

Tahové vlastnosti PC, ABS a jejich směsí za zvýšených teplot

Marek Škorec

Bakalářská práce
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

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:	Tahové vlastnosti PC, ABS a jejich směsí za zvýšených teplot

Zásady pro vypracování

1. Vypracování literární rešerše 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. Hylva, 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.
3. OGORKIEWICZ, R. M., ed. *Thermoplastics: properties and design*. London: John Wiley, 1974, xi, 248 s. ISBN 0471653063.
4. CARLOWITZ, Bodo. *Thermoplastische Kunststoffe*. Speyer am Rhein: Zechner & Hüthig, 1980, 471, 12 s. Die Kunststoffbücherei. ISBN 3879271224.
5. IBEH, Christopher C. *Thermoplastic materials: properties, manufacturing methods, and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, [2011], 1 online zdroj (xxiii, 616 stran). Dostupné z: doi:9780429150968

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

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 24. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním 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 obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému 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. 3²⁾;
- podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 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.

Prohlašuji, že

- elektronická a tištěná verze bakalářské práce jsou totožné;
- na bakalářské práci jsem pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst.

3). Odprá-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 užit 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 přihlédá k větší výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá tahovými vlastnostmi PC, ABS a jejich směsí za zvýšených teplot. 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 drag properties of PC, ABS and their mixtures at elevated temperatures. The theoretical part describes thermoplastics, types of polymers and subsequently selected polymers and their mechanic 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 poděkoval své přítelkyni za pomoc a podporu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	12
1.2 PLASTY	13
1.2.1 Termoplasty.....	14
1.2.2 Reaktoplasty	14
1.3 ELASTOMERY	14
1.3.1 Kaučuky	15
1.4 TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY	15
2 TERMOPLASTY	16
2.1 AMORFNÍ TERMOPLASTY	16
2.2 SEMIKRYSTALICKÉ TERMOPLASTY	17
3 CHARAKTERISTIKA ZADANÝCH POLYMERŮ	18
3.1 POLYKARBONÁT.....	18
3.2 AKRYLONITRIL-BUTADIEN-STYREN.....	19
3.3 SMĚS POLYKARBONÁTU A AKRYLONITRIL-BUTADIEN-STYRENU	20
4 MECHANICKÉ VLASTNOSTI	22
4.1 TAHOVÉ VLASTNOSTI	22
4.1.1 Tahová zkouška.....	22
4.1.2 Výpočty napětí	23
4.1.3 Výpočty poměrného prodloužení	24
4.1.4 Výpočet modulu pružnosti	24
4.1.5 Poissonův poměr	24
4.2 TAHOVÉ VLASTNOSTI ZA ZVÝŠENÝCH TEPLOT	25
4.3 VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST	25
4.4 SHORE D	26
4.5 OHYBOVÉ VLASTNOSTI	26
II PRAKTICKÁ ČÁST	27
5 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	28
5.1 PŘÍPRAVA MATERIÁLŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	28
5.2 POSTUP PŘI VSTŘIKOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES	29
6 TAHOVÁ ZKOUŠKA – NAMĚŘENÁ DATA	31
6.1 ZKUŠEBNÍ STROJ.....	31
6.2 ZKOUŠKA TAHEM	32

6.3	PC	32
6.4	ABS	36
6.5	PC/ABS	40
7	VYHODNOCENÍ	44
7.1	MECHANICKÉ VLASTNOSTI TERMOPLASTU ZA ROZDÍLNÝCH TEPLOT	44
7.1.1	PC	44
7.1.2	ABS	46
7.1.3	PC/ABS	47
7.2	POROVNÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ TERMOPLASTŮ MEZI SEBOU	49
7.2.1	Pro teplotu 21 °C	49
7.2.2	Pro teplotu 40 °C	50
7.2.3	Pro teplotu 60 °C	52
7.2.4	Pro teplotu 80 °C	53
	ZÁVĚR	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
	SEZNAM TABULEK	64
	SEZNAM PŘÍLOH	65
	PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST PRO PC/ABS	66
	PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST PRO ABS	68
	PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST PRO PC	69

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 PC/ABS 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

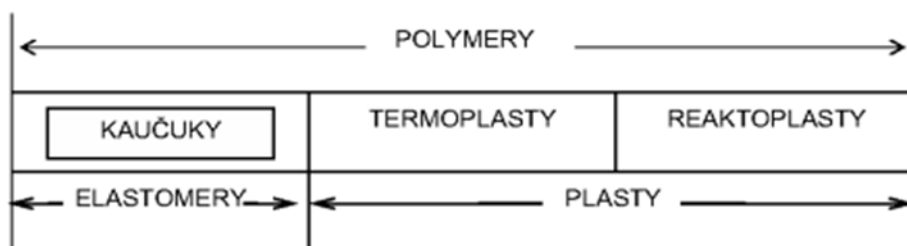
Polymer je látka, sestávající z molekul jednoho nebo více druhů atomů (atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, dusíku chloru, křemíku) nebo skupin spojených navzájem ve velkém počtu. Obecně jsou to makromolekulární látky o molekulové hmotnosti vyšší jak 10⁴ a z chemického hlediska jsou to látky organické. Podstatou polymerů je makromolekulární látka přírodního (škrob, celulóza) nebo syntetického původu. [10]

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. [5]

První využití plastů datujeme na rok 1843, kdy si lékař Dr. William Nontgomerie všiml místních domorodců, jak vyrábějí rukojeti z vytékající 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 nich nepředstavitelný. [5]

1.1 Základní rozdělení polymerů

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



Obrázek 1 Rozdělení polymerů [4]

Příměši do polymerů:

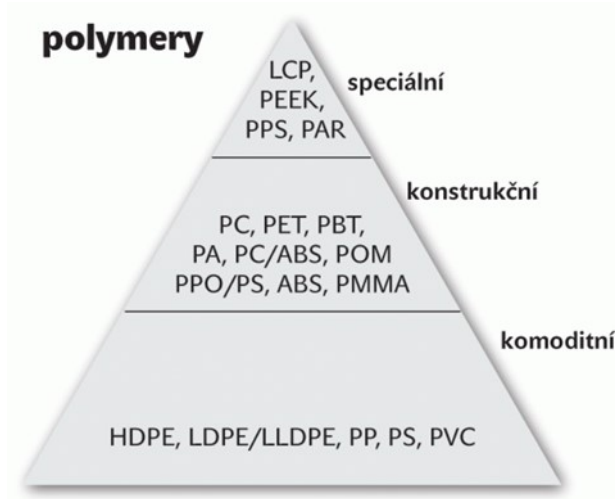
- **Plniva:** mají vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti polymeru (menší tepelná roztažnost, vyšší pevnost atd.)
- **Změkčovadla:** zlepšují jejich ohebnost
- **Stabilizátory:** zlepšují odolnost vůči vlivům prostředí (teplota, vlhkost)
- **Maziva:** pomáhají při zpracování, zvyšují tekutost
- **Nadouvadla:** díky nim nabývá polymer objem a vzniká bublinová (pěnová) struktura
- **Barviva:** způsobují žádané zbarvení [3]

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 můžeme zařadit nízkou hmotnost, vysokou schopnost izolace a také korozivzdornost. [16]

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. [5] 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 vyšší cena.
- **Speciální plasty:** Jsou to plasty s teplotní i chemickou odolností, dokonce i biologickou snášenlivostí a mají velmi dlouhou životnost. Ale jsou to nejdražší polymerní materiály. [9]



Obrázek 2 Polymery [9]

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. 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. [3] A jsou to např.: polyetylen (PE), polyvinylchlorid (PVC), akrylonitril-butadien-styren (ABS), polyoxymethylen (POM) a další. Termoplasty se zpracovávají: vstřikováním, válcováním, vytlačováním, vyfukováním, ohýbáním a vakuovým tvarováním. [20]

1.2.2 Reaktoplasty

Polymery, které jsou díky chemické reakci znovu netavitelné, nazýváme reaktoplasty. 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. [20] A jsou to např.: epoxidová pryskyřice (EP) polyesterová pryskyřice (UP) a další. Reaktoplasty se zpracovávají lisováním, vstřikováním, navíjením, laminováním, přetlačováním a odléváním. [5]

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. [3]. 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). [17]

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 kaučukovníku brazilského, kdy se nařezáváním jeho kůry získává surový latex a následně se z něj srážením a dalšími úpravami vyrábí kaučuk. [28] 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. [5]

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. [2]

2 TERMOPLASTY

Jak již bylo zmíněno výše, jedná se o polymerní materiál, který při zahřátí přechází do plastického stavu, 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). [12]

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, jako je vstřikování, vytlačování, vyfukování atd. Pro svou hygroskopickou povahu a hydrolyticky nestabilní vlastnosti jsou polyamidy před zpracováním taveniny dobře vysušeny. [26]

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. [26]

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 mezimolekulárních interakcí 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. Menší část tvoří amorfní uspořádání. [22]

2.1 Amorfní termoplasty

Struktura amorfního plastu je vyznačena svou neuspořádaností, tedy chaotičností. Základní část struktury jsou globuly, které jsou vytvořeny z neuspořádaně stočených makromolekul. Patří tam PS, PC, PMMA a podobně. Amorfní termoplasty jsou křehké, tvrdé, vysoce pevné

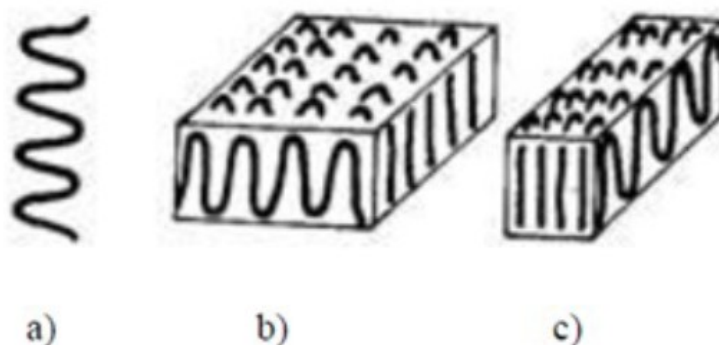
a mají modul pružnosti. Jejich index lomu je 1,4 až 1,6 a díky tomu jsou průhledné. Dále se dělí na čiré, transparentní nebo průhledné. [5]

Pokud zahříváme amorfnní 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 a lze ho zpracovávat vstřikováním nebo vyfukováním. [22]

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. Řadíme tam různé plasty, jako například PP, PE, PA a mnoho dalších. Jsou to plasty zakalené, mléčné a s velkým podílem krystalinity roste modul pružnosti. [5]

Uspořádaná struktura má tvar lamely nebo fibrily (viz Obr. 3). Lamely jsou destičkové útvary a mohou být pyramidálně prohnuté. Vlákniťým útvarům naopak říkáme fibrily. [5]



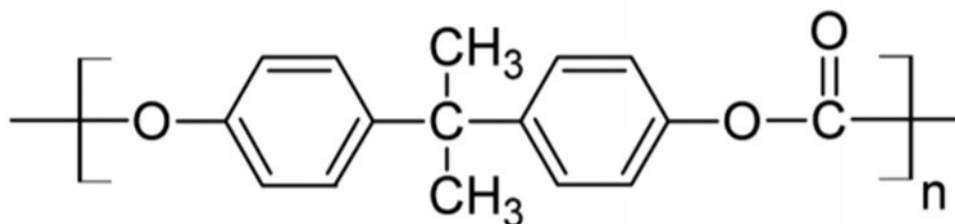
Obrázek 3 Struktura krystalických plastů. A) Proužek B) Lamela C) Fibrila [27]

3 CHARAKTERISTIKA ZADANÝCH POLYMERŮ

3.1 Polykarbonát

Polykarbonát (PC) je široce používaný strojírenský plast díky svým vynikajícím mechanickým vlastnostem a nízké specifické gravitaci. [1]

Polykarbonát (PC) je průhledný amorfnní termoplast, který má velmi dobré mechanické vlastnosti (lepší pevnost, tuhost a výborná houževnatost). Jeho vlastnosti se téměř nemění ani ve velkém rozsahu teplot -70 až 140 °C. Další jeho výhodou je, že se dá velmi dobře obrábět nebo lepit. PC má také velmi dobrou odolnost vůči slunečnímu světlu, je dobrý elektrický izolant a má skvělou chemickou odolnost (slabší kyseliny, oleje, alkohol). Jeho chemickou stavbu můžeme vidět na obrázku 4. Avšak špatně odolává vroucí vodě, zásadám a většině rozpouštědel. [16]



Obrázek 4 Chemický vzorec polykarbonátu [25]

PC se nejvíce zpracovává pomocí vstřikování 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 střeňy atd.), pro ukládání dat (kompaktních disků, DBD a blu-ray disků) a dokonce i v lékařství. [4]

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, tak s 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. [23]



Obrázek 5 Výrobky z polykarbonátu [14]

3.2 Akrylonitril-butadien-styren

Akrylonitril-butadien-styren (ABS) je termopolymer 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. [15]

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. [19]

Xanthopoulos (2019) definuje akrylonitril-butadien-styren 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 ABS velmi širokou škálu využití. 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. [26]

Rozlišujeme dva typy pro dispergaci: mísení a roubování. Roubované polymery ABS mají lepší reologické vlastnosti a vzhled. [16]

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. [16]

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 teple a nárazu, které jsou typické pro PC. Tepelnou odolnost konečného výrobku ovlivňuje poměr PC a ABS. [13]

PC/ABS 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.

Jedna z definic také říká, že směs ABS a PC poskytuje kombinaci dobré zpracovatelnosti. Vyváženosť vlastností PC/ABS se kontroluje poměrem PC a ABS ve směsi, molekulovou vahou polykarbonátu a příslušnými aditivami. [23]

Jejich vlastnosti jsou:

- 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 [23]

Polykarbonát (PC) má velmi dobré vlastnosti (tuhost, křepovou i teplotní odolnost, houževnatost) má také některá velmi slabá místa: vyšší náchylnost ke korozi za napětí další nižší chemické odolnost. Ale díky kopolymeru PC/ABS dokážeme tyto nedostatky odstranit, ale zachovat jeho dobré vlastnosti (houževnatosti a tuhosti). [2]

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. [11] 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. [2]

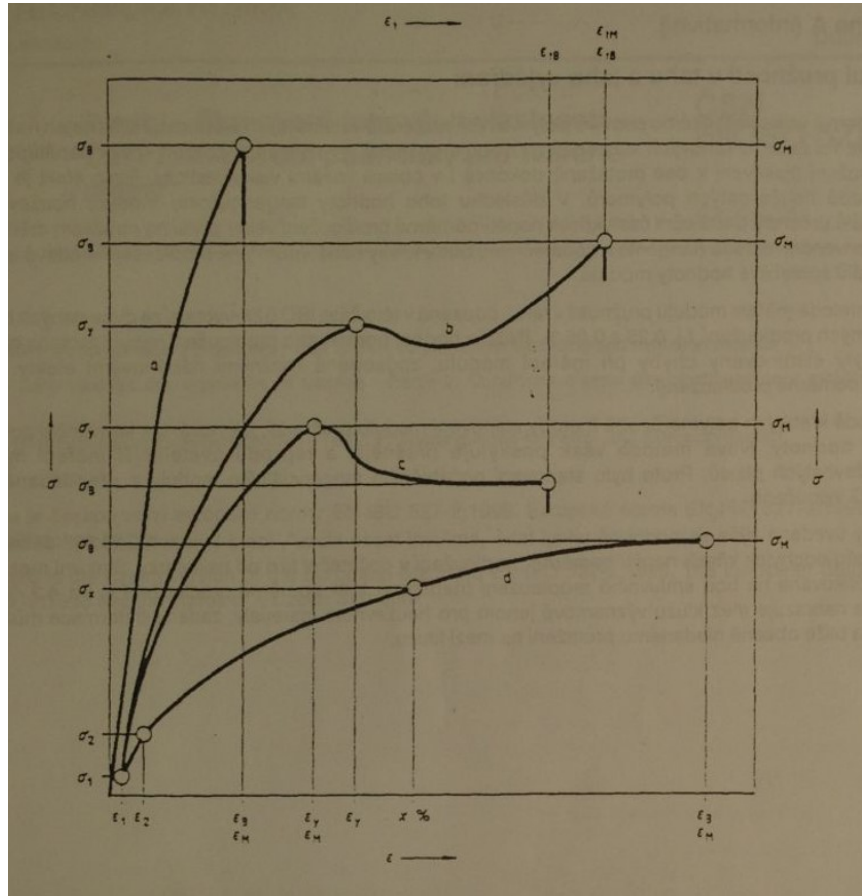
Modul pružnosti, který vyjadřuje tuhost materiálů je jedna z dalších charakteristik. Čím vyšší hodnota modulu pružnosti je, tím vyšší je jeho tuhost. Hodnota modulu pružnosti vychází z deformačních křivek v oblasti, kde je lineární závislost napětí na poměrném prodloužení. Pro tuto oblast platí Hookův 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. [2]

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 zatěžíme jednoosým tahem, je napětí rozloženo rovnoměrně po celém průřezu zkušebního tělesa. [21]

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 vylišovaná ze vstříkovacího 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. [5]



Obrázek 6 Tahové křivky

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 zkušební tělesa, vyjádřená v mm^2 [24]

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 [24]

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 $\varepsilon_2 = 0,0025$ [24]

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) [24]

4.2 Tahové vlastnosti za zvýšených teplot

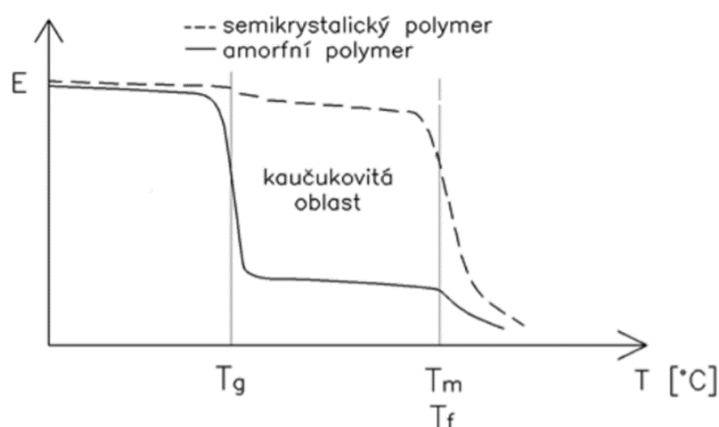
Při vystavení polymerů vyšším teplotám dochází ke změnám. Tyto změny nezávisí jen na druhu polymeru, ale i na reálných podmínkách prostředí, které na ně působí. Přítomnost zvýšené teploty se u polymerů projevuje dvěma způsoby:

- 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. [4]



Obrázek 7 Vliv teploty na modul pružnosti [22]

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. [18]

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, určujeme 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 [2]

4.4 Shore D

Shore D je metoda pro stanovení tvrdosti, a to termoplastů a reaktoplastů. Funguje to na bázi vtlačování hrotu tvrdoměru Shore typu D do materiálu. Celé to záleží na 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. [7]

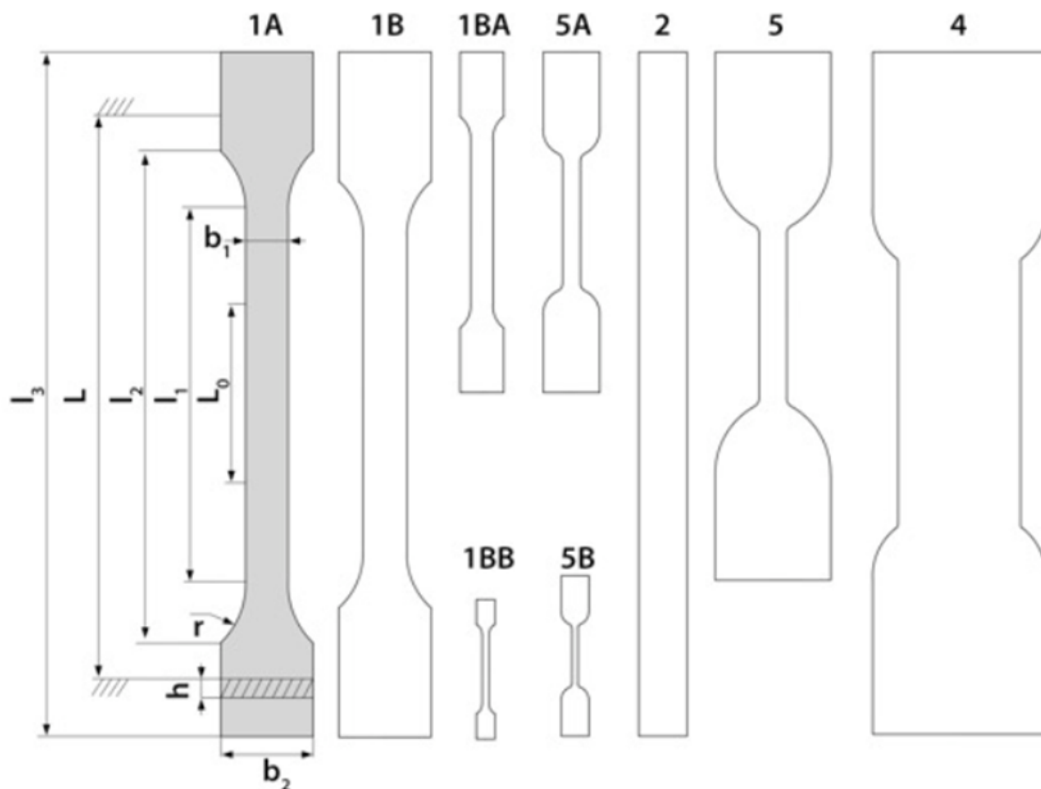
4.5 Ohybové vlastnosti

Tyto vlastnosti jsou velmi důležité při namáhání polymerních dílů v ohybu, což je časté namáhání plastů a patří tam 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. [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 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).



Obrázek 8 Zkušební těleso [2]

5.1 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.



Obrázek 9 Vstřikovací stroj DEMAG ERGOtech 50-200 systém [24]

Tabulka 1 Základní parametry vstřikovacího stroje [24]

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

5.2 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 se vady objevily, byla teplota chlazení 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 dotlaku. 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 automatický režim a výrobu všech zkušebních těles. Pokud ale nastal některý z problémů, byla úprava parametrů a následné opakování v poloautomatickém režimu.

Při běhu v automatickém režimu byla zhotovená zkušební tělesa ochlazená vzduchem o laboratorní teplotě. Následně bylo provedeno ostřížení zkušebních vzorků od zbytků.

Po ukončení výroby zkušebních těles se musel vstřikovací stroj vyčistit. Na tento proces byl použit polypropylen, který byl nasypán do násypky a následně protlačen přes plastifikační jednotku a trysku. Sledován byl výtok materiálu z trysku, dokud nedošlo výtoku čistého polypropylenu.



Obrázek 10 Forma pro vstřikování normalizovaných zkušebních těles [6]

6 TAHOVÁ ZKOUŠKA – NAMĚŘENÁ DATA

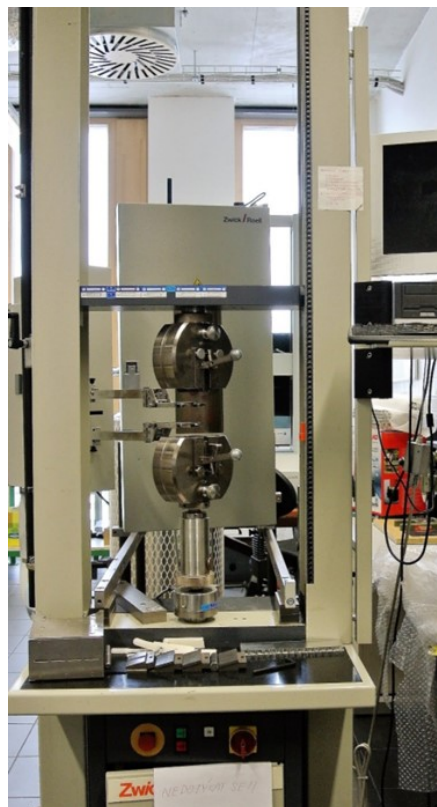
V této části jsou uvedena naměřená data z trhacího stroje a grafické znázornění průběhu této zkoušky.

6.1 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.

Tabulka 2 Parametry zkušebního stroje Zwick 1456 [8]

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



Obrázek 11 Zkušební stroj Zwick 1456 [8]

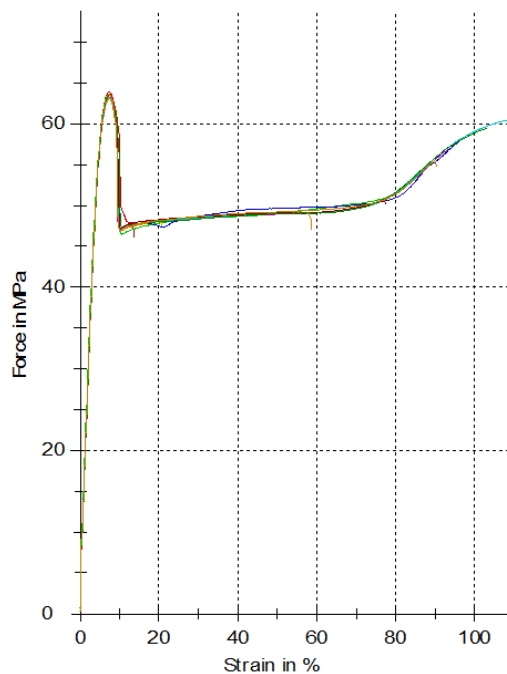
6.2 Zkouška tahem

Tato zkouška probíhala na již zmiňovaném stroji Zwick 1456 za pokojové teploty a dále za pomoci teplotní komory při teplotách 40 °C, 60 °C a 80 °C. Tahová zkouška probíhala dle normy 527-1,2.

6.3 PC

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

1) Tahová zkouška PC za laboratorní teploty

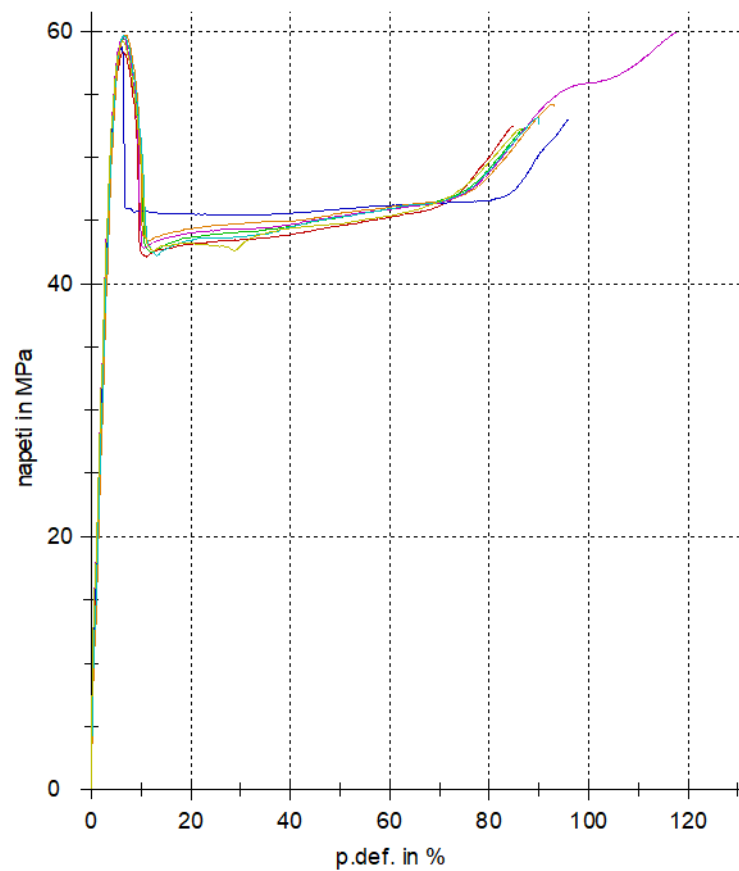


Obrázek 12 Graf tahové zkoušky PC za laboratorní teploty

Tabulka 3 Naměřené hodnoty pro PC za laboratorní teploty

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	2440	63,4	7,3	7,7	75,2	6,2	74,5
S	85,9	0,26	0,1	0,1	33,7	0,06	34,2
v	3,52	0,41	0,91	1,6	10,17	0,98	45,89

2) Tahová zkouška PC za teploty 40 °C

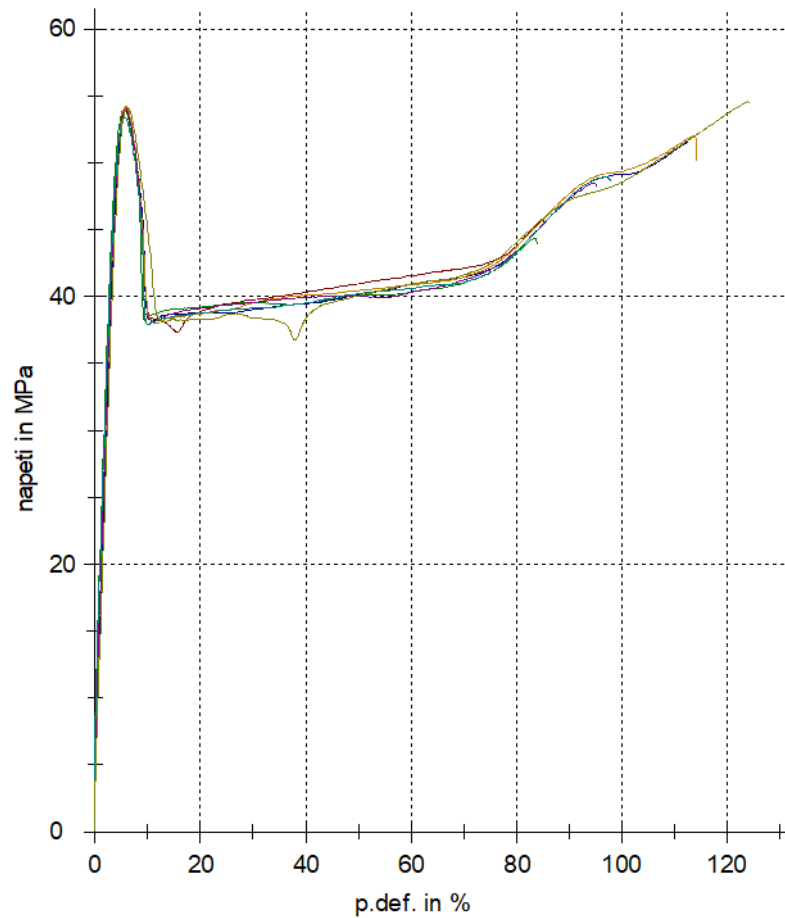


Obrázek 13 Graf tahové zkoušky PC za teploty 40 °C

Tabulka 4 Naměřené hodnoty pro PC za teploty 40 °C

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	2420	59,3	22,3	6,4	89,6	4,98	85,1
S	124	0,59	42	0,1	11,3	0,05	12,6
v	5,12	0,99	2,87	1,7	11,7	0,89	14,86

3) Tahová zkouška PC za teploty 60 °C

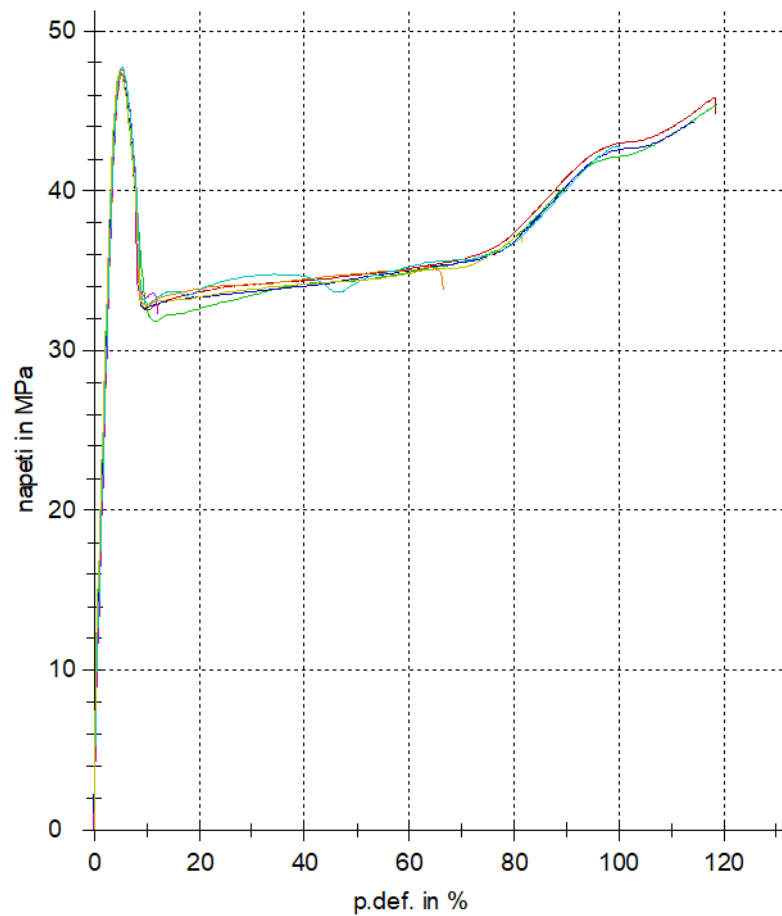


Obrázek 14 Graf tahové zkoušky PC za teploty 60 °C

Tabulka 5 Naměřené hodnoty pro PC za teploty 60 °C

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	2260	54	5,6	6,6	101,8	4,1	84,1
S	182	0,351	0,1	0,2	15,4	0,085	14,9
v	8,03	0,65	1,58	0,72	15,14	0,84	17,75

4) Tahová zkouška PC za teploty 80 °C



Obrázek 15 Graf tahové zkoušky PC za teploty 80 °C

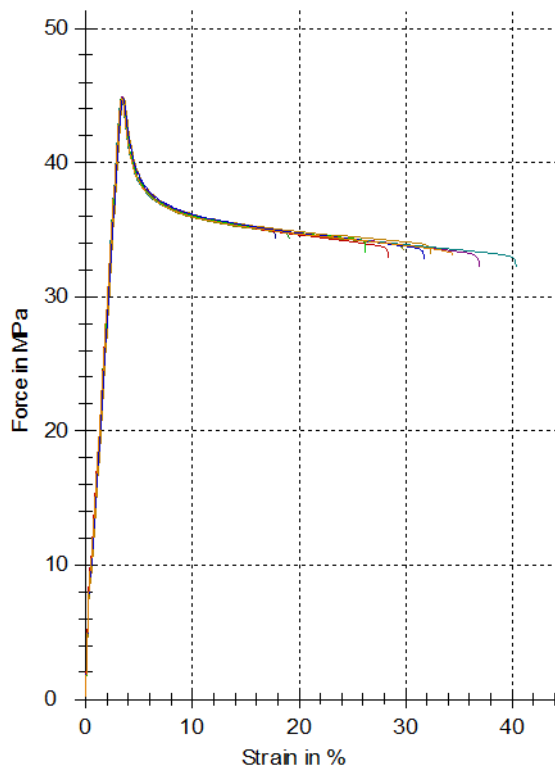
Tabulka 6 Naměřené hodnoty pro PC za teploty 80 °C

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	2020	47,4	5,1	6	87,4	3,1	62,1
S	49,2	0,173	0,2	0,1	38,7	0,045	28,6
v	2,44	0,36	2,99	0,88	44,28	1,44	46

6.4 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

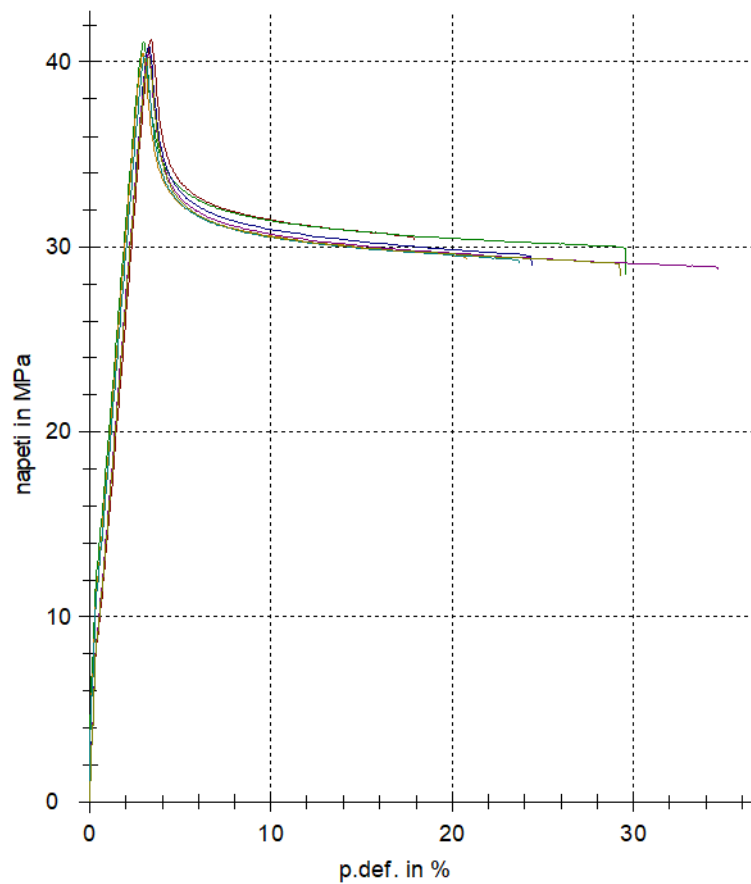


Obrázek 16 Graf tahové zkoušky ABS za laboratorní teploty

Tabulka 7 Naměřené hodnoty pro ABS za laboratorní teploty

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	2340	44,8	3,4	3,9	29,7	1,7	20,4
S	101	0,092	0,1	0,1	7,2	0,026	4,9
v	4,3	0,21	1,97	2,82	24,27	1,53	24,03

2) Tahová zkouška ABS za teploty 40 °C

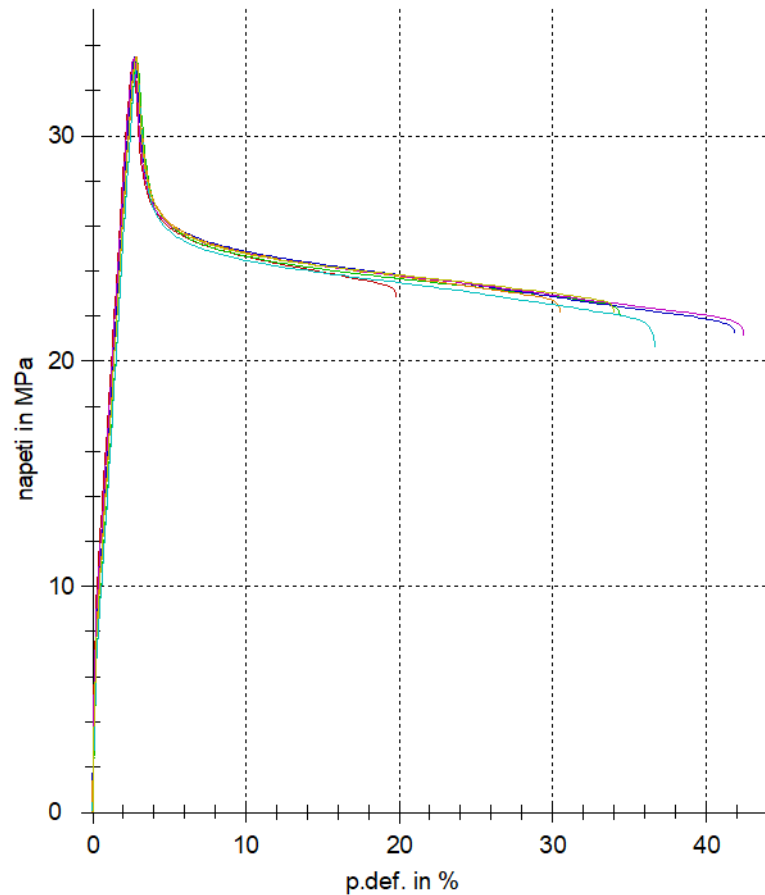


Obrázek 17 Graf tahové zkoušky ABS za teploty 40 °C

Tabulka 8 Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 40 °C

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	2400	40,7	3,2	3,9	25,8	1,45	15,2
S	49,6	0,374	0,2	0,1	5,7	0,039	3,3
v	2,07	0,92	5,47	2,17	22,27	2,68	21,58

3) Tahová zkouška ABS za teploty 60 °C

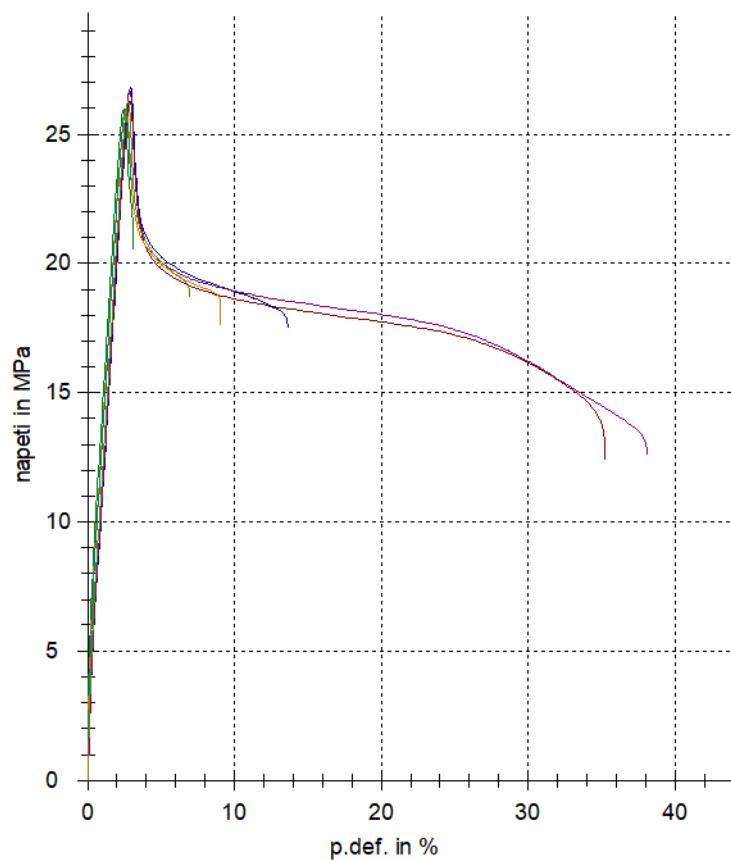


Obrázek 18 Graf tahové zkoušky ABS za teploty 60 °C

Tabulka 9 Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 60 °C

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	2130	33,4	2,8	3,6	34,2	1,089	15,97
S	99,8	0,18	0,1	0	7,7	0,016	3,45
v	4,69	0,55	3,51	1,36	22,43	1,43	21,58

4) Tahová zkouška ABS za teploty 80 °C



Obrázek 19 Graf tahové zkoušky ABS za teploty 80 °C

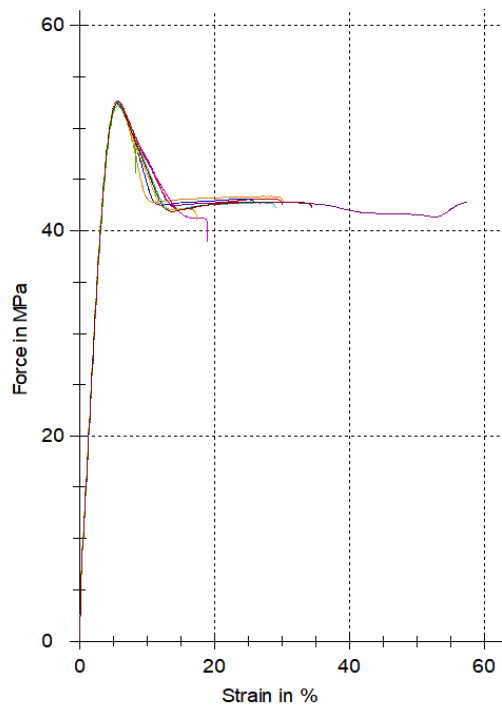
Tabulka 10 Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 80 °C

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	1580	26,3	2,7	3,4	15,6	0,82	5,454
S	89,2	0,37	0,2	0	14,9	0,029	5,092
v	5,66	1,4	6,6	1,17	95,8	3,59	93,36

6.5 PC/ABS

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

1) Tahová zkouška PC/ABS za laboratorní teploty

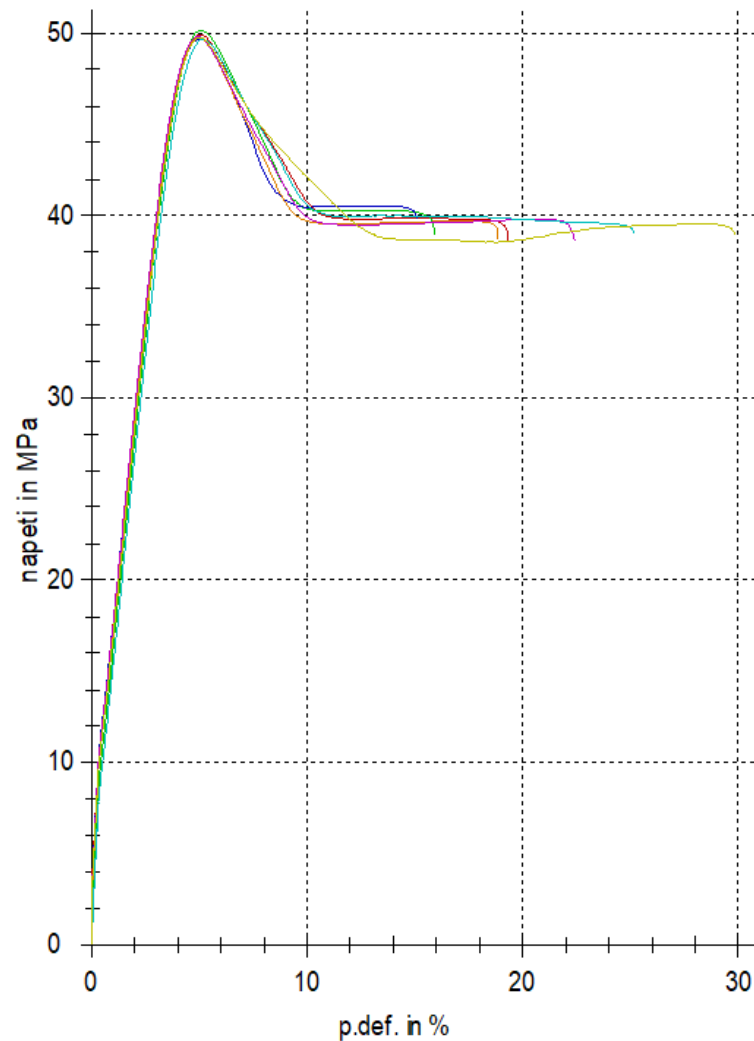


Obrázek 20 Graf tahové zkoušky PC/ABS za laboratorní teploty

Tabulka 11 Naměřené hodnoty pro PC/ABS za laboratorní teploty

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	2225	52,5	5,5	5,9	24,25	3,7	20,3
S	36	0,14	0,1	0,1	7,59	0,04	6,6
v	1,6	0,27	1,8	1,7	31,3	1,08	32,5

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

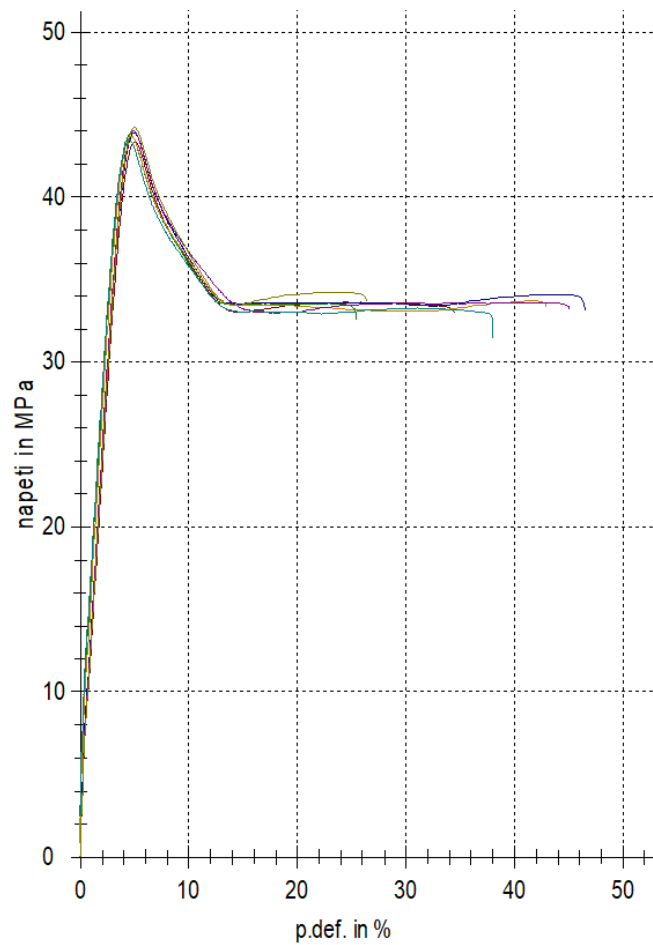


Obrázek 21 Graf tahové zkoušky PC/ABS za teploty 40 °C

Tabulka 12 Naměřené hodnoty pro PC/ABS za teploty 40 °C

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	2270	49,8	5	5,8	20,9	3,17	16,15
S	104	0,17	0,1	0,1	5,3	0,04	4,07
v	4,58	0,34	1,68	1,06	25,19	1,31	25,18

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

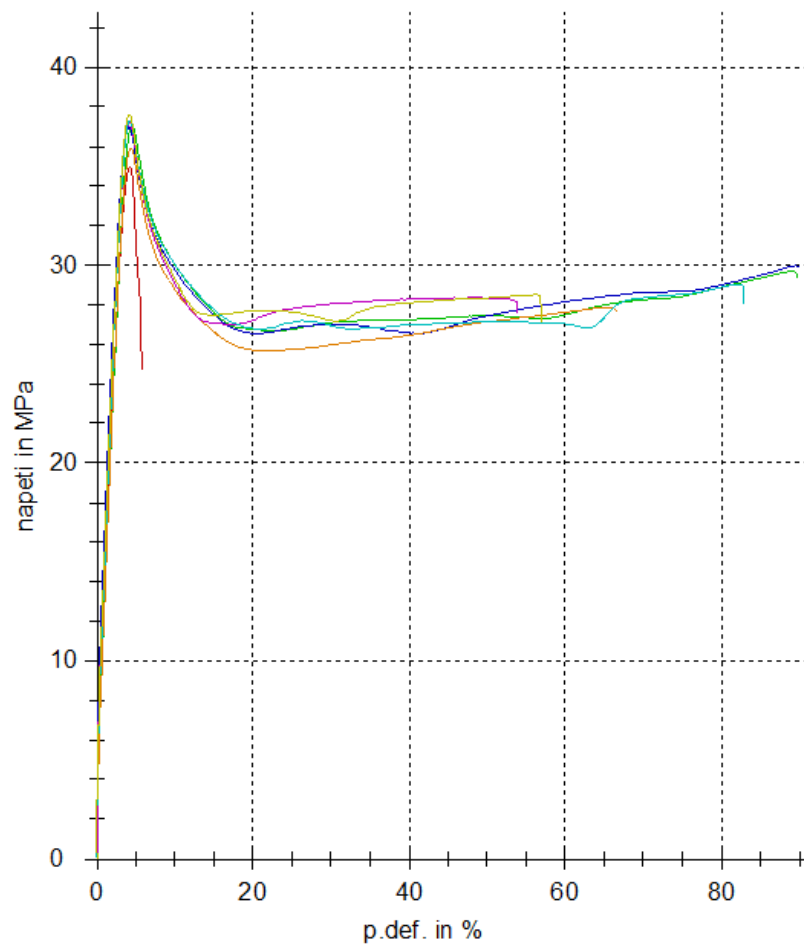


Obrázek 22 Graf tahové zkoušky PC/ABS za teploty 60 °C

Tabulka 13 Naměřené hodnoty pro PC/ABS za teploty 60 °C

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	1980	43,8	4,8	5,5	37	2,63	24,55
S	69,5	0,31	0,2	0,1	8,6	0,04	5,65
v	3,5	0,71	4,15	1,04	2,26	1,58	23,03

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



Obrázek 23 Graf tahové zkoušky PC/ABS za teploty 80 °C

Tabulka 14 Naměřené hodnoty pro PC/ABS za teploty 80 °C

Počet měření	E [MPa]	σ_{Mt} [MPa]	ϵ_{Mt} [%]	Δl_{Mt} [mm]	ϵ_{Bt} [%]	W_{fmax} [J]	W_{break} [J]
X	1760	36,7	4,3	5,1	63,7	1,99	34,8
S	66,2	0,9	0,1	0,1	29,6	0,05	16,3
v	3,77	2,57	2,86	1,72	6,05	2,48	46,89

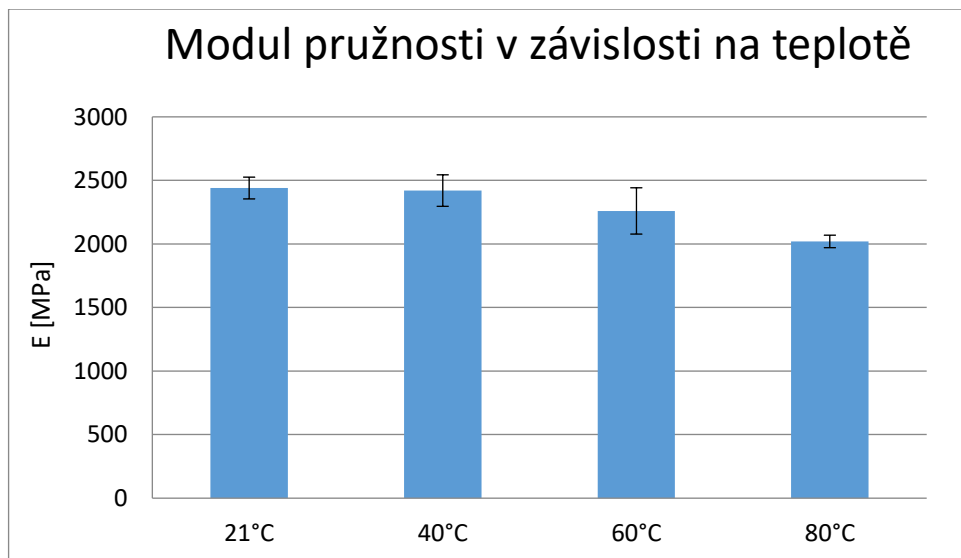
7 VYHODNOCENÍ

V této části jsou uvedena naměřená data z trhačího stroje ve sloupcových grafech. V první části dochází k porovnání samotných materiálů za rozdílných teplot. V Druhé části jsou porovnány vlastnosti materiálů mezi sebou. Porovnávané vlastnosti jsou modul pružnosti, mez pevnosti v tahu a práce při W_{Fmax} .

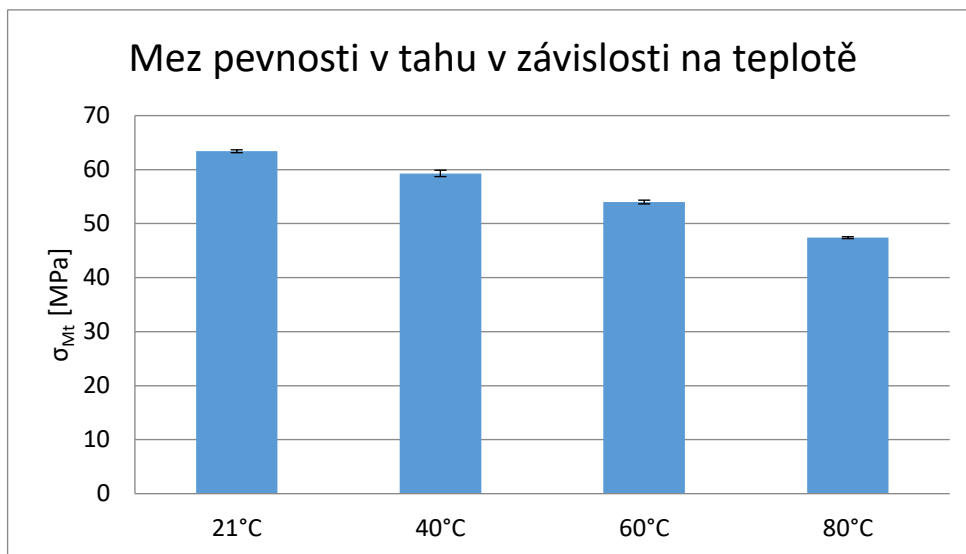
7.1 Mechanické vlastnosti termoplastu za rozdílných teplot

7.1.1 PC

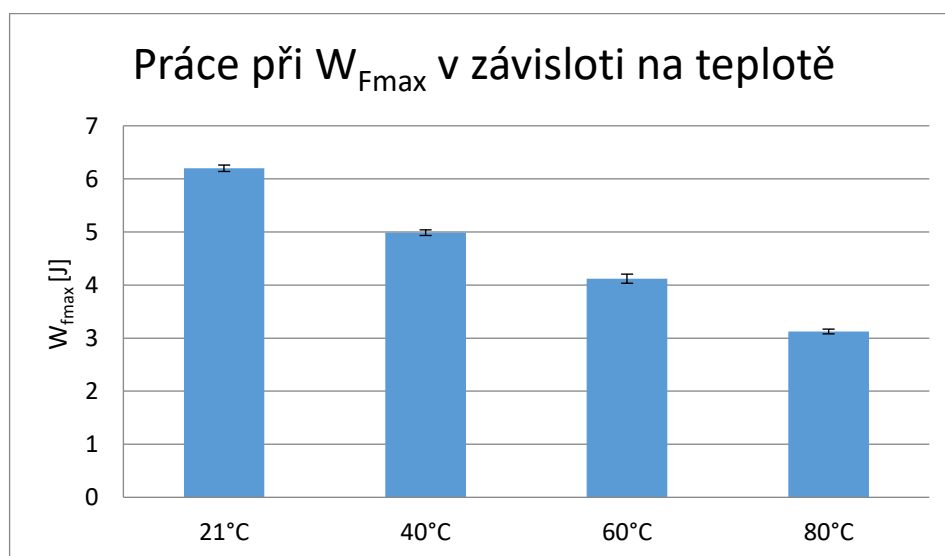
V této části došlo k porovnání základních dat s rostoucí teplotou u materiálu PC.



Obrázek 24 Modul pružnosti v závislosti na teplotě pro PC

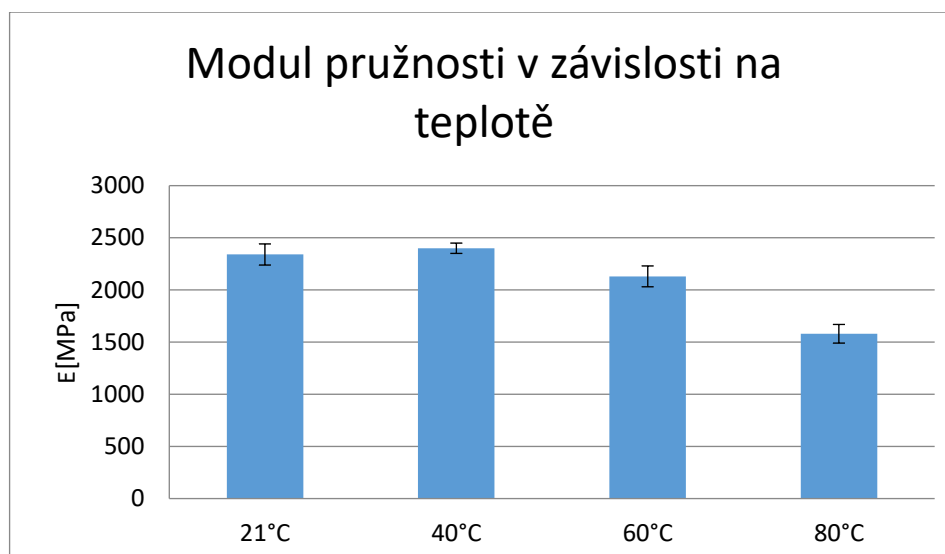


Obrázek 25 Mez pevnosti v tahu v závislosti na teplotě pro PC

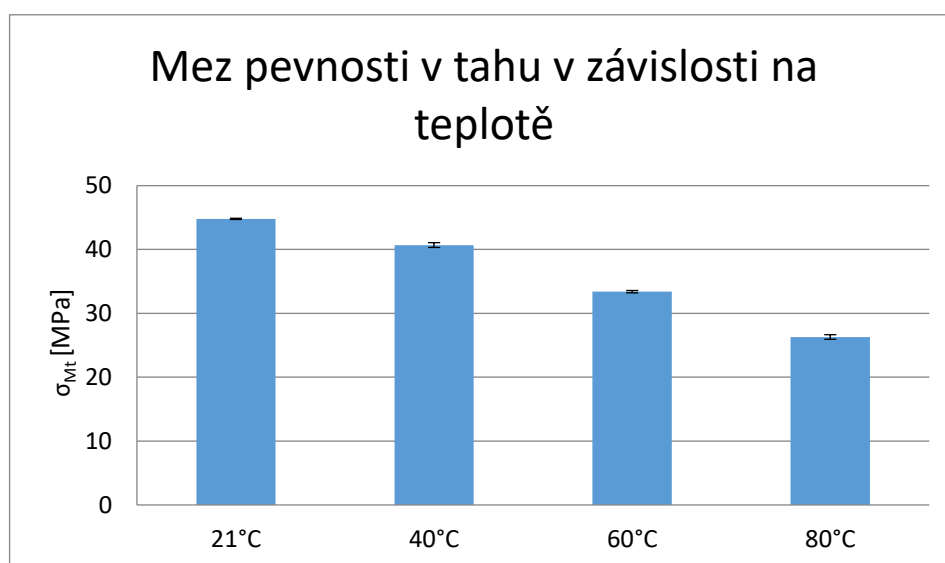
Obrázek 26 Práce při W_{Fmax} v závislosti na teplotě pro PC

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 W_{Fmax} klesá o 50 %, viz Obr 25.

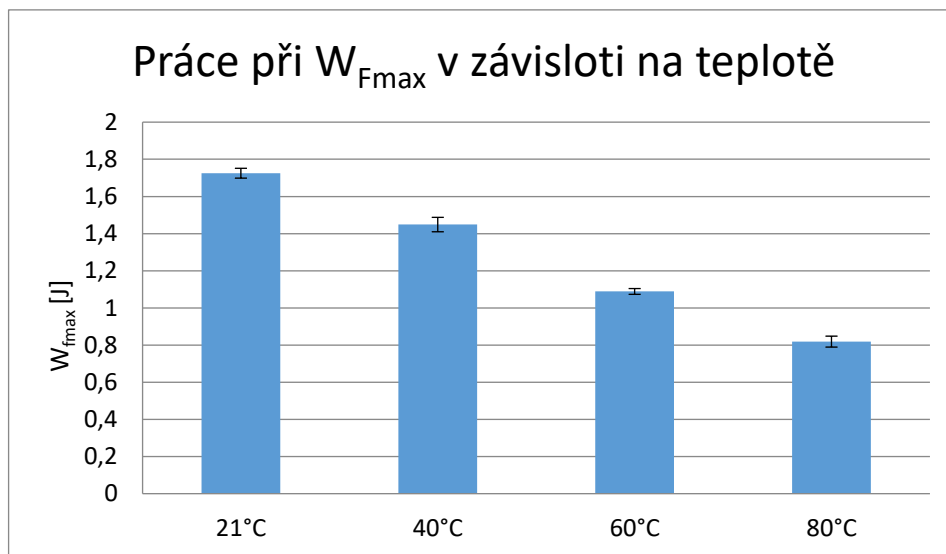
7.1.2 ABS



Obrázek 27 Modul pružnosti v závislosti na teplotě pro ABS

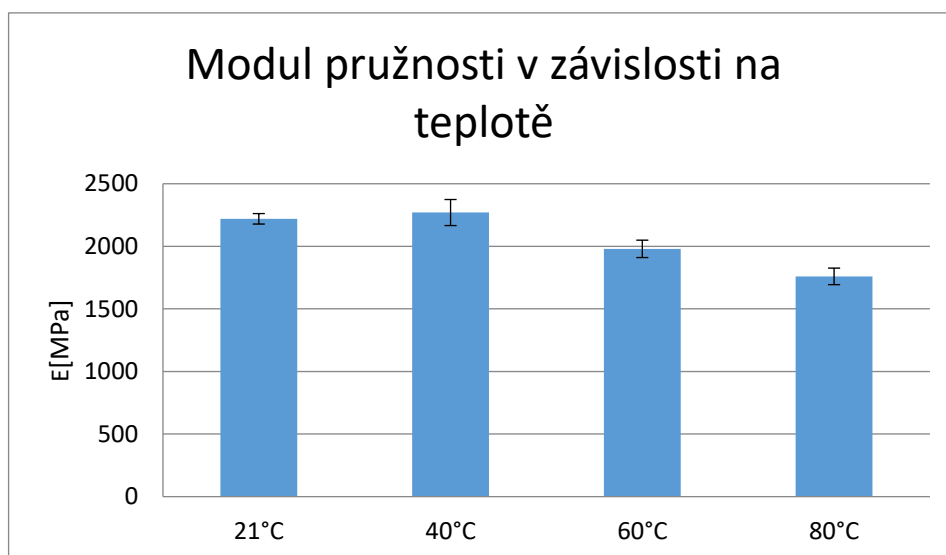


Obrázek 28 Mez pevnosti v tahu v závislosti na teplotě pro ABS

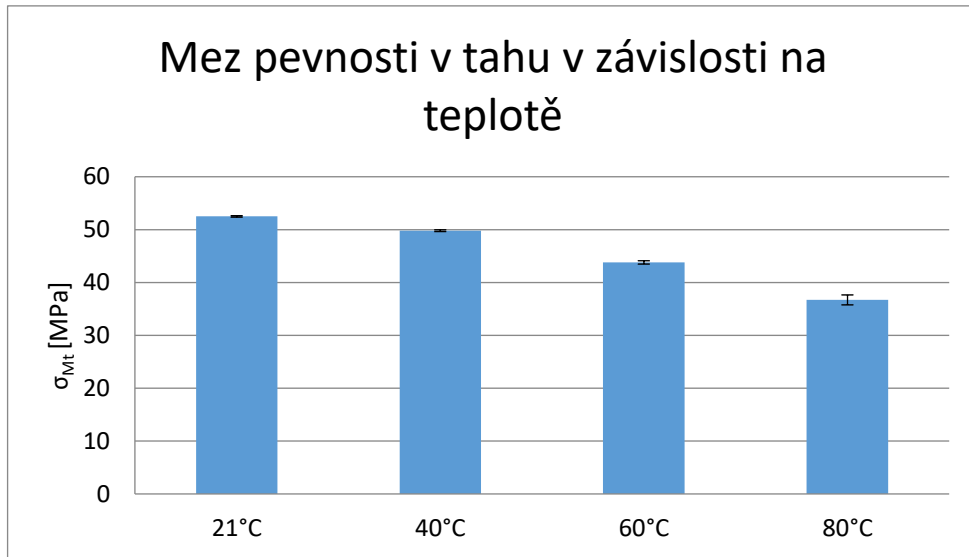
Obrázek 29 Práce při W_{Fmax} v závislosti na teplotě pro ABS

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 W_{Fmax} , teplota klesá o 52 % u teploty 80 °C oproti laboratorní teplotě, viz Obr 28.

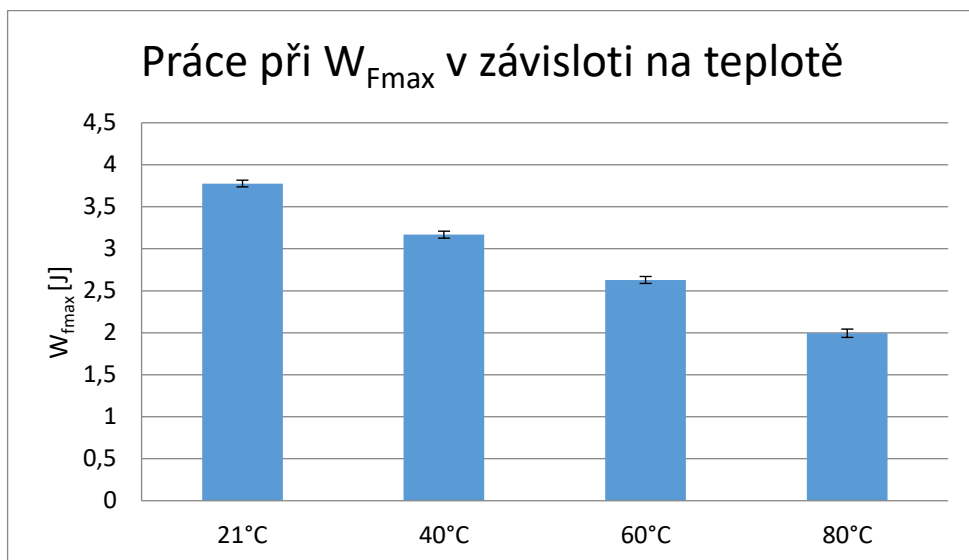
7.1.3 PC/ABS



Obrázek 30 Modul pružnosti v závislosti na teplotě pro PC/ABS



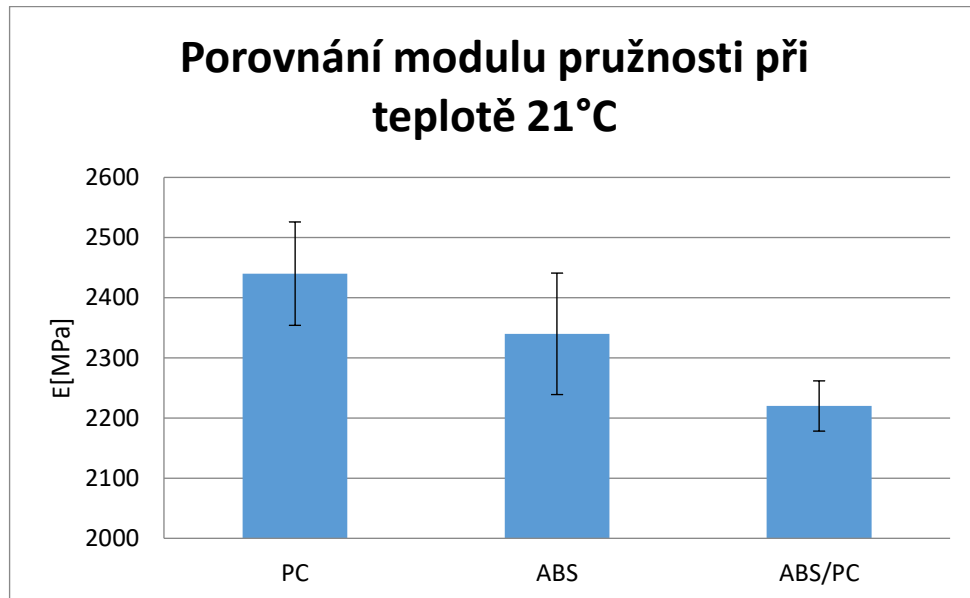
Obrázek 31 Mez pevnosti v tahu v závislosti na teplotě pro PC/ABS

Obrázek 32 Práce při W_{Fmax} v závislosti na teplotě pro PC/ABS

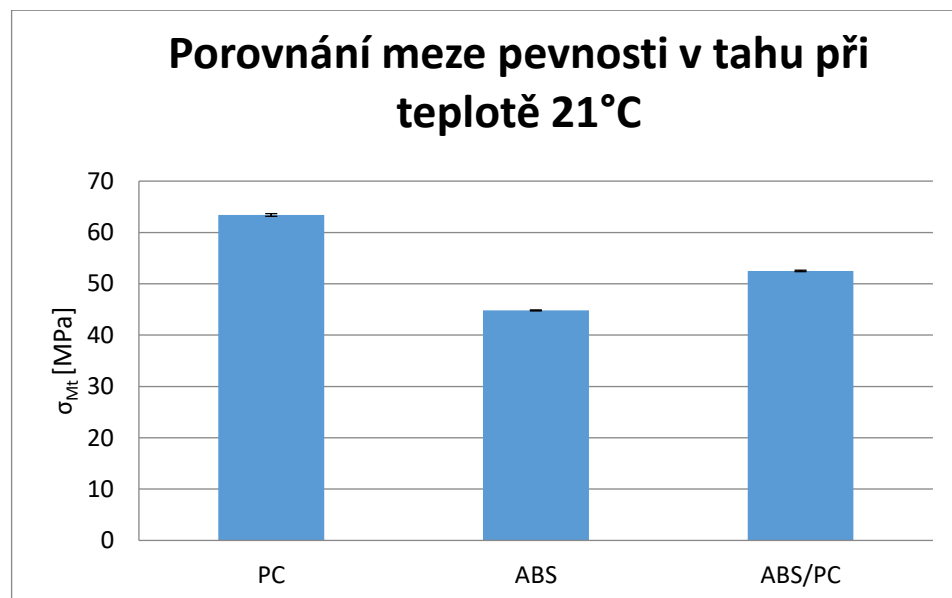
U kombinace materiálů, takzvaný blend PC/ABS, dochází u modulu pružnosti k udržení vlastností do teploty 40 °C. Poté u teploty 60 °C dochází k poklesu o 11 % a u teploty 80 °C až o 21 %, viz Obr 29. Mez pevnosti v tahu je také stejná nebo u některých měření minimálně vyšší, a to do teplot 40 °C. U teploty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

7.2 Porovnání mechanických vlastností termoplastů mezi sebou

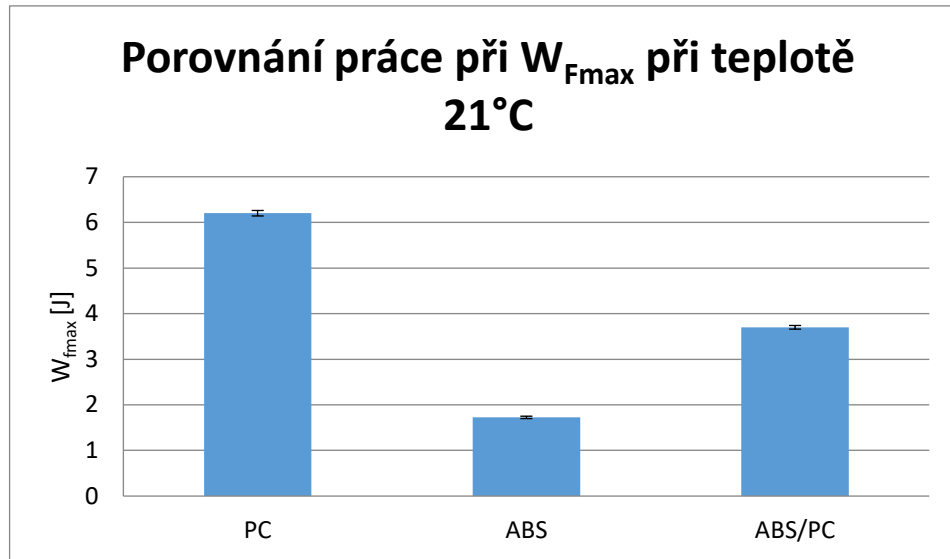
7.2.1 Pro teplotu 21 °C



Obrázek 33 Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 21 °C

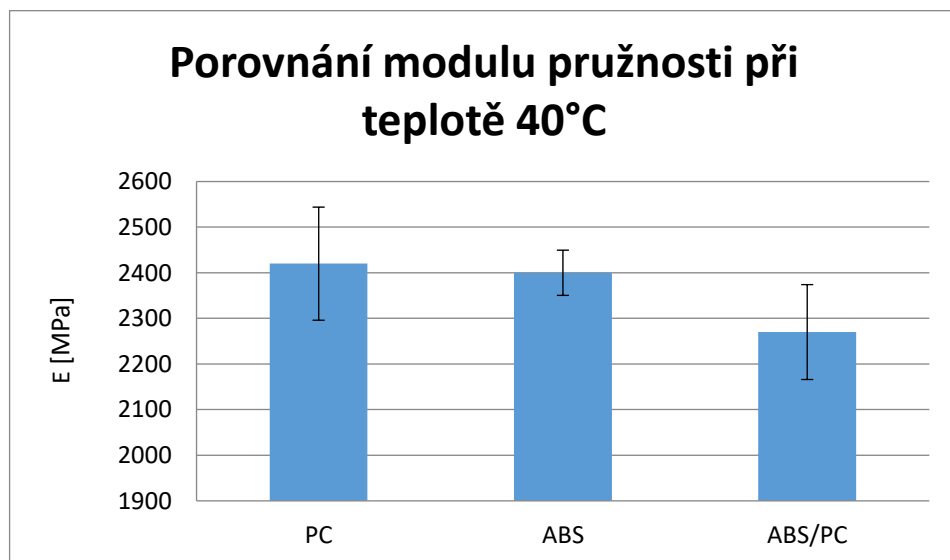


Obrázek 34 Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 21 °C

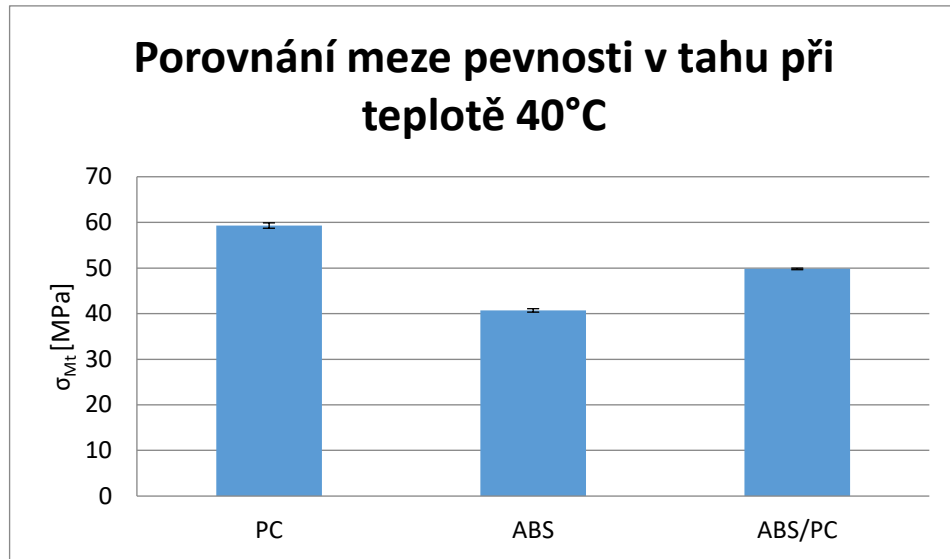
Obrázek 35 Graf porovnání práce při $W_{F_{max}}$ při teplotě 21 °C

Při porovnání materiálů u laboratorní teploty měl materiál PC nejvyšší modul pružnosti, stejně jako mez pevnosti v tahu a také práce při $W_{F_{max}}$. Pro hodnoty modulu pružnosti, mělo ABS lepší hodnoty než kopolymer PC/ABS. U hodnot meze pevnosti v tahu si vedl lépe kopolymer PC/ABS. Hodnota práce při $W_{F_{max}}$ u PC/ABS byla dvojnásobná oproti ABS.

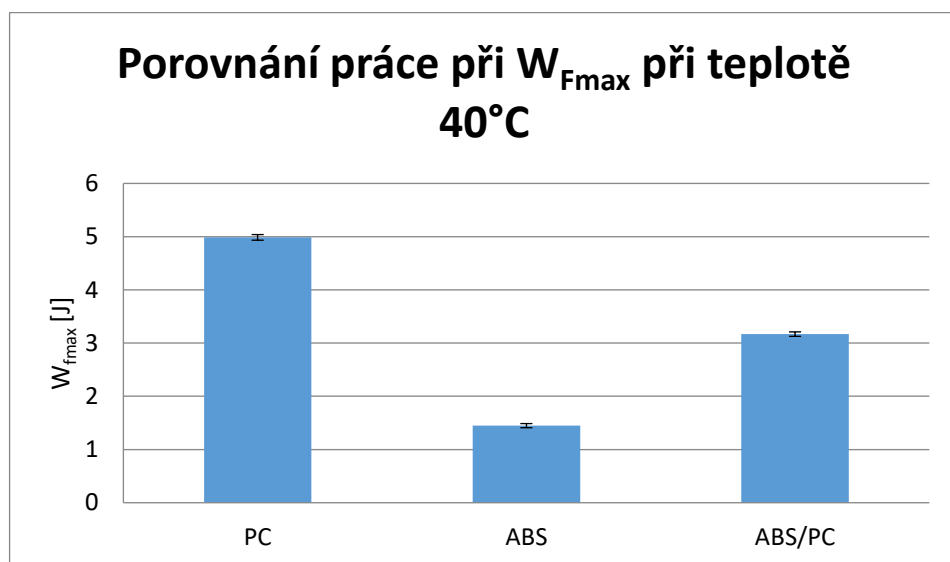
7.2.2 Pro teplotu 40 °C



Obrázek 36 Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 40 °C

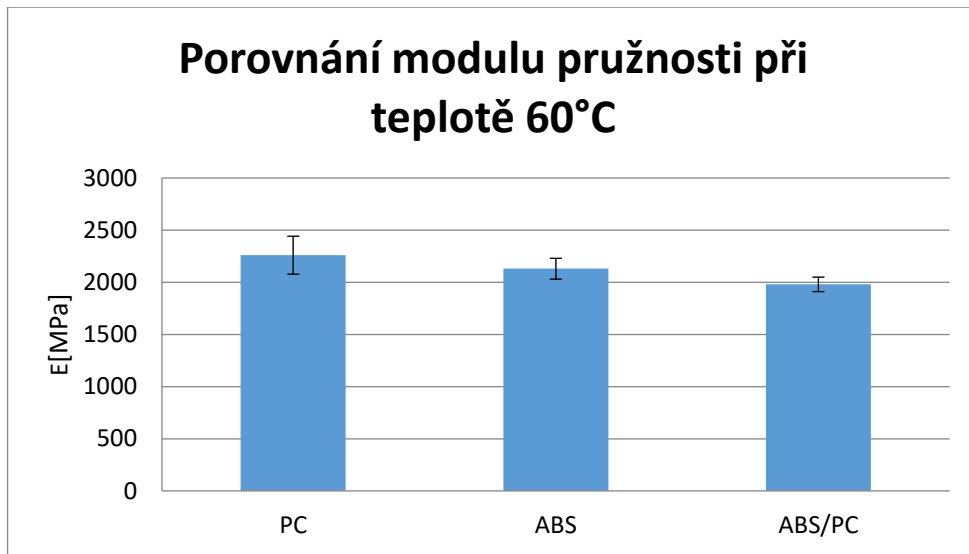


Obrázek 37 Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 40 °C

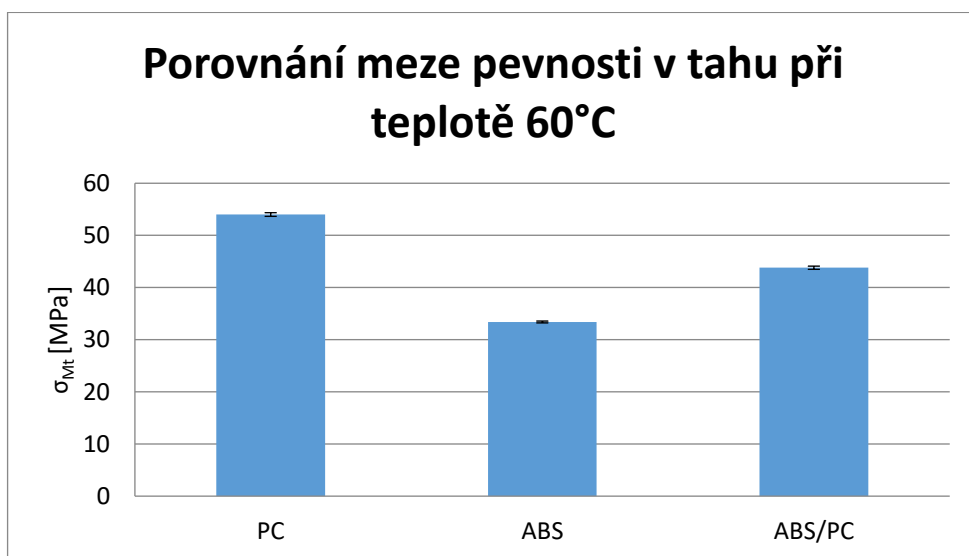
Obrázek 38 Graf porovnání práce při W_{Fmax} při teplotě 40 °C

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

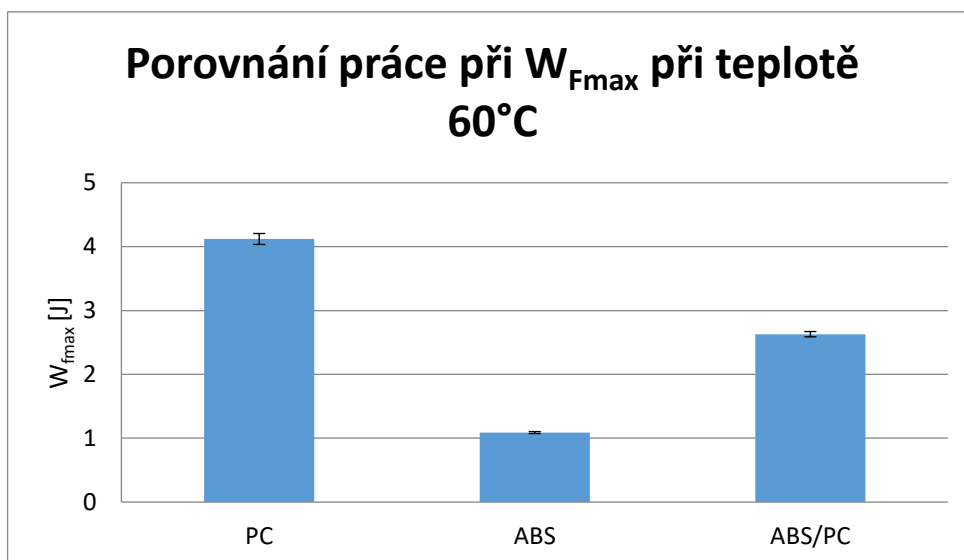
7.2.3 Pro teplotu 60 °C



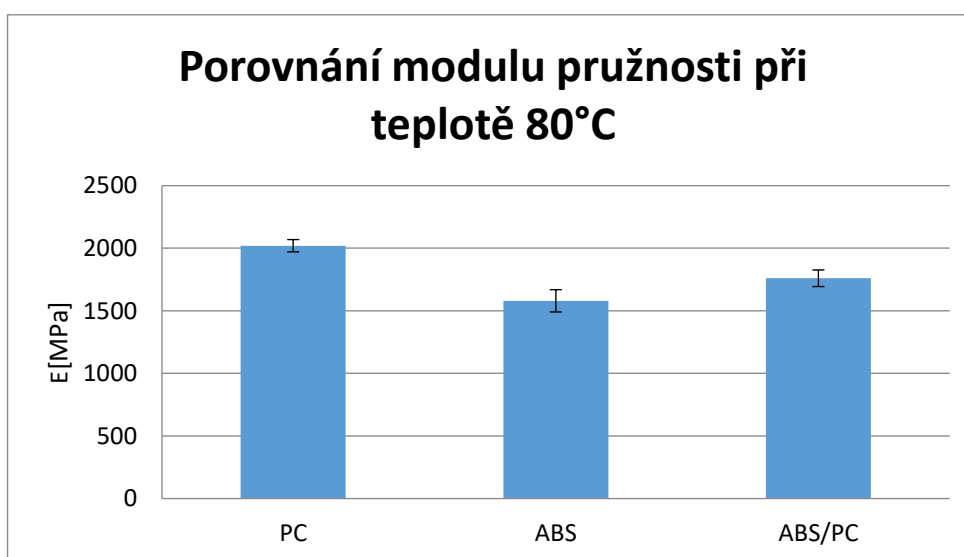
Obrázek 39 Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 60 °C



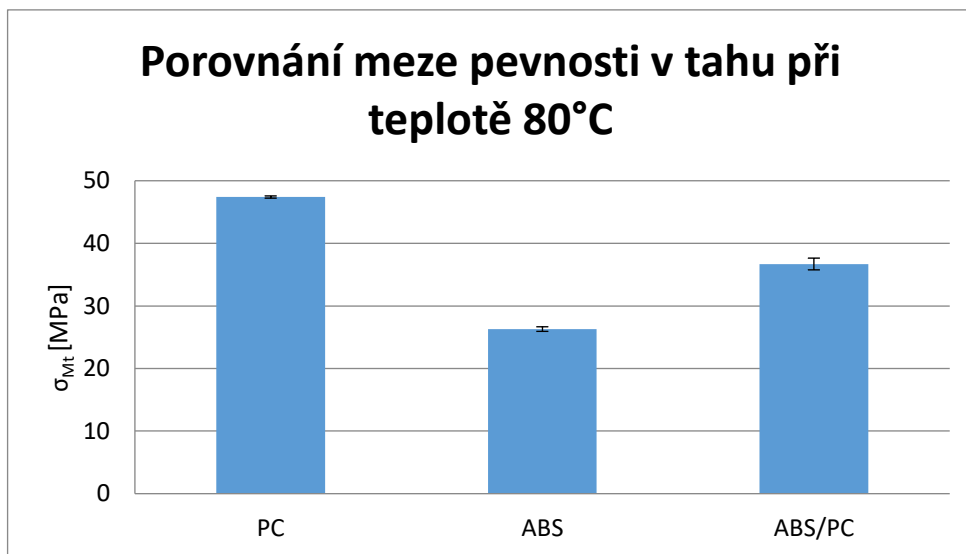
Obrázek 40 Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 60 °C

Obrázek 41 Graf porovnání práce při W_{Fmax} při teplotě 60 °C

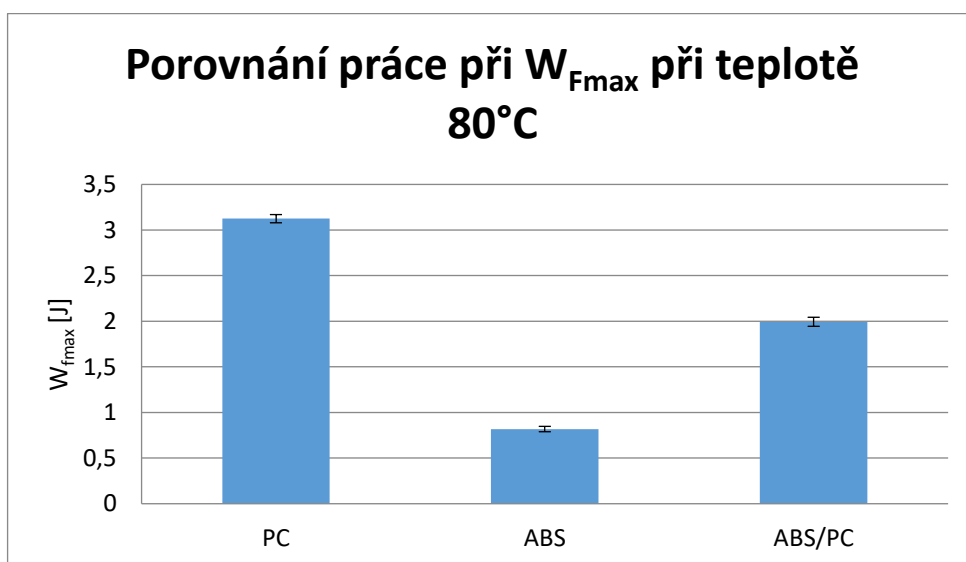
7.2.4 Pro teplotu 80 °C



Obrázek 42 Graf Porovnání modulu pružnosti při teplotě 80 °C



Obrázek 43 Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 80 °C

Obrázek 44 Graf porovnání práce při W_{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. Kopolymer PC/ABS 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 vytvoření zkušebních vzorků PC, ABS a PC/ABS a provedení zkoušky na trhacím stroji dle normy ISO 527-1.

Teoretická část bakalářské práce se věnovala polymerům, jejich rozdělení, použití, a základní charakteristice. V druhé části byly rozebrány termoplasty, na kterých byla provedena tahová zkouška. Dále bylo popsáno základní rozdělení termoplastů a jejich definice. Třetí kapitola se zabývala danými materiály, a to PC, ABS a PC/ABS. Vybrané polymery byly charakterizovány, a také byly uvedeny možnosti jejich 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 bylo možné 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.

V průběhu měření u všech materiálů bylo zjištěno, že materiál si dokáže zachovat modul pružnosti do teploty 40 °C. Pokud se ale materiál zahřeje na teplotu 60 °C, nastane mírný pokles a u teploty 80 °C je již pokles výraznější.

Hodnoty meze pevnosti v tahu s rostoucí teplotou klesají pozvolna. Oproti tomu hodnoty práce při W_{Fmax} klesají rapidněji. U teploty 80 °C můžeme vidět, že hodnoty W_{Fmax} jsou téměř o polovinu menší než hodnoty laboratorní teploty.

Při porovnání materiálů mezi sebou zjišťujeme, že s rostoucí teplotou si modul pružnosti nejlépe udrží PC, ale kopolymer PC/ABS, který má při laboratorní teplotě nejnižší modul pružnosti, si ho dokáže velmi dobře zachovat, a to s rostoucí teplotou. U teploty 80 °C má PC/ABS dokonce vyšší modul pružnosti než samotné ABS.

Při porovnání meze pevnosti v tahu zjišťujeme, že PC má také nejvyšší hodnoty, oproti tomu ABS nejnižší. Avšak jejich kopolymer PC/ABS má trochu nižší hodnoty než samotné PC, ale výrazně lepší, než ABS. U práce při W_{Fmax} má nejvyšší hodnoty opět PC a ABS nejnižší.

Při bližším zkoumání zjišťujeme, že hodnoty kopolymeru PC/ABS jsou výsledky průměru hodnot PC a ABS. Práce ukazuje, že s rostoucí teplotou klesají mechanické vlastnosti, a

proto je důležité při aplikaci s těmito materiály brát ohled na okolní podmínky, nejen na zatížení. A to proto, aby nedocházelo k porušení nebo deformaci materiálů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] 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
- [2] BĚHÁLEK, Luboš, 2015. Polymery [online]. [cit. 2021-03-21]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/eknihy/?book=180-polymery>
- [3] 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>.
- [4] DUCHÁČEK, Vratislav, 2006. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 80-7080-617-.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] JARUŠEK, Jaroslav, 1989. Metody zkoumání polymerů. 2., nezm. vyd. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 80-851-1301-5.
- [8] Katalog: strojní, přístrojové a laboratorní vybavení ÚVI: Měřicí, kontrolní a testovací stroje, měřidla, optické přístroje, snímače, měřící 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/>
- [9] KOTEK, Jiří a Miroslav RAAB. Quo vaditis, polymery? [online]. 2009 [cit. 2021-03-15]. ISSN 1214-4029.
- [10] KŘENEK, Tomáš. Polymerní materiály [online]. In: . s. 51 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/download/Polymery_2010.pdf.

- [11] 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>
- [12] 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.
- [13] MÁČALOVÁ, Zuzana, 2015. Reologické chování polymerů/polymerních směsí ve vztahu k vstříkovaní 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.
- [14] MALLIK, Prashanta, 2008. Polycarbonate Resins. In: BT Polymers [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <http://btpol.com/products-Polycarbonate%20Resins.shtml?fbclid=IwAR1PG5OOHNEcjOPhZ6vOLI667SjCC8JUI1PXIoY1hjmR3Vd3RZiUaznktLQ>.
- [15] 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.
- [16] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK, 2000. Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles. ISBN 80-85920-72-7.
- [17] 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 Molliková.
- [18] 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.

- [19] 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.
- [20] RAAB, Miroslav, 2020. Materiály a člověk: netradiční úvod do současné materiálové vědy. Vydání: druhé. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati. ISBN 978-80-7454-901-4.
- [21] RYBNÍKÁŘ, František et al., 1965. Analýza a zkoušení plastických hmot. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
- [22] ŠENKERŤÍK, 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. Disertační práce. Univerzita Tomáše Bati Fakulta Technologická. Vedoucí práce Ing. Michal Staněk, Ph.D.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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=EHhoakl6cyoC&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.
- [26] XANTHOPOULOS, Pascal, 2019. Selection of Light Stabilizers for Poly-mers. 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>.

[27] ZEMAN, Lubomír, 2009. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 978-80-7300-250-3.

[28] ZHÁNĚLOVÁ, Magdalena, 2010. KAUČUK – přírodní poklad z džun-gle. Gumotex [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.gumotexcluny.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_{Fmax}	Práce stanovená k W_{Fmax} .
W_{break}	Práce celková až do přetržení.
Δl_{Mt}	Prodloužení vzorku.
ε	Poměrné prodloužení.
σ_{Mt}	Mez pevnosti v tahu.

SEZNAM OBRÁZKŮ

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

Obrázek 35 Graf porovnání práce při W_{Fmax} při teplotě 21 °C.....	50
Obrázek 36 Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 40 °C.....	50
Obrázek 37 Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 40 °C.....	51
Obrázek 38 Graf porovnání práce při W_{Fmax} při teplotě 40 °C.....	51
Obrázek 39 Graf porovnání modulu pružnosti při teplotě 60 °C.....	52
Obrázek 40 Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 60 °C.....	52
Obrázek 41 Graf porovnání práce při W_{Fmax} při teplotě 60 °C.....	53
Obrázek 42 Graf Porovnání modulu pružnosti při teplotě 80 °C.....	53
Obrázek 43 Graf porovnání meze pevnosti v tahu při teplotě 80 °C.....	54
Obrázek 44 Graf porovnání práce při W_{Fmax} při teplotě 80 °C.....	54

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Základní parametry vstřikovacího stroje [24].....	29
Tabulka 2 Parametry zkušebního stroje Zwick 1456 [8].....	31
Tabulka 3 Naměřené hodnoty pro PC za laboratorní teploty	32
Tabulka 4 Naměřené hodnoty pro PC za teploty 40 °C.....	33
Tabulka 5 Naměřené hodnoty pro PC za teploty 60 °C.....	34
Tabulka 6 Naměřené hodnoty pro PC za teploty 80 °C.....	35
Tabulka 7 Naměřené hodnoty pro ABS za laboratorní teploty	36
Tabulka 8 Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 40 °C.....	37
Tabulka 9 Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 60 °C.....	38
Tabulka 10 Naměřené hodnoty pro ABS za teploty 80 °C.....	39
Tabulka 11 Naměřené hodnoty pro PC/ABS za laboratorní teploty	40
Tabulka 12 Naměřené hodnoty pro PC/ABS za teploty 40 °C.....	41
Tabulka 13 Naměřené hodnoty pro PC/ABS za teploty 60 °C.....	42
Tabulka 14 Naměřené hodnoty pro PC/ABS za teploty 80 °C.....	43

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST PRO PC/ABS

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST PRO ABS

PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST PRO PC

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST PRO PC/ABS

5.4.13

Vlastnosti Polykarbonát+ABS-blend (PC+ABS) - Datový list od LPM s.r.o.

Polykarbonát+ABS-blend (PC+ABS)

Zpracováváme tyto materiály následujícími postupy:

Extruze.

Extrudované profily podle výkresů a polotovary podle DIN

Obráběné díly.

Soustr. a frézované díly v kusové a sériové výrobě

Výlisky.

Vstřikované funkční díly do hmotnosti 16.000 g

Termoplastické vypěňování(TVP)Vysoce funkční díly a skříně do hmotnosti 16 kg .

Termoformy.

Ve vakuu vytvářené díly do rozměru 2000 x 2000 mm

Číslo materiálu		2271
Hustota	ISO 1183	1,13

Mechanické vlastnosti

Napětí na mezi kluzu	ISO 527	52
Tažnost	ISO 527	>60
E-Modul pružnosti v tahu	ISO 527	2200
Tvrdost podle Brinella	ISO 2039-1	90
Norma pro Tvrdost podle Brinella		H358/30
Izod-vrbová houževnatost při 23 °C	ISO 180/1A	48

Elektrické vlastnosti

Permitivita při 50 Hz	IEC 60250	3
Permitivita při 1 MHz	IEC 60250	3
Dielektrický faktor ztrát při 50 Hz	IEC 60250	30
Dielektrický faktor ztrát při 1 MHz	IEC 60250	85
Průrazová pevnost	IEC 60243-1	35
Síla pro průrazovou pevnost		1
Specifický průrazový odpor	IEC 60093	>10 ¹³
Povrchový odpor	IEC 60093	1,00E+15
Odolnost vůči plazivým proudům CTI	IEC 60112	250

Teplotní vlastnosti

Tepečná vodivost	DIN 52 612	0,2
------------------	------------	-----

Jiné vlastnosti

Nasákavost při norm. podmínkách	ISO 62	0,2	%
Nasákavost při vlhkosti	ISO 62	0,7	%
Chování při hoření podle UL 94	IEC 60695-11-10	HB	-
Síla pro UL 94		0,85	mm
Průsvitnost (průhledný/průsvitný/průhledný)		průhledný	
Surovina		Bayblend T65 (Bayer)	

Tento datový list RIMETA 4.1 je určen pro Vaši osobní potřebu. V těchto datech jsou udány hodnoty.

Tyto hodnoty jsou ovlivněny podmínkami zpracování, Modifikace, přísady materiálů a okolní vlivy neosvobozují uživatele od vlastních zkoušek a pokusů. Jsou sestaveny na základě současných zkušeností a znalostí. Právní závazná ujištění určitých vlastností či způsobilost pro konkrétní účel nasazení nemůže být z našich údajů odvozena.

Další právní ochrana jakož i stávající zákony a ustanovení jsou od příjemce našich výrobků v jeho vlastní zodpovědnosti.

LPM s.r.o.

Technické díly z plastů

Koněvova 536

CZ-506 11 Jičín

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST PRO ABS

MATERIÁLOVÝ LIST

výrobce:
DOW PLASTICS

MAGNUM 3404

ABS

Charakteristika:

Kontinuální proces výroby ABS firmy Dow zaručuje výbornou zpracovatelnost materiálu, který si zachovává velmi světlý natural odstín a tím je ideální pro samobarvení zpracovatelem.

Magnum* 3404 je materiál pro vytlačování a vakuové tvarování s vynikající zpracovatelností. Tento typ kombinuje střední rázovou odolnost se střední tepelnou odolností.

- Aplikace:**
- středně rázově odolné desky
 - koextrudované desky

VLASTNOSTI		NORMA	JEDNOTKA	HODNOTA
Hustota		ISO 1183	kg/m ³	1050
Smrštění			%	0,4-0,7
Index toku taveniny	220°C/10 kg	ISO 1133	g/10 min	6,6
Mechanické				
Vrubová houževnatost IZOD	+23°C	ISO 180/1A	kJ/m ²	19
Vrubová houževnatost IZOD	-30°C	ISO 180/1A	kJ/m ²	11
Vrubová houževnatost Charpy	+23°C	ISO 179/2C	kJ/m ²	13
Vrubová houževnatost Charpy	-30°C	ISO 179/2C	kJ/m ²	8
Vrubová houževnatost Charpy	+23°C	ISO 179/1eA	kJ/m ²	18
Vrubová houževnatost Charpy	-30°C	ISO 179/1eA	kJ/m ²	13
Napětí na mezi kluzu	50 mm/min	ISO 527	MPa	43
Napětí na mezi kluzu	100 mm/min	ISO 527	MPa	45
Prodloužení na mezi kluzu	50 mm/min	ISO 527	%	2,7
Prodloužení na mezi kluzu	100 mm/min	ISO 527	%	2,7
Modul pružnosti v tahu	1 mm/min	ISO 527	MPa	2 150
Pevnost v ohybu	2 mm/min	ISO 178	MPa	70
Modul pružnosti v ohybu, 3 body	2 mm/min	ISO 178	MPa	2 100
Tepelné				
Teplota měknutí Vicat	50°C, 49 N	ISO 306B	°C	102
Teplota průhybu při zatížení	1,82 MPa	ISO 75-1	°C	101
Hořlavost				
Horizontální hoření	1,5 mm	UL 94		HB
Horizontální hoření	3 mm	UL 94		HB
Rychlost horizontálního hoření	2 mm stěna	ISO 3795	mm/min	50

Poznámka:

Tyto hodnoty jsou prezentovány jako průměrné laboratorně změřené hodnoty materiálů. Jsou určeny pouze jako informativní hodnoty a ne jako prodejní specifikace. Nedílnou součástí tohoto překladu materiálového listu je originální materiálový list firmy Dow, který je v případě odlišností směrodatný.

* Obchodní značka The Dow Chemical Company

PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST PRO PC

Technická data

Vlastnosti	Podmínky	Hodnoty	Jednotky	Normy
Hustota	–	1200	Kg/m ³	ISO 1183-1
Absorpce vlhkosti při skladování ve vodě	teplota 23°C	0,3	%	ISO 62
Absorpce vlhkosti v norm. prostředí	teplota 23 °C 50% vlhkost	0,12	%	ISO 62
Index lomu	Metoda A	1,587	–	ISO 489
Modul pružnosti	1 mm/min	2350	MPa	ISO 527-1,-2
Napětí při roztažení	50 mm/min	> 60	MPa	ISO 527-1,-2
Prodloužení při roztažení	50 mm/min	6	%	ISO 527-1,-2
Prodloužení při přetržení	50 mm/min	> 50	%	ISO 527-1,-2
Ohybový modul	2 mm/min	2350	MPa	ISO 178
Pevnost v ohybu	2 mm/min	90	MPa	ISO 178
Odolnost proti oděru	Δ zamlžení po 100 cyklech (500g CS 10F)	1–4	%	ASTM D1044 a ANSI Z26,1
	po 500 cyklech	4–9	%	
Teplota měknutí dle Vicata	50 N, 50 °C/h	148	°C	ISO 306
Tepelná vodivost	23 °C	0,2	W(m.K)	ISO 8302
Lineární tepelná roztažnost	23 až 55 °C	0,65	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359-1,-2
Teplota průhybu při zatížení	1,80 Mpa	128	°C	ISO 75-1, -2
Teplota průhybu při zatížení	0,45 Mpa	140	°C	ISO 75-1, -2