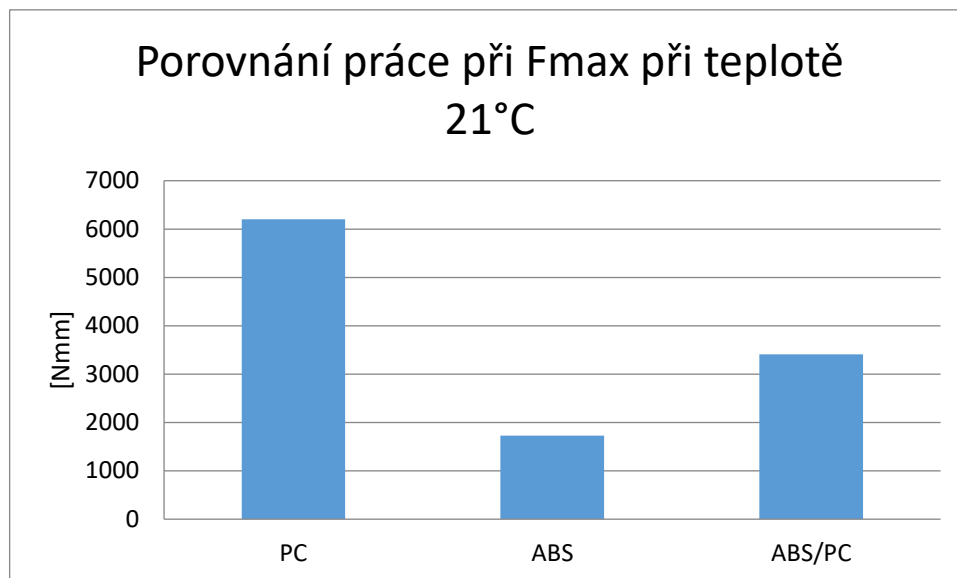
8.2.1 Pro teplotu 21°C



Obr. 32 – Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 21°C



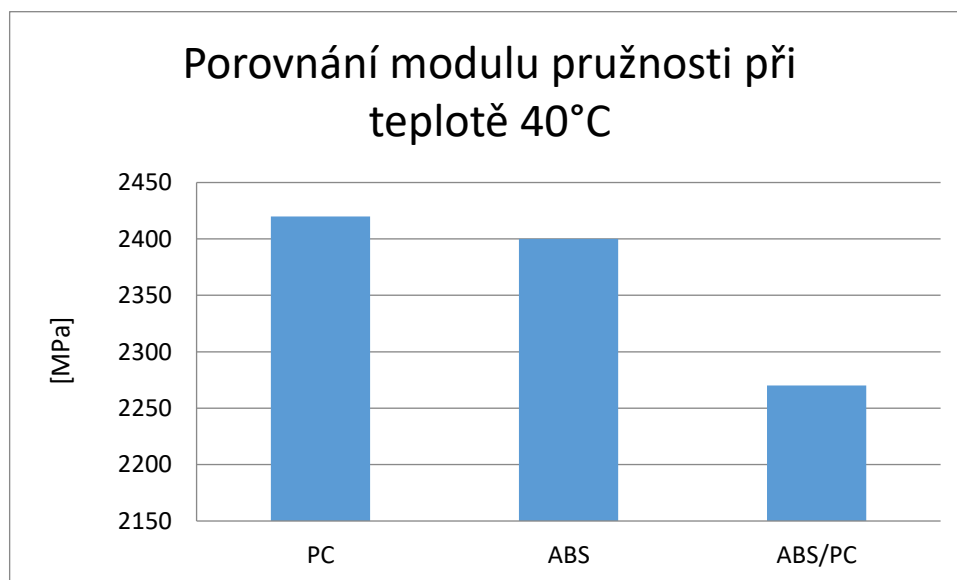
Obr. 33 – Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 21°C



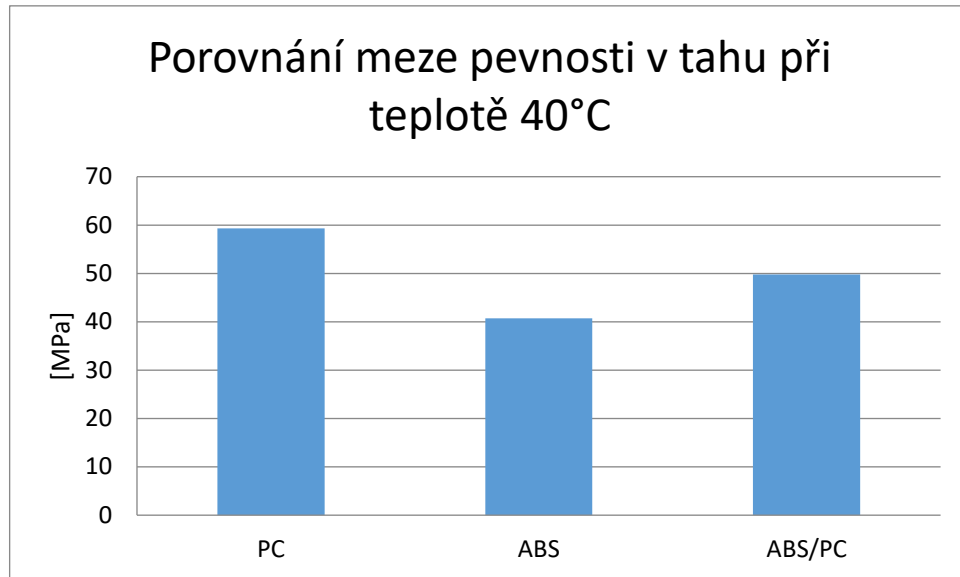
Obr. 34 – Graf porovnání práce při Fmax při teplotě 21°C

Při porovnání materiálů u laboratorní teploty měl materiál PC nejvyšší modul pružnosti stejně jako mez pevnosti v tahu a také práce při Fmax. Co se týká modulu pružnosti, mělo ABS lepší hodnoty než blend ABS/PC ale mez pevnosti v tahu už na tom byl lépe blend ABS/PC u práce při Fmax byla vykonána práce u ABS/PC téměř 2x větší.

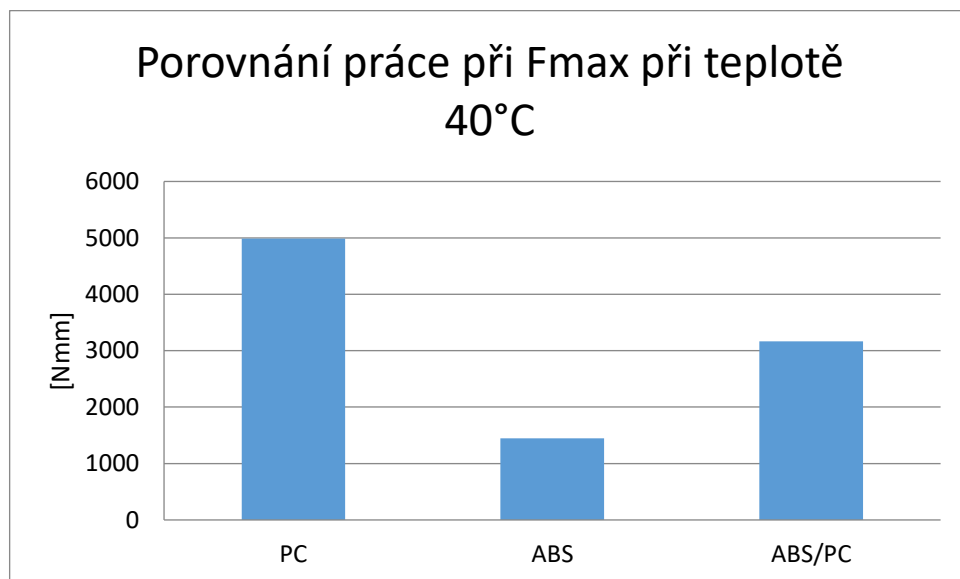
8.2.2 Pro teplotu 40 °C



Obr. 35 – Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 40°C



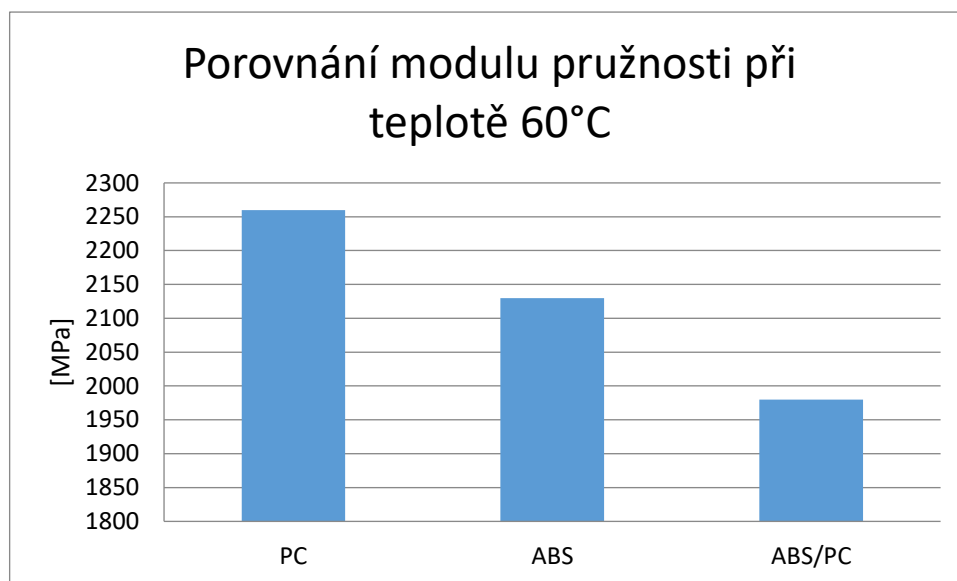
Obr. 36 – Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 40°C



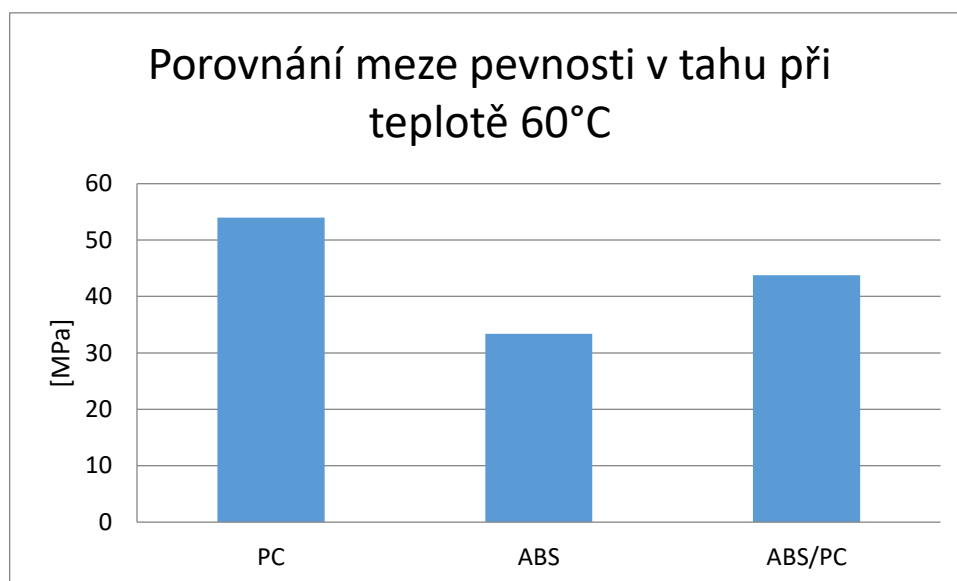
Obr. 37 – Graf porovnání práce při Fmax při teplotě 40°C

U teplot 40°C měl stále nejvyšší hodnoty PC, co se týče ABS a ABS/PC mají materiály podobné rozdíly, viz Obr. 35,36,37.

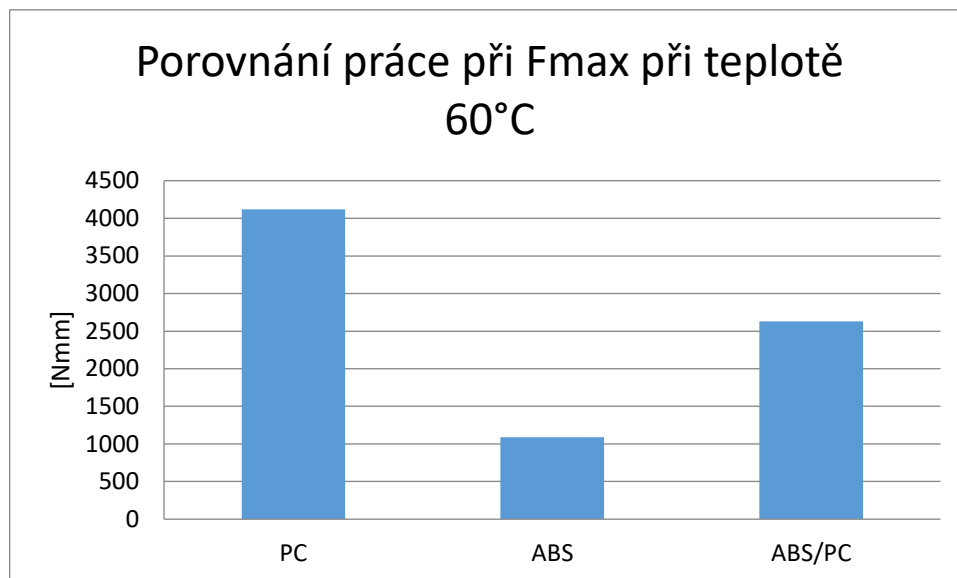
8.2.3 Pro teplotu 60 °C



Obr. 38 – Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 60°C

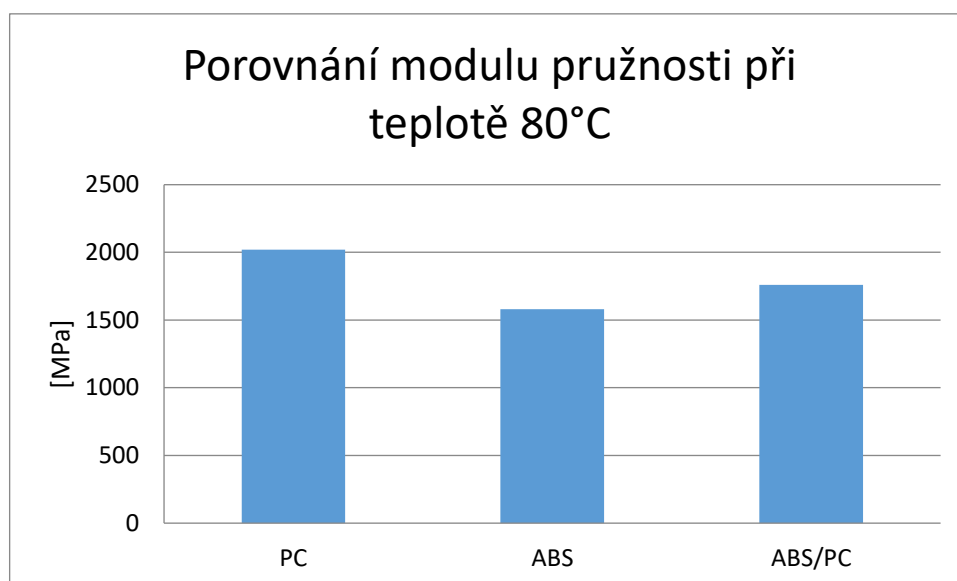


Obr. 39 – Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 60°C

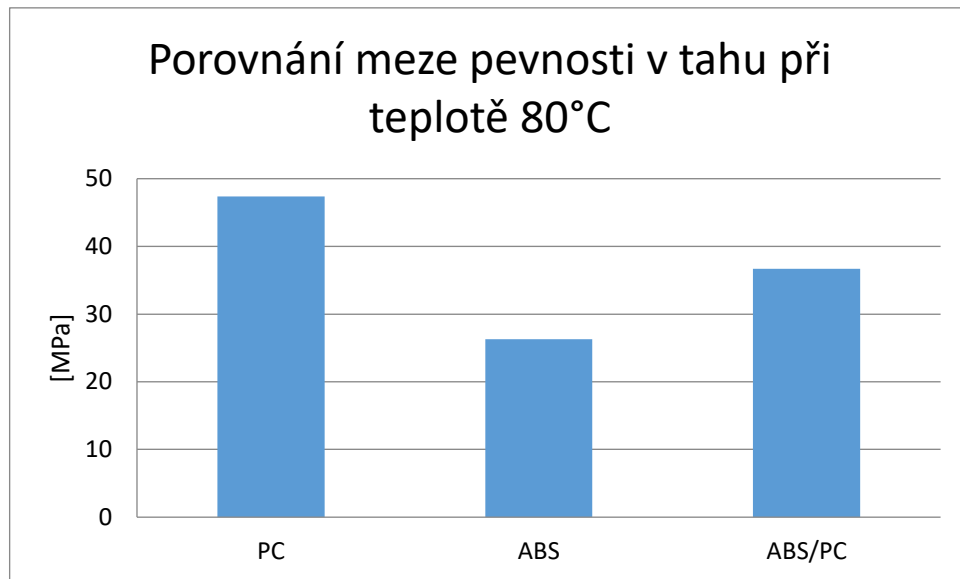


Obr. 40 – Graf porovnání práce při F_{max} při teplotě 60°C

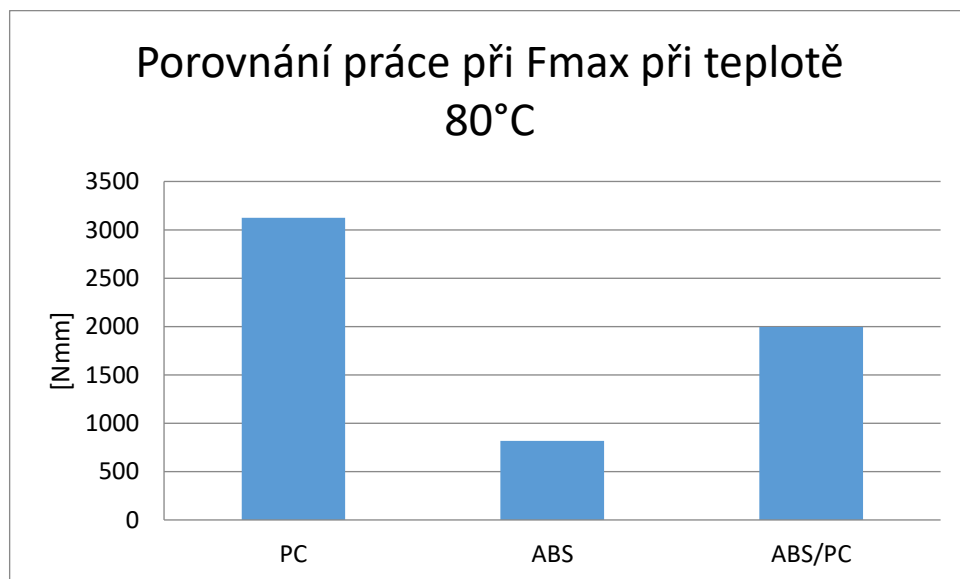
8.2.4 Pro teplotu 80°C



Obr. 41 – Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 80°C



Obr. 42 – Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 80°C



Obr. 43 – Graf porovnání práce při Fmax při teplotě 80°C

Jak můžeme vidět z hodnot, PC si drží své mechanické vlastnosti velmi dobře i s rostoucí teplotou. Co se týče ABS, to si drží své mechanické vlastnosti do teplot 40°C, ale pak už rychle přichází o mechanické vlastnosti. Blend ABS/PC si také drží své mechanické vlastnosti do teploty 40°C, ale poté o ně přichází, ale ne tak rychle jako samotné ABS.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo porovnání mechanických vlastností s rostoucí teplotou pro materiály PC, ABS a PC/ABS.

Teoretická část bakalářské práce se věnovala polymerům, jejich rozdělení, použití, a základní charakteristice. V druhé části byly rozebrány termoplasty, do kterých spadají materiály, na kterých byla provedena tahová zkouška. Dále bylo popsáno základní rozdělení termoplastů a jejich definice. Třetí kapitola se věnovala daným materiálům, a to PC, ABS a PC/ABS. V této kapitole byly tyto polymery charakterizovány a také byly uvedeny možnosti použití. Ve čtvrté kapitole byly sepsány informace k mechanickým zkouškám a základním výpočtům potřebných pro tyto zkoušky.

V praktické části bakalářské práce byla popsána příprava na výrobu a samotná výroba zkušebních těles. Následovala část s naměřenými daty ze stroje Zwick 1456, ve které je vidět grafy průběhu tahové zkoušky a tabulky s výsledky měření. V poslední části bylo uvedeno grafické porovnání materiálu s rostoucí teplotou a dále porovnání materiálů mezi sebou.

Práce ukazuje, že s rostoucí teplotou klesají mechanické vlastnosti, a proto je důležité při aplikaci pro tyto materiály brát ohled na okolní podmínky, nejen na zatížení. A to proto, aby nedocházelo k porušení nebo deformaci materiálů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

„AN, Jiangfeng et al., 2020. *Service-Life Study of Polycarbonate Outdoors Using Python with Incomplete Data. Modelling [online].* 1-14 [cit. 2021-03-20]. ISSN 16875591. Dostupné z: [doi:10.1155/2020/8909747](https://doi.org/10.1155/2020/8909747)“

„BĚHÁLEK, Luboš, 2015. *Polymery [online].* [cit. 2021-03-21]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/eknihy/?book=180-polymery>“

„BAŘTIPÁN, Ladislav, 2017 *Plasty. Charakteristika a rozdělení plastů. Docplayer [online].* [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/39007309-Plasty-charakteristika-a-rozdeleni-plastu-rozdeleni.html>.“

„DUCHÁČEK, Vratislav, 2006. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 80-7080-617-.*“

„HLUCHNÍK, Michal, 2017. *Studium vybraných mechanických vlastností polymerů [online]. Ostrava [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/119495/HLU0020_FMMI_B3923_3911R036_2017.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Technická univerzita Ostrava Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. Vedoucí práce Prof. RNDr. Pavol Košťál, Ph.D.*“

„HUBÁČEK, Ondřej, 2014. *Vliv teplotního zatížení na mechanické vlastnosti modifikovaných polyolefinů. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 92 s. (11 432 znaků). Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/28733>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Mizera, Aleš.*“

„JARUŠEK, Jaroslav, 1989. *Metody zkoumání polymerů. 2., nezm. vyd. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 80-851-1301-5.*“

„Katalog: strojní, přístrojové a laboratorní vybavení ÚVI: Měřicí, kontrolní a testovací stroje, měřidla, optické přístroje, snímače, měřicí ústředny. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická [online]. [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://ft.utb.cz/ustav-vyrobnihoinzenyrstvi/veda-a-vyzkum/pristrojove-vybaveni/merici-kontrolni-a-testovaci-stroje/>“

„KOTEK, Jiří a Miroslav RAAB. Quo vaditis, polymery? [online]. 2009 [cit. 2021-03-15]. ISSN 1214-4029.“

„KŘENEK, Tomáš. Polymerní materiály [online]. In: . s. 51 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/download/Polymery_2010.pdf.“

„LAMPMAN, Steven, 2003. Characterization and Failure Analysis of Plastics [online]. ASM International [cit. 2021-03-16]. ISBN 978-1-62708-281-5. Dostupné z: <https://dl.asminternational.org/technical-books/book/111/Characterization-and-Failure-Analysis-of-Plastics>“

„LENFELD, Petr. Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti: Příprava plastů. Technologie II [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm.“

„MÁČALOVÁ, Zuzana, 2015. Reologické chování polymerů/polymerních směsí ve vztahu k vstříkování tvarově náročných pohledových dílů. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 43 s. (5 528). Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/34189>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav inženýrství polymerů. Vedoucí práce Jelínková, Lenka.“

„MALLIK, Prashanta, 2008. Polycarbonate Resins. In: BT Polymers [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <http://btpol.com/products-Polycarbonate%20Resins.shtml?fbclid=IwAR1PG5OOHNEcjOPhZ6vOLI667SjCC8JU11PXIoY1hjmR3Vd3RZiUaznktLQ>.“

„MILDE, J. a F. JURINA, 2019. Comparison of selected thermoplastic materials in the fused deposition modeling process and their influence on the dimensional accuracy of an orthodontic upper

teeth model. Materials Science Forum [online]. 952, 143 - 152 [cit. 2021-03-16]. ISSN 16629752. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.952.143. “

„MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK, 2000. Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles. ISBN 80-85920-72-7.“

„ONDRÁČEK, Ivo, 2016. Obrábění polymerních materiálů [online]. Brno [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/61038>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav materiálových věd a inženýrství. Vedoucí práce Eva Mollíková.“

„OVSÍK, Martin, 2010. Výzkum možností nových metod měření tvrdosti polymerů. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 179 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/25609>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Maňas, David.“

„OWEN, S.R. a J.F. HARPER, 1999. Mechanical, microscopical and fire retardant studies of ABS polymers. Polymer Degradation and Stability [online]. 64(3), 449-455 [cit. 2021-03-17]. ISSN 01413910. Dostupné z: doi:10.1016/S0141-3910(98)00150-5.“

„RAAB, Miroslav, 2020. Materiály a člověk: netradiční úvod do současné materiálové vědy. Vydaní: druhé. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati. ISBN 978-80-7454-901-4.“

„RYBNIKÁŘ, František et al., 1965. Analýza a zkoušení plastických hmot. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.“

„ŠENKERŮ, Vojtěch, 2016. Vliv přípravy recyklátu na vlastnosti výrobku [online]. Zlín [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/37249/%c5%a1enke%c5%99%c3%adk_2016_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati Fakulta Technologická. Vedoucí práce Ing. Michal Staněk, Ph.D.“

„VALENTOVÁ, Lucie, 2015. *Polymerní materiály z obnovitelných zdrojů jako náhrada konstrukčních plastů zpracovávaných technologií vstřikování*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 38 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/34185>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav inženýrství polymerů. Vedoucí práce Sedláček, Tomáš.“

„VRBOVÁ, Hana, 2019. *Porovnání mikro-mechanických a mechanických vlastností polyamidu 6, polyamidu 66, polykarbonátu a akrylonitril-butadienstyrenu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 75 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/45397>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Hýlová, Lenka.“

„WYPYCH, George, 2012. *Handbook of Plasticizers [online]. 2nd Edition. ChemTec Publishing [cit. 2021-03-16]. ISBN 9781455730025. 978-80-271-1322-4. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=EHho-akl6cyoC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Handbook+of+Plasticizers+&ots=pY3_rjNq2o&sig=o3bpeAVWEdQvA_RKYFveKVUFS04&redir_esc=y#v=onepage&q=Handbook%20of%20Plasticizers&f=false*.“

„XANTHOPOULOS, Pascal, 2019. *Selection of Light Stabilizers for Polymers. SpecialChem: The Material Selection Platform [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://polymer-additives.specialchem.com/selection-guide/light-uv-stabilizers-selection-for-polymers>*.“

„ZEMAN, Lubomír, 2009. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 978-80-7300-250-3.“

„ZHÁNĚLOVÁ, Magdalena, 2010. *KAUČUK – přírodní poklad z džungle. Gumotex [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.gumotexluny.cz/priodni-kaucuk-prirodni-poklad-z-dzungle>*.“

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS Akrylonitril-butadien-styren.

PC Polykarbonát.

PS Polystyren.

PMMA Polymethylmethakrylát.

PP Polypropylen.

PE Polyethylen.

PA Polyamid.

T_g Teplota skelného přechodu.

T_f Teplota toku.

T_m Teplota tání.

TPE Termoplastické elastomery.

UP Polyesterová pryskyřice.

EP Epoxidová pryskyřice.

PVC Polyvinylchlorid.

POM Polyoxymethylen

E Modul pružnosti

$W_{F_{max}}$ Práce stanovená k F_{max}

W_{break} Práce celková až do přetržení

Δl_{Mt} Prodloužení vzorku

ε Poměrné prodloužení

σ_{Mt} Mez pevnosti v tahu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Rozdělení polymerů.....	12
Obr. 2 – Polymery.....	19
Obr. 3 – Struktura krystalických plastů. A) Proužek B) Lamela C) Fibrila	19
Obr. 4 – Chemický vzorec polykarbonátu	19
Obr. 5 – Výrobky z polykarbonátu	20
Obr. 6 – Vliv teploty na modul pružnosti	24
Obr. 7 – Zkušební těleso	30
Obr. 8 – Vstříkovací stroj DEMAG ERGOtech 50-200 systém.....	31
Obr. 9 – Forma vstříkování normalizovaných zkušebních těles.....	32
Obr. 10 – Zkušební stroj Zwick 1456	33
Obr. 11 – Graf tahové zkoušky PC za laboratorní teploty	34
Obr. 12 – Graf tahové zkoušky PC za teploty 40 °C	35
Obr. 13 – Graf tahové zkoušky PC za teploty 60 °C	36
Obr. 14 – Graf tahové zkoušky PC za teploty 80 °C	37
Obr. 15 – Graf tahové zkoušky ABS za laboratorní teploty.....	38
Obr. 16 – Graf tahové zkoušky ABS za teploty 40 °C	39
Obr. 17 – Graf tahové zkoušky ABS za teploty 60 °C	40
Obr. 18 – Graf tahové zkoušky ABS za teploty 80 °C	41
Obr. 19 – Graf tahové zkoušky ABS/PC za laboratorní teploty.....	42
Obr. 20 – Graf tahové zkoušky ABS/PC za teploty 40 °C	43
Obr. 21 – Graf tahové zkoušky ABS/PC za teploty 60 °C	44
Obr. 22 – Graf tahové zkoušky ABS/PC za teploty 80 °C	45
Obr. 23 – Graf modulu pružnosti v závislosti na teplotě.....	46
Obr. 24 – Graf meze pevnosti v tahu v závislosti na teplotě	46
Obr. 25 – Graf práce při F_{max} v závislosti na teplotě.....	47
Obr. 26 – Graf modulu pružnosti v závislosti na teplotě.....	47
Obr. 27 – Graf meze pevnosti v tahu v závislosti na teplotě	48
Obr. 28 – Graf práce při F_{max} v závislosti na teplotě.....	48
Obr. 29 – Graf modulu pružnosti v závislosti na teplotě.....	49
Obr. 30 – Graf meze pevnosti v tahu v závislosti na teplotě	49
Obr. 31 – Graf práce při F_{max} v závislosti na teplotě.....	50

Obr. 32 – Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 21°C	51
Obr. 33 – Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 21°C	51
Obr. 34 – Graf porovnání práce při F_{max} při teplotě 21°C	52
Obr. 35 – Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 40°C	52
Obr. 36 – Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 40°C	53
Obr. 37 – Graf porovnání práce při F_{max} při teplotě 40°C	53
Obr. 38 – Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 60°C	54
Obr. 39 – Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 60°C	54
Obr. 40 – Graf porovnání práce při F_{max} při teplotě 60°C	55
Obr. 41 – Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 80°C	55
Obr. 42 – Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 80°C	56
Obr. 43 – Graf porovnání práce při F_{max} při teplotě 80°C	56

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Základní parametry vstřikovacího stroje	31
Tabulka 2 – Parametry zkušebního stroje Zwick 1456.....	33
Tabulka 3 – Naměřené hodnoty pro PC za laboratorní teploty	34
Tabulka 4 – Naměřené hodnoty pro PC za teploty 40°C.....	35
Tabulka 5 – Naměřené hodnoty pro PC za teploty 60°C.....	36
Tabulka 6 – Naměřené hodnoty pro PC za teploty 80°C.....	37
Tabulka 7 – Naměřené hodnoty pro ABS za laboratorní teploty	38
Tabulka 8 – Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 40°C.....	39
Tabulka 9 – Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 60°C.....	40
Tabulka 10 – Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 80°C.....	41
Tabulka 11 – Naměřené hodnoty pro ABS/PC za laboratorní teploty	42
Tabulka 12 – Naměřené hodnoty pro ABS/PC za teploty 40°C.....	43
Tabulka 13 – Naměřené hodnoty pro ABS/PC za teploty 60°C.....	44
Tabulka 14 – Naměřené hodnoty pro ABS/PC za teploty 80°C.....	45