

Vliv regranulátu na výsledný produkt

Bc. Tomáš Jankových

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš JANKOVÝCH**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Vliv použití regranulátu na výsledný produkt**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte rešerži na dané téma**
- 2. Připravte zkušební tělesa**
- 3. Provedte a vyhodnoťte zkoušky mechanických vlastností**
- 4. Provedte a vyhodnoťte zkoušky tokových vlastností**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **19. února 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2010**

Ve Zlíně dne 19. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 19. 5. 2010

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce byla zadána firmou HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. a zabývá se zjištěním vlivu regranulátu na vlastnosti výrobku. Zkoumaný materiál: polykarbonát (PC - HT). Práce je rozdělena na dvě velké části a to část teoretickou a praktickou. Teoretická část popisuje základy teorie vstřikování, vlastnosti, použití polykarbonátu, přípravu regranulátu a materiálové zkoušky. Praktická část obsahuje výsledky materiálových zkoušek.

Polykarbonát, regranulát, materiálové zkoušky

ABSTRACT

This thesis was awarded by HELLA AUTOTECHNIK NOVA Ltd. and focuses on the findings of granulate impact on product properties. Surveyed material: polycarbonate (PC - HT). The thesis is divided into two major parts of a theoretical and practical. Theoretically describes the basic theory of injection characteristics, the use of polycarbonate granulate preparation and material testing. The practical part contains the results of material tests, check.

Keywords: Polycarbonate, regranulate, material tests

Poděkování, moto:

Děkuji vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Miroslavu Maňasovi, CSc., Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. a Ing., Bc. Petru Mlejnekovi za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady, za čas a pozornost, kterou mi věnovali při vypracování diplomové práce.

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

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně 19. 5. 2010

.....

Tomáš Jankových

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.1 PŘÍPRAVA PLASTŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM.....	13
1.1.1 Vstupní kontrola.....	13
1.1.2 Sušení polymerů.....	13
1.1.3 Barvení polymerů.....	14
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	14
1.2.1 Vstřikovací jednotka.....	15
1.2.2 Uzavírací jednotka.....	15
1.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	16
1.4 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	17
1.4.1 Schéma vstřikovací formy.....	17
2 POLYKARBONÁTY (PC)	18
2.1 VÝROBA.....	18
2.2 VLASTNOSTI.....	19
2.3 ZPŮSOBY ZPRACOVÁNÍ.....	20
2.4 PŘÍKLADY APLIKACE POLYKARBONÁTU:.....	21
2.4.1 Elektrotechnika.....	21
2.4.2 Strojírenství.....	21
2.4.3 Chemické zařízení:.....	21
2.4.4 Domácí potřeby:.....	21
2.4.5 Medicína.....	22
3 REGRANULÁT	23
3.1 ZPRACOVÁNÍ REGRANULÁTU.....	23
3.2 DRTIČE A MLÝNY.....	23
3.2.1 Nožové mlýny.....	23
3.2.2 Tlukadlové a kladivové mlýny.....	25
3.3 GRANULOVACÍ STROJE.....	26
3.3.1 Granulace pásů.....	26
3.3.2 Granulace strun.....	27
3.3.3 Granulace na hlavě.....	29
4 MATERIÁLOVÉ ZKOUŠKY	31
4.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	31
4.2 DRUHY ZKOUŠEK MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLU.....	31
4.2.1 Statické zkoušky.....	31
4.2.2 Dynamické zkoušky rázové.....	31
4.2.3 Zkoušky za normálních, vysokých a nízkých teplot.....	31
4.3 ZKOUŠKA TAHEM.....	32
4.3.1 Pevnost v tahu.....	32
4.3.2 Poměrné prodloužení.....	33
4.3.3 Tažnost.....	33

4.3.4	Kontrakce	33
4.3.5	Pevnost v kluzu	33
4.3.6	Pracovní diagram	33
4.3.7	Deformace polymerů.....	36
4.4	ZKOUŠKA TLAKEM	36
4.4.1	Průběh tlakové deformace.....	37
4.4.2	Měřené veličiny.....	37
4.5	ZKOUŠKA RÁZEM	38
4.6	ZKOUŠKY ZA VYŠŠÍCH TEPLŮT	39
4.7	ZKOUŠKY ZA NÍZKÝCH TEPLŮT.....	39
4.8	REOLOGICKÉ ZKOUŠKY	40
4.8.1	Index toku taveniny.....	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST	43
5	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	44
6	POUŽITÉ STROJE, ZAŘÍZENÍ A SOFTWARE:.....	45
6.1	SUŠÍCÍ ZAŘÍZENÍ ARBURG THERMOLIFT 100-2	45
6.2	VSTŘIKOVACÍ STROJ ARBURG ALLROUNDER 420C.....	46
6.3	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ ZWICK ROELL 1456	47
6.4	UNIVERZÁLNÍ FRÉZKA FHV-50PD	49
6.5	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ RESIL IMPACTOR JUNIOR	50
6.6	VÝTLAČNÝ PLASTOMETR DYNISCO KAYENESS LMI 4003	51
6.7	SOFTWARE MICROSOFT EXCEL	52
6.8	SOFTWARE MICROSOFT WORD	52
7	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	53
8	NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY	55
8.1	MECHANICKÉ ZKOUŠKY	55
8.1.1	Zkouška jednoosým tahem.....	55
8.1.2	Zkouška jednoosým tlakem.....	70
8.1.3	Rázová houževnatost Charpy	85
8.2	REOLOGICKÉ ZKOUŠKY	99
8.2.1	Zkouška indexu toku taveniny (ITT)	99
8.2.2	Spirálová zkouška	102
8.3	TEST ZMETKOVITOSTI.....	104
9	DISKUZE VÝSLEDKŮ	106
9.1	ZKOUŠKA TAHEM	106
9.1.1	Nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty.....	106
9.2	ZKOUŠKA TLAKEM	106
9.2.1	Nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty.....	107
9.3	ZKOUŠKA RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI CHARPY	107
9.4	ZKOUŠKA ITT	107
9.5	SPIRÁLOVÁ ZKOUŠKA.....	108
9.6	TEST ZMETKOVITOSTI.....	108
ZÁVĚR	109	

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	110
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	112
SEZNAM OBRÁZKŮ	113
SEZNAM TABULEK.....	116
SEZNAM PŘÍLOH.....	119

ÚVOD

Vstřikování do forem se za několik posledních desetiletí stalo velmi populární technologií na zpracování plastů. Dovoluje velmi rychlou a precizní výrobu různých polymerních výrobků nejen pro každodenní život, ale také pro specializovaná použití.

Vstřikováním se vyrábějí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku a nebo jsou polotovary pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Technologie vstřikování je nejrozšířenější technologií na zpracování plastů, je to proces diskontinuální, cyklický. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. V omezené míře se vstřikují i některé reaktoplasty a kaučuky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny kovové formy, kde ztuhne ve finální výrobek. [3], [15]

1.1 Příprava plastů před vstřikováním

Polymery pro vstřikování se dodávají zpravidla ve formě granulátů v pytlích nebo ve velkoobjemových nádržích nákladních aut, odtud se čerpají do sil.

Před zpracováním plastů se materiál upravuje v souladu s technologickým postupem, určený na konkrétní výrobek. Obvykle to bývá vstupní kontrola, sušení granulátu, barvení, míchání s nadouvadlem apod. [1], [3], [15]

1.1.1 Vstupní kontrola

Vstupní kontrola se používá hlavně pro omezení zpracovatelských i aplikačních potíží a je dále rozdělena na vstupní hodnocení nových typů plastů a kontrolní přejímku běžně nakupovaných plastů uskutečňovanou na základě smluvně stanovených norem (technické dodací podmínky, materiálové listy).

Vstupní kontrola stanoví:

- chemicko-analytické složení (obsahy nízkomolekulárních podílů mol. hmotnost apod.),
- fyzikálních a mechanických vlastností (viskozita, tepelné, elektrické, optické vlastnosti),
- mechanické vlastnosti (pevnost tažnost ..),
- ostatní hodnocení – vizuální vliv prostředí... [3], [15]

1.1.2 Sušení polymerů

Většina termoplastických materiálů absorbuje vlhkost ze vzduchu. To i při běžných zpracovatelských teplotách může vyvolat degradaci polymeru a tím i snížení kvality některých parametrů a také zhoršení kvality povrchu.

Granulované plasty se dodávají buď vysušené ve vzduchotěsných obalech nebo nevysušené v papírových nebo plastových pytlích. Vysušené plasty se obvykle zpracovávají hned a nevysušené je třeba vysušit (některé plasty se nemusejí předsoušet).

K sušení se používají sušárny s přirozeně cirkulujícím vzduchem, kde vrstva granulátu je na paletách. Po sušící operaci je nutno materiál zpracovat asi do 30 minut (pokud není součástí vstřikovacího stroje sušička s možností dopravy). [1], [15]

1.1.3 Barvení polymerů

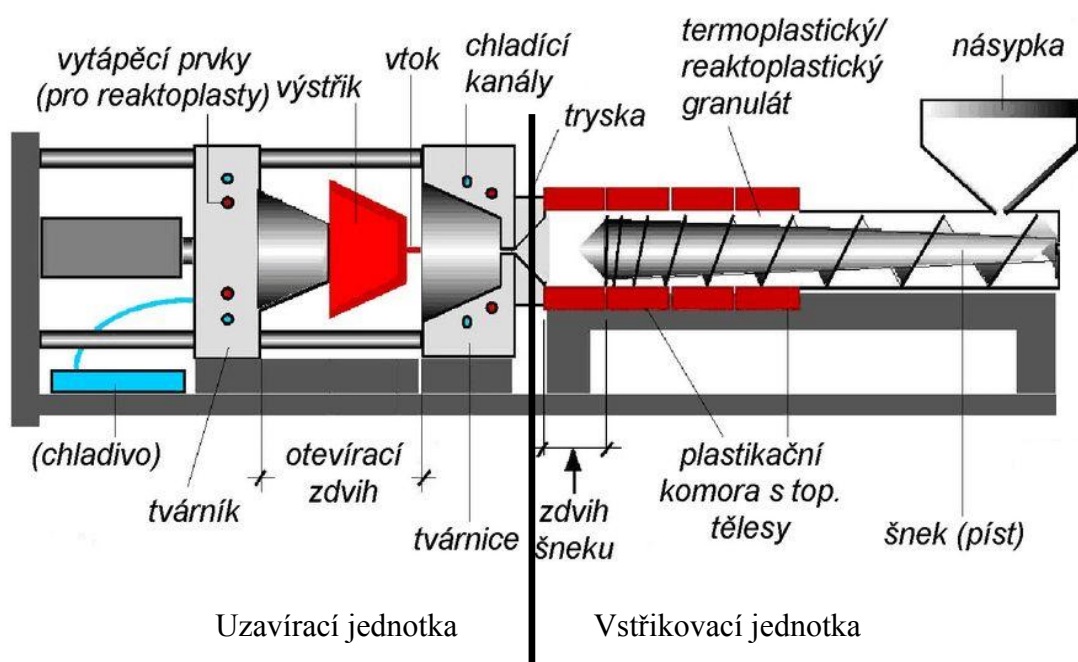
Granulát se barví z důvodu dosažení potřebného odstínu výrobku. Některé druhy odstínů lze přímo objednat u dodavatele. Jestliže výrobce nedodává požadovaný odstín je možnost dobarvení granulátu pomocí barvicích příměsí.

Vlastní barvení se provádí buď na dávkovacím zařízení přímo na vstřikovacím stroji nebo se granulát vybarvuje před vstřikováním. Po obarvení se granulát zpracovává běžným způsobem. Je nutno podotknout, že barviva částečně ovlivňují kvalitativní a zpracovatelské vlastnosti polymeru. [1], [15]

1.2 Vstřikovací stroj

Ve vstřikovacím stroji dochází k plastikaci granulovaného materiálu a k jeho následnému dopravení do dutiny formy. Z funkčního hlediska se dělí na tři části:

- vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka,
- ovládání a řízení stroje.



Obr. 1 Schéma vstřikovacího stroje [4], [15]

1.2.1 Vstříkovací jednotka

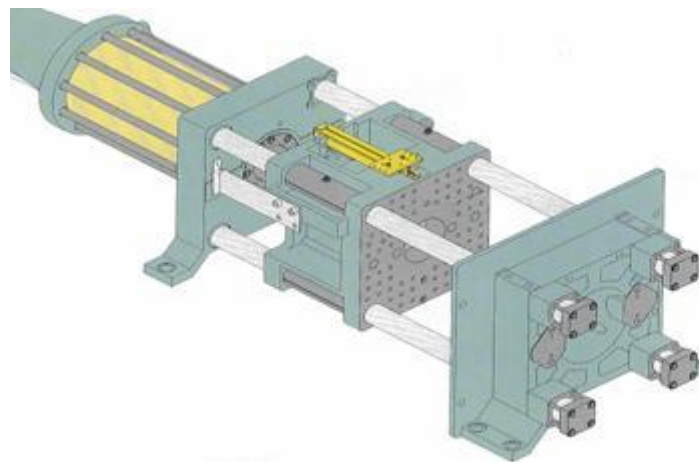
Připraví a dopraví požadované množství roztaveného plastu do formy. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstříkovací jednotky při jednom zdvihu. Při malém vstříkovacím množství zase setrvává plast ve vstříkovací jednotce delší dobu a tím může dojít k degradaci materiálu. Optimální množství předplastikovaného materiálu při maximálním vstříkovaném množství je 80 %.

Vstříkovací jednotka pracuje tak, že do tavného válce je dopravován zpracovaný plast z násypky pohybem šneku. Plast je posouván šnekem přes vstupní, přechodové a výstupní pásma. Postupně dochází k plastikaci, homogenizaci a hromadění materiálu před šnekem. Ocelový šnek se během plastikace otáčí a zároveň je odtlačován do zadní polohy.

Tavná komora je zakončena vyhřívanou tryskou, která spojuje vstříkovací jednotku s formou. Tryska je zakončena kulovou plochou, která umožňuje přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy. [1], [15]

1.2.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zavírat a otevírat formu dle procesu vstříkování a zajistit uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela.



Obr. 2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí: opěrné desky pevně spojené s ložem stroje, pohyblivé desky, na kterou je upnuta pohyblivá část formy, upínací desky s otvorem pro trysku stroje, na kterou se připevní nepohyblivá část vstříkovací formy, vedení pro pohyblivou desku, z uzavíracího a přidržovacího mechanismu. Vstříkovací stroje používají

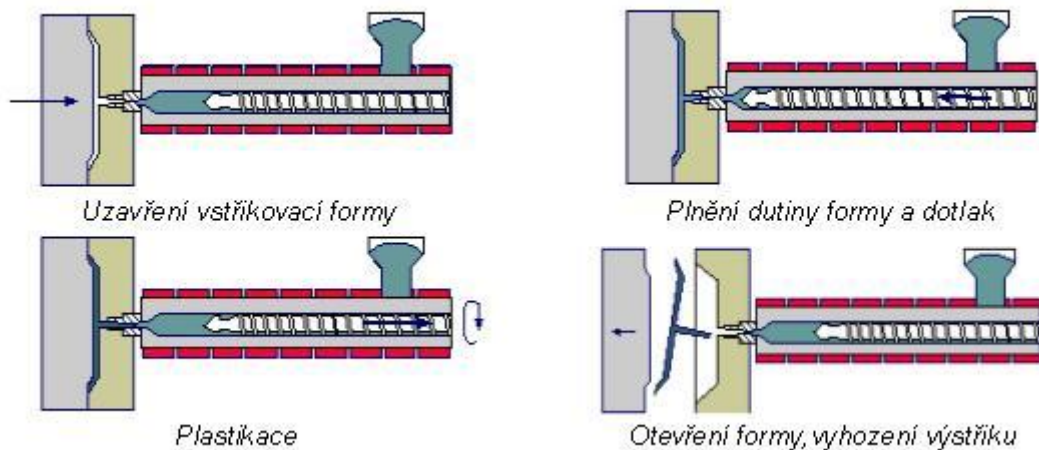
v současné době různé uzavírací systémy, které např. mohou být konstruovány jako hydraulické, mechanické, kombinace hydraulického a mechanického způsobu (závorování) a v poslední době se používají i elektrické systémy. [4], [15]

1.3 Vstřikovací cyklus

Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu, pohyblivá část formy se přisune k pevné, forma se zavře a dojde k uzamknutí uzavírací jednotky (na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisouvací síla, zatímco na uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu, která může být až třikrát vyšší, neboť musí být zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování neotevře). Následuje pohyb šneku v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené polymerní taveniny do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a vlastně plní funkci pístu. Po naplnění formy je tavenina v dutině ještě stlačena a tlak dosáhne maximální hodnoty.

Jakmile tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. Doba chlazení je závislá na teplotě formy a tloušťce stěny výrobku. Během chlazení se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem, aby se na výstřiku netvořily propadliny a staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy – dotlak. Aby bylo možné dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu, na který bude šnek působit svým čelem. Tento objem nesmí být moc velký, aby nedocházelo k tepelné degradaci polymerní taveniny. [4], [15]

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu. Šnek se začne otáčet, pod násypkou, nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak nebo-li zpětný tlak. Ohřev plastu během plastikace se děje jednak převodem tepla ze stěn válce, jednak frikčním teplem, které vzniká třením plastu o stěny komory a o povrch šneku a dále přeměnou hnětací práce šneku v teplo. [4], [15]

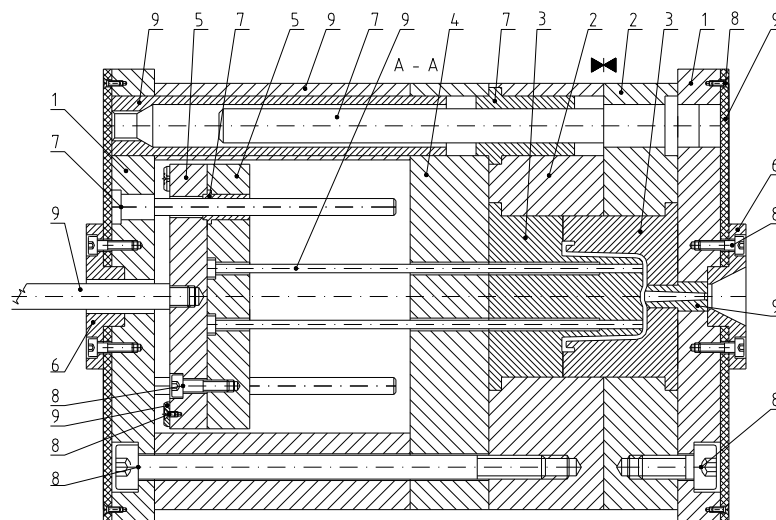


Obr. 3 Vstříkovací cyklus [4], [15]

1.4 Vstříkovací forma

Vstříkovací forma je nástroj, jež je používán na vstříkovacím stroji. V dutině této formy pak vzniká požadovaný výrobek z polymerní hmoty. V dnešní době jsou na tyto nástroje kladeny vysoké nároky z hlediska produktivity, kvality, spolehlivosti a automatizace výroby. Výroba forem je náročná na konstrukci, výrobu, odborné znalosti, ale i na finanční náklady. [1], [15]

1.4.1 Schéma vstříkovací formy

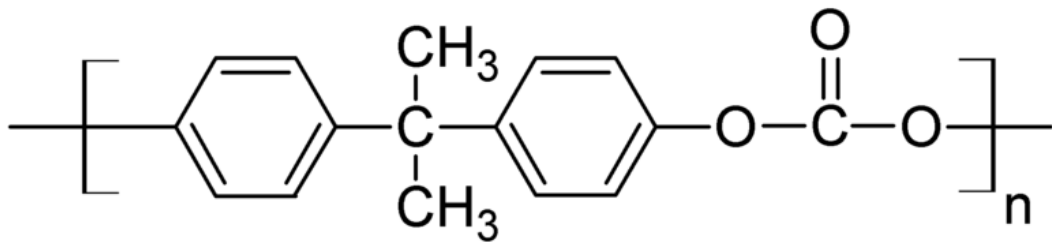


1 upínací desky, 2 kotevní desky, 3 tvarové vložky, 4 opěrná deska, 5 vyhazovací desky,

6 tředící kroužky, 7 vodící součásti, 8 spojovací součásti, 9 další součásti

Obr. 4 Schéma vstříkovací formy [3], [15]

2 POLYKARBONÁTY (PC)



Obr. 5 Chemický vzorec PC

Polykarbonáty jsou lineární estery kyseliny uhličitě. Patří k termoplastům a svými vlastnostmi se velmi blíží mechanickým vlastnostem barevných kovů. Vynikajících vlastností dosahují zejména typy vyztužené sklem, ale i bez vyztužení jsou polykarbonáty vynikajícími materiály. [9]

První zprávy v literatuře o těchto materiálech jsou z roku 1956. Je možné říci, že za poměrně krátký čas se dostaly mezi materiály vrcholné úrovně. Za skutečný počátek výzkumu v této oblasti je možné považovat v NRS a USA v roce 1953. V roce 1957 už byli známé první dva komerční výrobky *Makrolon* (NRS) a *Lexan* (USA). [8]

2.1 Výroba

V praxi se polykarbonáty vyrábí z dioxyfenylalkánů (všeobecně z aromatických dioxysloučenin), přičemž podle alkánových řetězců se určuje typ polykarbonátu. [8]

Jeden z nejznámějších typů polykarbonátů Makrolon se vyrábí z diánu (dioxydifenypropan), který se nechá reagovat s fosgenem a nebo estery kyseliny uhličitě. Reakce probíhá při 20 až 30 °C v alkalickém prostředí v přítomnosti rozpouštědla polymeru, například metylchloridu. [8]

Získaný polymer má relativní molekulovou hmotnost 25 000 až 70 000. Důležité jsou podíly nad 33 000. Polymery okolo 200 000, které lze také vyrobit, už mají dost nízkou teplotu. [8]

2.2 Vlastnosti

Polykarbonáty jsou materiály s určitým krystalickým podílem, výbornou zpracovatelností a mimořádně dobrými fyzikálními vlastnostmi. [8]

Krystalický podíl je relativně malý. Jsou rozpustné v ketonech, esterech a chlorovaných uhlovodících. V éterech a aromátech bobtnají. Mají vysokou odolnost proti zředěným kyselinám. Vyšší koncentrace alkálií, amoniaku a aminů způsobují zmydlování. (Reakce s jinými látkami mají charakter reakcí esterů.) [8]

Polykarbonáty jsou zbarveny lehce do žluta a jsou velmi transparentní. Propouští přes 90% světla ve viditelné oblasti. Jsou samozhášivé s teplotou vzplanutí přesahující 500 °C. Pro použití v medicíně je důležité, že jsou bez chuti, vůně a jsou netoxické. [8]

Polykarbonáty velmi málo vlhnou a je možné je sterilizovat přehřátou parou při 120°C. Při těchto podmínkách se však mohou slabě zhydrolyzovat. [8]

Vstříkované výrobky snáší krátkodobý var ve vodě beze změny, ale není doporučováno je používat trvale ve vařící vodě a ani při 95% relativní vlhkosti a teplotách nad 60°C.

Pro polykarbonáty je charakteristická vysoká odolnost proti vyšším, ale i velmi nízkým teplotám. [8]

Tab. 1 Některé charakteristické hodnoty PC

Některé charakteristické hodnoty	
Teplota tavení	222 až 230°C
Teplota křehnutí	nižší než -100°C
Maximální pracovní teplota (za sucha)	135 až 137°C
Koeficient teplotní roztažnosti (mezi 25 až 85°C)	$6 \cdot 10^{-5}$

Mechanickými vlastnostmi paří polykarbonáty k nejlepším typům plastů. [8]

Polykarbonáty jsou zajímavé tím, že jsou velmi tvrdé, pevné a zároveň houževnaté a pružné. Jejich mechanické vlastnosti lze podstatně zlepšit přidáním skelných vláken. [8]

Z jiných fyzikálních vlastností polykarbonátů je důležitá velmi dobrá odolnost proti stárnutí, velmi nízká absorpce vlhkosti a relativně nízká propustnost plynů a par. [8]

2.3 Způsoby zpracování

Polykarbonáty mají velmi dobrou zpracovatelnost. Nejčastěji se zpracovávají vstřikováním, vytlačováním a vyfukováním. Litím roztoku se dají vyrobit velmi tenké fólie, ale tento způsob se běžně nevyužívá. Při výrobě fólií bývá upřednostňována technologie vyfukováním do rukávu. [8]

Vstřikování se provádí na běžných vstřikovacích strojích při zvýšených teplotách (240 až 250°C). Při vstřikování výrobků je vstřikovací tlak volen mezi 105 až 140 MPa. Teploty forem při vstřikování neklesají pod 70°C a to z důvodu snížení zamrzání napětí ve výrobcích. U výsledných výrobků bývá smrštění mezi 0,7 až 0,8%. [8]

Při vytlačování je užíváno běžných vytlačovacích strojů se šneky 15D (patnácti násobek průměru šneku) a kompresních poměrů 1:24. Šneky mívají jednoduchý závitový profil. Rozsah vyhřívání a tepelné kontroly bývá do 350°C. [8]

Tyto základní podmínky bývají vhodné i pro technologii vyfukování, především dutých těles a nádob. Při vyfukování je více důležité dbát na výkonné chlazení forem než při jiných způsobech zpracování. [8]

Polykarbonáty je nutné vysušit před zpracováním (pokud nebyl materiál zabalen ve vzduchotěsném balení). Při 110°C trvá sušení 4 hodiny. Při zpracování nevysušeného materiálu vznikají nekvalitní výrobky. [8]

Výrobky z polykarbonátů se dají velmi dobře lepit a svařovat. Svařování se nejčastěji provádí horkým vzduchem a lepení je prováděno pomocí epoxidů nebo rozpouštědel. [8]

Polykarbonáty se využívají na aplikace, kde je vyžadována přesnost, tvarová stálost, odolnost, vysoké hodnoty mechanických a elektrických vlastností, dobrý povrchový vzhled a průhlednost, ve speciálních případech i při velmi nízkých teplotách. [8]

Z důvodu vysoké ceny polykarbonátů se tento materiál užívá pro velmi náročné aplikace. V případech vysokého mechanického zatížení se využívají materiály plněné skelnými vlákny. [8]

2.4 Příklady aplikace polykarbonátu:

2.4.1 Elektrotechnika

Drážková izolace, cívky, kondenzátory, kontaktní lišty, spínače, rámy na selenové články, speciální kabelové koncovky a spojky. [8]



Obr. 6 Elektrotechnika - výrobky z PC

2.4.2 Strojírenství

Cívky na textilní stroje, řemeničky, šňůry, autodíly, mechanické funkční součástky, ozdobné části, osvětlovací tělesa. [8]



Obr. 7 Strojírenství - výrobky z PC

2.4.3 Chemické zařízení:

Části potrubí, ventily a kohoutky, těsnění, části chemických aparatur, speciální chemické nádoby. [8]

2.4.4 Domácí potřeby:

Části elektrospotřebičů jako jsou vysoušeče vlasů, kávovary, mlýnečky, mixéry apod., rybářské náčiní, náročné hračky, rýsovací pomůcky (pravítky, úhlooměry apod). [8]



Obr. 8 Domácí potřeby - výrobky z PC

2.4.5 Medicína

Polykarbonáty se jako jeden z mála druhů plastů uplatňují i v medicíně, zejména v chirurgické oblasti, kde je důležitá jejich indiferentnost vůči organismu, schopnost sterilizace apod. Dále je tohoto materiálu využito na injekční stříkačky, části lékařských přístrojů, obaly různých sond a podobně. [8]



Obr. 9 Medicína - výrobky z PC

Často jsou používány i ve farmacii, kosmetice, obalové technice a dalších aplikacích. [8]

3 REGRANULÁT

Vadné výstřiky, odpady a vtoky vzniklé při vstřikování se mohou několikrát zpracovávat. Tato vlastnost se velmi často využívá, protože podíl odpadu, hlavně při výrobě malých výstřiků, je značný. Proto se neznečištěný plastový odpad seká a drtí. Takto upravený materiál se granuluje a míchá s čistým granulátem a je opět zpracováván. Přitom obvykle nedochází ke snížení fyzikálně-mechanických vlastností i povrchového vzhledu. Míra snížení závisí na velikosti podílu drceného odpadu v původním granulátu. Transparentní a silně namáhané plasty se míchat nemohou. Nesplnily by požadované vlastnosti. [9]

Při 15 - 30% množství odpadu v granulátu se mohou vyrábět výstřiky bez podstatného vlivu na jeho vlastnosti. S rostoucím množstvím odpadu plasty, materiálové vlastnosti dále klesají. V některých případech (u nenáročných výstřiků) se vyrábí dílce i ze 100 % odpadu. [9]

3.1 Zpracování regranulátu

Při zpracování polymerních materiálů se často setkáváme s jejich dělením. Volba příslušného zařízení závisí jak na vlastnostech děleného materiálu, tak také na požadavcích kladených na připravovaný produkt. [9]

Mezi nejrozšířenější zařízení pro přípravu regranulátu slouží následující zařízení. [9]

3.2 Drtiče a mlýny

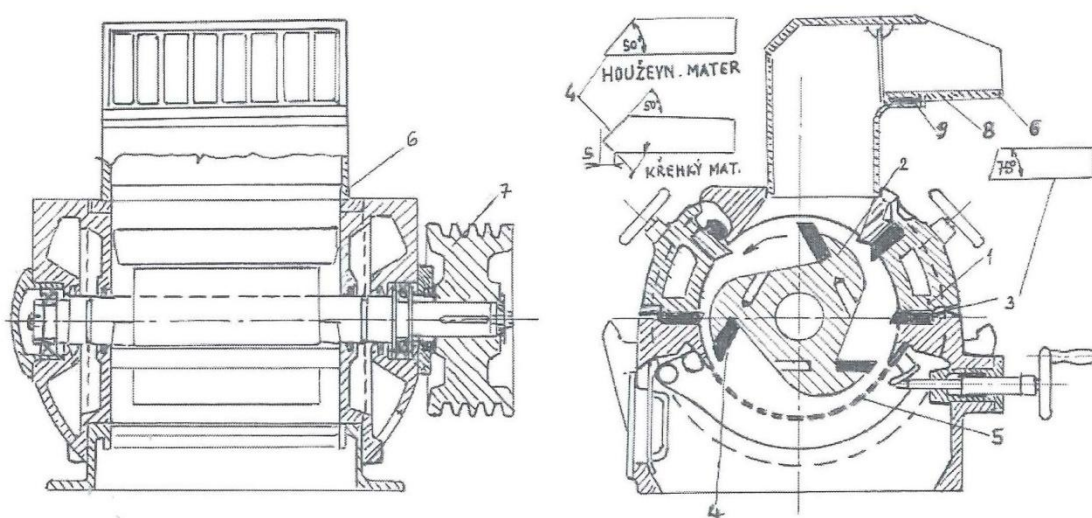
Dělení materiálu na nepravidelné částice se zpravidla označuje jako drcení a mletí. Použitá zařízení jsou pak drtiče a mlýny. [9]

Drtiče a mlýny se používají k rozměňování kusových nebo sypkých materiálů. Velikost částic je při tom nahodilá a charakterizuje se distribuční křivkou. Rozměr částic lze zmenšit působením tlaku, řezu nebo tření, případně jejich vzájemnými kombinacemi. Účinek sil může být klidný nebo nárazový. Podle toho bylo vyvinuto mnoho různých typů drtičů a mlýnů. [9]

3.2.1 Nožové mlýny

Nožové mlýny rozměňují materiál převážně řezným účinkem mlecích nástrojů. Schéma nožového mlýna ukazuje obrázku 10. V mlecím prostoru se otáčí rotor 2, na kterém jsou upevněny nože 4. Ve skříni 1 jsou upevněny satorové nože 3. Jejich počet i rozložení musí

být voleny tak, aby řez proti nožům rotoru nenastával současně po celé délce. Obvodová rychlost bývá $10-15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a poměr $L : D$ asi 2:1. Někdy je rotor sestaven z několika částí, které jsou na hřídeli proti sobě pootočený, aby řez nenastával v celé délce rotoru najednou. Rezné úhly na nožích se mění podle druhu zpracovávaného materiálu. Mlecí prostor ve spodní části skříň 1 je omezen roštem 5 nebo děrovaným plechem. Volbou světlosti, otvorů se reguluje jemnost mletí. Rošt je lehce odklopný. Materiál vstupuje do mlecího prostoru prodlouženou násypkou, která je přístupná z boku přes zpětný závěs 8. Před závěsem bývá magnetický odlučovač kovů 9. Pohon rotoru je odvozen od elektromotoru klínovými řemeny, které představují pružný článek při nárazovém přenosu krouticího momentu. [9]



Obr. 10 Nožový mlýn

1 skříň, 2 rotor, 3 statorový nůž, 4 rotorový nůž, 5 rošt, 6 násypka,
7 řemenice, 8 závěs, 9 magnetický odlučovač

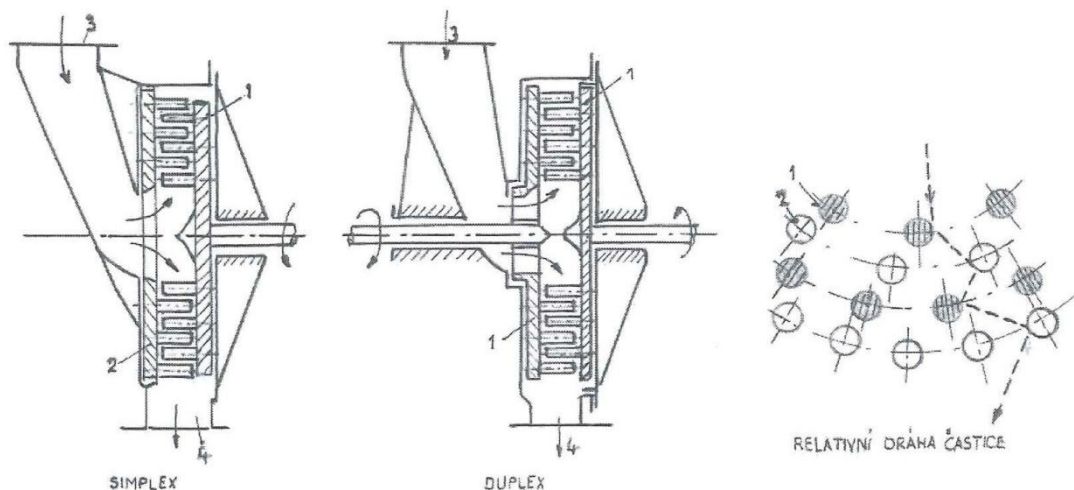
Nožové mlýny jsou řešeny v různých konstrukčních variantách. Při vertikálním uspořádání osy rotoru je rotor uložen letmo a materiál přichází do mlecího prostoru ve směru osy. Rozemletý materiál se z mlecího prostoru odsává přes rošt nebo děrovaný plech, podobně jako v předchozím případě. [9]

Na nožových mlýnech se často zpracovává odpad PVC, PE, PP, houževnatého PS atd. Vyrábějí se z různými výkony. Měrná spotřeba energie se pohybuje mezi 600 až 300 $\text{Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$. Získaný produkt je polydisperzní a pro další zpracování se zpravidla musí třídit podle velikosti částic. [9]

3.2.2 Tlukadlové a kladivové mlýny

Tlukadlové (někdy též kolíčkové) mlýny dosahují mlecího účinku především úderu mletého materiálu v systému krátkých čepů (kolíčků), které jsou v relativním pohybu (obr. 11). U mlýna typu Simplex je mlecí systém tvořen rotorem 1 a statorem 2. Kolíčky jsou uspořádány v soustředných kružnicích. S rostoucím průměrem kružnice se obvodová rozteč kolíčků zmenšuje. Materiál vstupuje násypkou 3, prochází mlecím prostorem. Účinkem nárazů a odstředivých sil, odchází rozemletý výstupem 4 k třídění. Kvůli bezpečnosti, jsou v násypce uložena síta a magnetické odlučovače kovu. [9]

Tlukadlové mlýny se používají k mletí křehkých materiálů a barviv. Při mletí za mokra mohou též fungovat jako mlýny koloidní. [9]



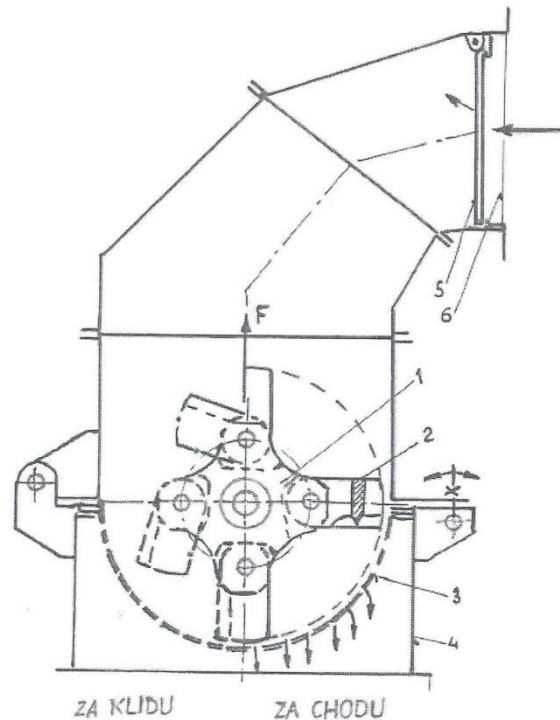
Obr. 11 Tlukadlové mlýny

1 rotor, 2 stator, 3 násypka, 4 výstup

Kladivové mlýny (nebo též drtiče) dosahují mlecího účinku převážně úderu kladiv (obr.12). Kladiva 2 jsou volně zavěšena na rotoru 1. Za chodu se účinkem odstředivé síly F postaví do radiálního směru. V podstatě jde o plochá tělesa, která jsou někdy na aktivní straně vyvedena v ostří. Ve spodní části je umístěna vyměnitelná mřížka 3, která určuje největší velikost mletých částic. Materiál vstupuje hrdlem 6 přes závěs 5, který se však může otvírat jen dovnitř. Materiál se zdrží v mlecím prostoru, dokud neprojde mřížkou 3. Rozemletý materiál se obvykle odsává do cyklonu. [9]

Kladivové mlýny se používají k mletí a drcení křehkých a nepříliš houževnatých materiálů. Melou se jimi odpady z PVC, PP, ABS apod. Aby se materiál při mletí příliš nezahříval, je třeba jemnost mletí zvyšovat postupně. Mlýny se stavějí v různých velikostech s různými

výkony. Pro jemné mletí jsou kladiva složena z lamel. Provoz kladivových mlýnů bývá velmi hlučný, takže vyžadují zcela oddělené prostory. [9]



Obr. 12 Kladivový mlýn

1 rotor, 2 kladivo, 3 mřížka, 4 těleso stroje, 5 závěs, 6 hrdlo

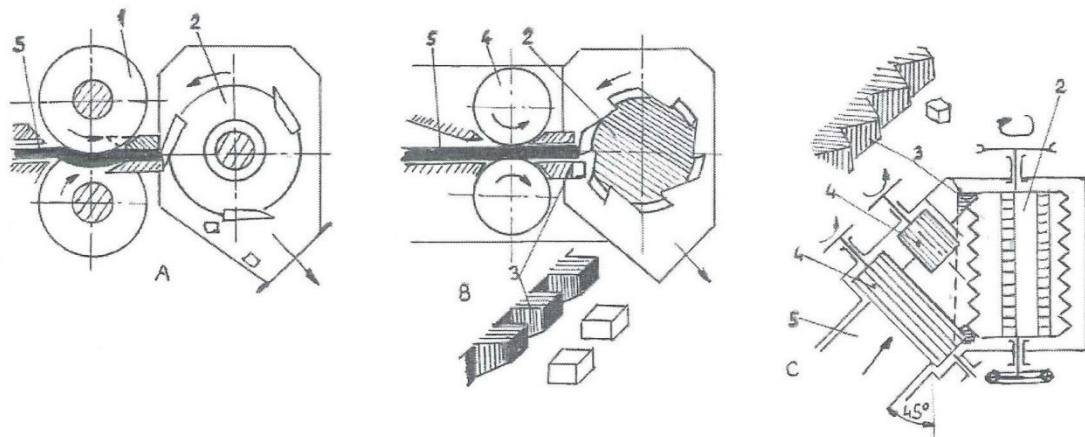
3.3 Granulovací stroje

Granulovací stroje slouží k přípravě granulátu tj. tělísek zhruba pravidelných tvarů (krychliček, valečku a čoček). Tyto stroje pracují zpravidla v linkách, které zahrnují ještě zařízení pro přípravu směsi, pro plastikaci a pro dopravu nebo skladování granulátu. [9]

3.3.1 Granulace pásů

Z pásů se připravují granule ve tvaru krychliček nebo hranolků. Používané principy ukazuje přehledně obr. 13. Oddělený podélný a příčný řez pásu 5 (A) umožňuje použít poměrně jednoduché řezné nástroje. Podélný řez zajišťují kotoučové nože 1, příčný řez pak rotor 2 s deskovými noži. Postup je nevýhodný pro málo tuhé materiály, protože mají tendenci se pěchovat v prostoru mezi noži. Trojhrbitý nástroj (B) sdružuje podélný a příčný řez na jedno místo. Podáváči válečky 4 podávají pás 5, který pak statorový nůž 3 a rotor 2 dělí na hranolky. Hladký řez je však podmíněn přesným lícováním rotoru a statorového nože na třech

řezných hranách. Opotřebením řezných hran se vůle zvětšuje a řez se stává nerovným. Situace se poněkud zjednoduší u dvojbřitých nástrojů (C). Pás 5 se zavádí pod úhlem 45° vzhledem k ose rotoru 2. Podávací válečky 4, které jsou hnané, podávají pás do řezu. Statorový nuž 3 je tvarově jednodušší a snadněji se lícuje s rotorem než u tříbřitých rezných nástrojů. [9]



Obr. 13 Princip granulování z pásu

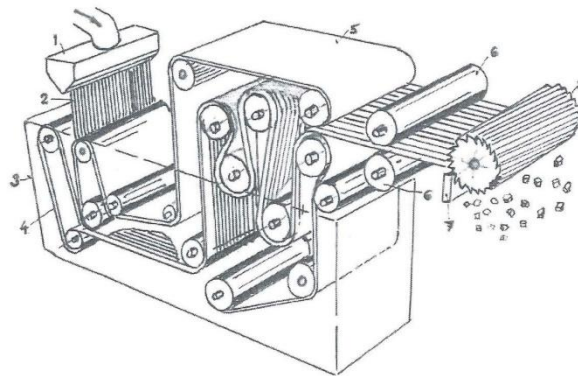
A oddělený podélný a příčný řez, B trojbřité nože, C dvojbřité nože

1 kotoučový nůž, 2 rotor, 3 stator, 4 podávací váleček, 5 pás

3.3.2 Granulace strun

Granulací strun se připravuje válečkový granulát. Vytlačované struny se v temperační lázni ochladí na požadovanou teplotu a pak se zavádějí do granulovací jednotky, kterou tvoří podávací válečky, řezná lišta a nožový válec. Struny mají průměr kolem 3 mm. Dosahuje se zde rychlosti až $1,6 \text{ m.s}^{-1}$. Granulují se tak PS, PA, PC a PETP, pokud se nepožadují vysoké výkony (asi do 500 kg.h^{-1}). [9]

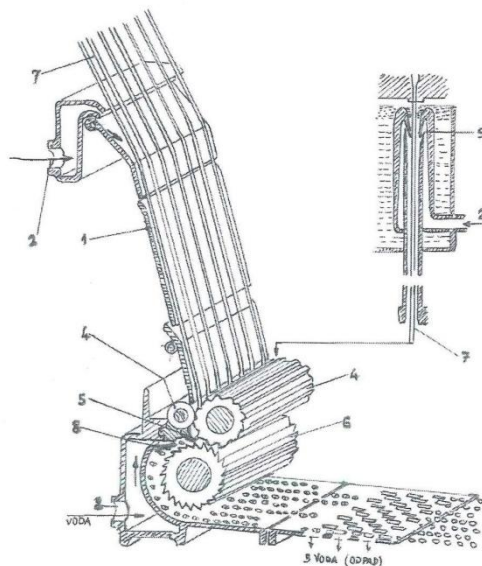
Při zvyšování výkonu se zvyšuje také počet vytlačovaných strun, což komplikuje jejich vedení v temperační lázni. K usnadnění práce bylo vyvinuto zařízení systému Scheer (obr. 14). Vytlačované struny 2 z hlavy 1 vstupují do chladicí lázně mezi dva pásy 4, 5, které je vedou celou lázní až takřka k podávacím válcům 6. Řezání strun je pak již stejné jako v předchozím případě. Upnutí strun mezi vodící pásy 4, 5, umožňuje jejich snazší zavádění a také zvýšení rychlosti až na $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ a výkony až $6,5 \text{ t.h}^{-1}$. [9]



Obr. 14 Granulační zařízení "Scheer"

1 vytlačovací hlava, 2 struna, 3 lázeň, 4 spodní pás, 5 horní pás,
6 podávací válec, 7 řezná lišta, 8 rotor

Jiné řešení granulace strun ukazuje obr. 15. Vytlačované struny přicházejí na dělený chladicí žlab, po kterém stéká chladicí voda. Ochlazené struny zachycují podávací válce 4. Řezání strun 7 mezi řeznou lištou 5 a rotorem 6 probíhá pod vodou. Voda přitéká otvorem 2 a štěrbinou, která se nastavuje hradítkem 8. Voda odplavuje granulát až k sítům kde propadá do odpadu 3 a vrací se zpět do chladicího okruhu. Granulát se po osušení dopravuje k dalšímu zpracování. Popsaný způsob se používá při granulaci PETP, PA, PS, PP a ABS. Odtahovací rychlosti jsou asi od 1 do 3 m.s⁻¹ a dosahuje se výkonu asi do 4 t.h⁻¹. [9]



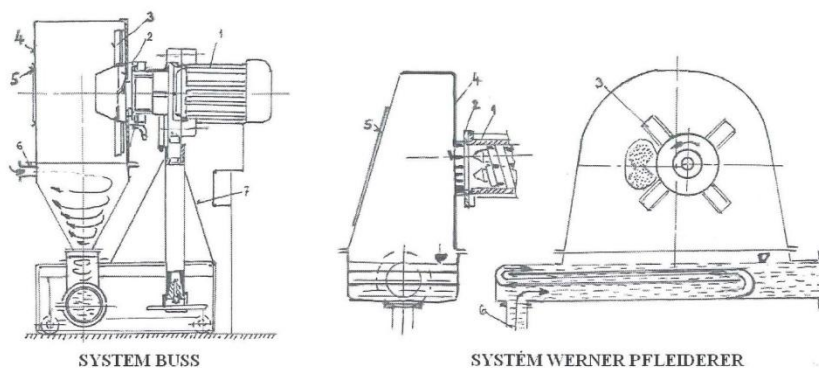
Obr. 15 Granulovací zařízení "Automatik"

1 Chladicí žlab, 2 Přívod chladicí vody, 3 odvod chladicí vody, 4 podávací válec,
5 řezná lišta, 6 rotor, 7 struna, 8 hradítko, 9 ejektor

Vyšší stupeň automatizace vyžaduje doplnit systém samočinným zaváděním strun od vytlačovací hlavy k podávací, válcům. K tomu se využívá ejektoru 9. Voda, proudící rychlostí až 7 m.s^{-1} , unáší struny 7 a zároveň je intenzivně chladí. Uvedena úprava usnadňuje vedení strun. Používá se pro granulaci PET, PA a PP pro výkony 1 až 12 t.h^{-1} .

3.3.3 Granulace na hlavě

Některé materiály lze granulovat přímo na vytlačovací hlavě. Dvě provedení ukazuje obr. 16. Vytlačovací hlava 2 má přední část provedenou v podstatě jako děrovanou desku, po které běží nože rotoru 3. Stříhané válečky padají do proudící chladné vody. Rotor 3 má osu rovnoběžnou s osou vytlačovacího stroje 1 a bývá umístěn na samostatném stojanu 7, aby se nože daly nastavit přesně podle vytlačovací hlavy. Chladicí voda se u systému Buss přivádí do chladicí skříně 4, potrubím 6, uspořádaným tečně, aby se vytvořil středový vír. Do něho pak padají horké granule, chladí se a voda je dopravuje k separaci. U systému Werner Pfleiderer se voda přivádí ve větší šířce, ale účel je zde stejný. Uvedená zařízení jsou vhodná jen pro materiály, které v horkém stavu nejsou příliš lepkavé. V úvahu přichází zejména PVC, případně i PP. [9]

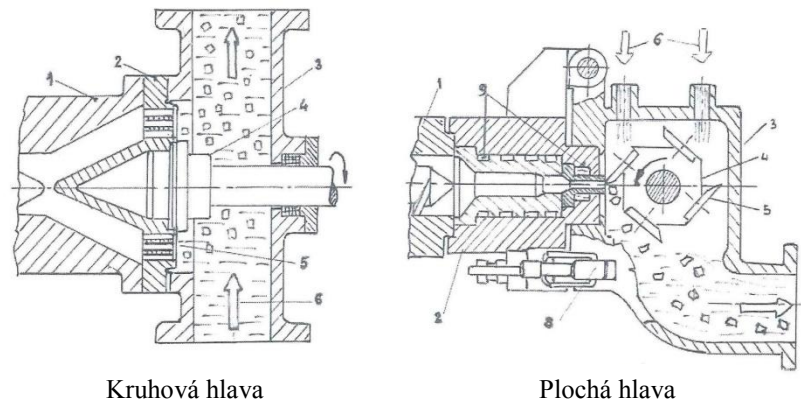


Obr. 16 Granulace na hlavě

1 vytlačovací stroj, 2 vytlačovací hlava, 3 rotor, 4 skříň, 5 průhled,
6 přívod chladicí vody, 7 stojan

Pro lepkavé materiály se používá granulace pod vodou (obr. 17). U kruhové hlavy 2, je osa rotoru 4 umístěna v prodloužení osy vytlačovacího stroje 1. Nože rotoru 5 odřezávají vytlačované struny a vznikající granule odnáší přímo vodní proud. Jejich volné chladnutí ve vodě umožní, že zaujmají tvar čoček. U ploché hlavy je rotor 4 umístěn kolmo k ose vytlačovacího stroje 1. Voda se do chladicí skříně 3 přivádí přívody 6. Rotor vytváří vodní mlhu, která chladí struny vystupující z hlavy 2, tak se zabrání jejich slepování po řezu.

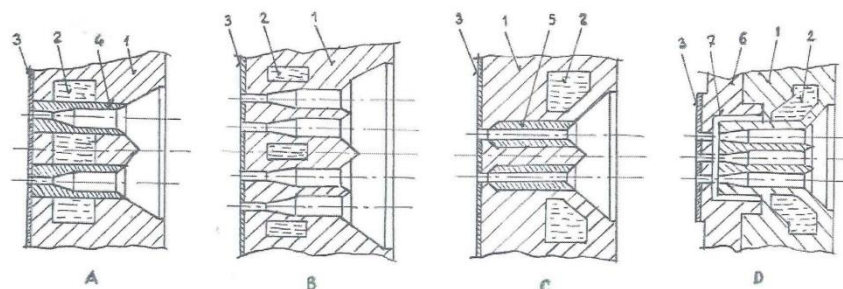
Chladicí skříň je na závěru k hlavě připojena rychlouzávěrem 8. Granule s vodou odcházejí odvodem 7. [9]



Obr. 17 Granulace pod vodou

1 vytlačovací stroj, 2 granulovací hlava, 3 chladicí skříň, 4 rotor, 5 nůž,
6 přívod, 7 odvod, 8 rychlouzávěr, 9 Topný kanál

Přímé chlazení čela vytlačovací hlavy vyvolává problémy při výtoku strun. Používají se proto různé úpravy vytlačovacích hlav (obr. 18). Ve všech případech jde o temperaci granulovací hlavy, aby odvod tepla do chladicí vody byl do jisté míry paralyzován. U Alternativy A je hlava 1 vložkována trubkami 4, které jsou s hlavou spojeny svarem a přímo zasahují do temperačního kanálu 2. Čelo hlavy je opatřeno antiabrazivní vrstvou 3 (např. tvrdé chromování); u alternativy B jsou temperační kanálky 2 umístěny blízko čelní plochy. Ke snížení odvodu tepla lze využít keramických vložek 5 (C) nebo izolační mezivrstvy přímo z vytlačovaného materiálu (D). Příložka 6 vytvoří proti hlavě 1 izolační mezeru 7, která však musí být v čelní ploše tak malá, aby při případném zatuhnutí plastu ji proud taveniny mohl prorazit. [9]



Obr. 18 Úpravy granulovacích hlav

1 hlava, 2 temperační kanál, 3 antiabrazivní vrstva, 4 trubka, 5 keramická
vložka, 6 příložka, 7 izolační mezeru

4 MATERIÁLOVÉ ZKOUŠKY

Abychom mohli správně a hospodárně využívat materiálů, musíme dobře znát a správně chápat jejich vlastnosti a umět je co nejpřesněji zjišťovat. [5]

4.1 Mechanické vlastnosti

Materiály jsou při zpracování i při používání vystaveny různému namáhání, jako je tah, tlak, krut, stříh, a ohyb. Tato jednotlivá namáhání obvykle nepůsobí samostatně (jednotlivě), ale v různých kombinacích. Materiál je tedy vystaven složenému namáhání. Například je materiál namáhán současně tahem, ohybem i krutem. Aby materiál mohl odolávat těmto namáháním, musí mít určité vlastnosti, jako pevnost, tvrdost, pružnost aj. [5]

4.2 Druhy zkoušek mechanických vlastností materiálu

Mechanickými zkouškami materiálů získáváme údaje nutné pro návrh tvaru, rozměrů a volbu vhodného materiálu součástí. [5]

4.2.1 Statické zkoušky

Tyto zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálu. Materiál je zatěžován pozvolna a bez rázu, a to pouze jednou. Doba vykonávání zkoušky se může pohybovat v rozmezí několika minut až několika dnů. Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevnosti.

4.2.2 Dynamické zkoušky rázové

V praxi jsou většinou výrobky namáhány zatížením, jehož velikost a smysl se prudce po případech opakovaně mění. Potřebné údaje o chování takto namáhaného materiálu nelze zjišťovat zkouškami statickými, ale zkouškami dynamickými. Při tomto namáhání dochází často k náhlému porušení součásti, i když zatěžující síla ještě nedosáhla statické pevnosti materiálu. [5]

Při dynamických zkouškách dochází k velmi velkému nárůstu působící síly za velmi malý časový okamžik (zlomek sekundy). Zkoušky tedy bývají provedeny rychle. [5]

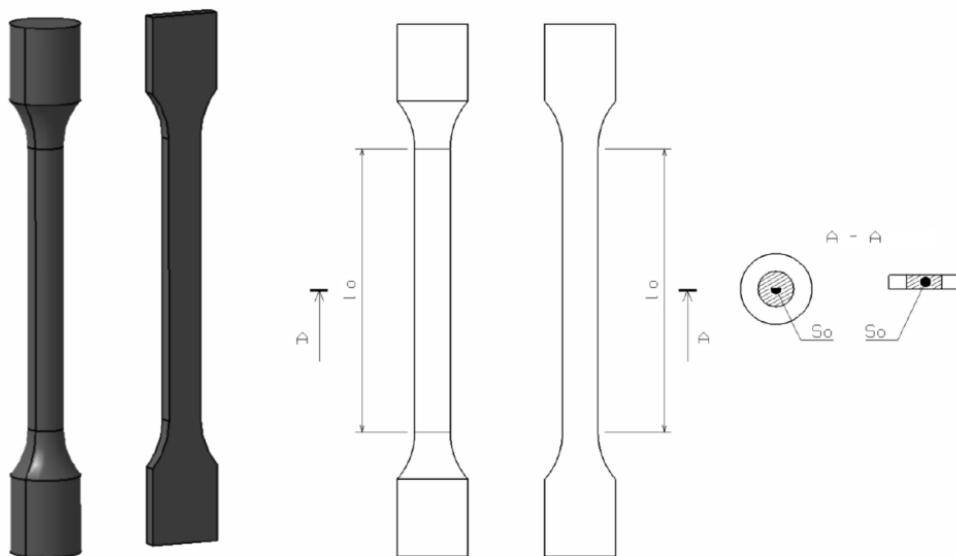
4.2.3 Zkoušky za normálních, vysokých a nízkých teplot

Mechanické zkoušky většinou provádíme na stejných zkušebních vzorcích, temperovaných na určitou, námi požadovanou teplotu. Údaje z těchto zkoušek jsou považovány za směrné. [5]

4.3 Zkouška tahem

Zkouška tahem je nejrozšířenější statickou zkouškou. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože jí jsou získávány některé zásadní údaje potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se z pravidla neprovádí přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány (Obr. 19). Trhací zkouškou zjišťujeme pevnost v tahu, poměrné prodloužení, tažnost a zúžení (kontrakci) zkoušeného materiálu. [5]

Při všech statických zkouškách vzniká v zatížené součásti napětí. Je to míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením sil vnějších. Rozeznáváme napětí normálová (σ) a tečná (τ). Podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoliv stádiu zkoušky nazýváme skutečným napětím. Běžně však používáme hodnoty smluvních napětí, protože neuvažujeme změnu průřezu tyče a zatížení vztahujeme na původní hodnotu průřezu S_0 . [5]



Obr. 19 Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem

4.3.1 Pevnost v tahu

Mez pevnosti v tahu (σ_{Pt}) je smluvní hodnota napětí, daná podílem největší zatěžující síly F , kterou snese zkušební tyč, a původního průřezu S_0 . [5]

$$\sigma_{Pt} = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad (1)$$

4.3.2 Poměrné prodloužení

Poměrné prodloužení (ε) je dáno poměrem změny délky (Δl) k původní délce zkušební tyče (l_0). [5]

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (2)$$

4.3.3 Tažnost

Tažnost (δ) je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech původní délky. [5]

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (3)$$

U tažnosti je uváděno indexem (δ_5, δ_{10}), zda byla získána na krátké nebo dlouhé tyči. [5]

4.3.4 Kontrakce

Kontrakce nebo-li zúžení (ψ) je dána poměrem zúžení v průřezu tyče po přetržení k původnímu průřezu tyče. Je vyjadřována v procentech. [5]

$$\psi = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 \quad (4)$$

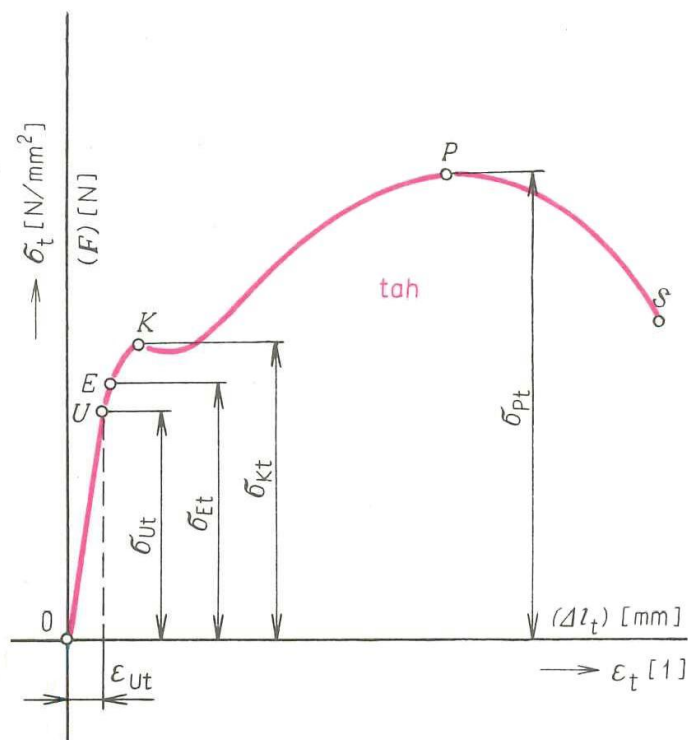
4.3.5 Pevnost v kluzu

Pevnost v kluzu nebo-li mez kluzu v tahu (σ_{Kt}) je napětí, při němž se zkušební tyč začne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly. [5]

$$\sigma_{Kt} = \frac{F_K}{S_0} \quad (5)$$

4.3.6 Pracovní diagram

Trhací stroje kreslí v průběhu trhací zkoušky pracovní diagram udávající závislost poměrného prodloužení (ε) na napětí (σ). [5]



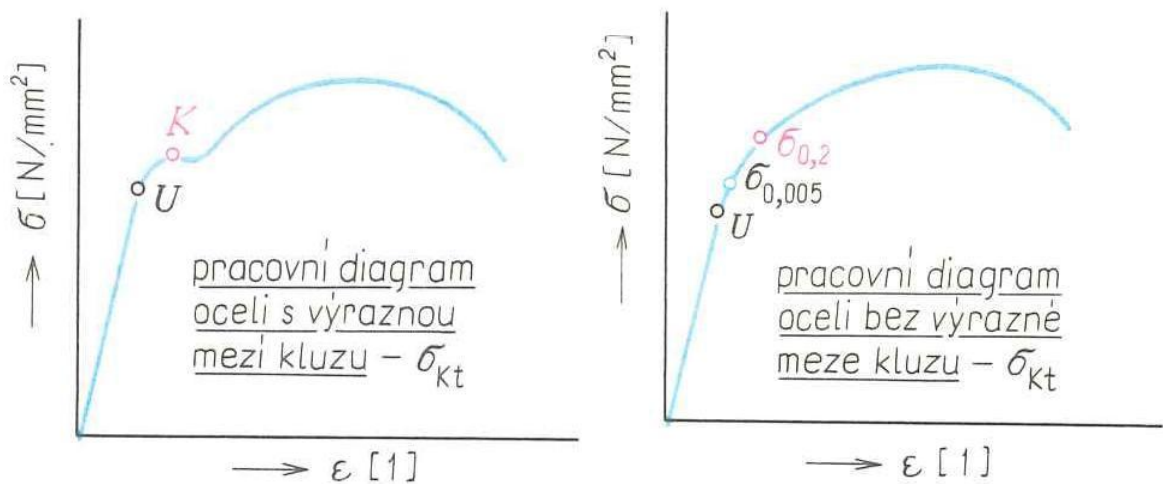
Obr. 20 Pracovní diagram zkoušky tahem

Z diagramu je viditelné, že z počátku je prodloužení tyče přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení, a to až do bodu U. Napětí σ_U , odpovídající bodu U, nazýváme mez úměrnosti a definujeme ji jako mezní napětí, při němž je ještě prodloužení přímo úměrné napětí (Hookův zákon). [5]

V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až po bod E je protažení pružné, tj. po odlehčení nabývá tyč původních rozměrů. Napětí σ_E odpovídající bodu E je mez pružnosti a je definována jako mezní napětí, které po úplném odlehčení nevyvolá trvalé deformace. [5]

Je-li zatížení dále zvětšováno, nastává přetváření plastické (trvalé) a tyč po odlehčení již nenabude původních rozměrů. Napětí (σ_{Kt}) odpovídající bodu K je označováno jako mez kluzu v tahu a je definována jako nejmenší napětí, při němž nastávají podstatné deformace, které někdy dočasně pokračují aniž se zároveň zvyšují napětí. [5]

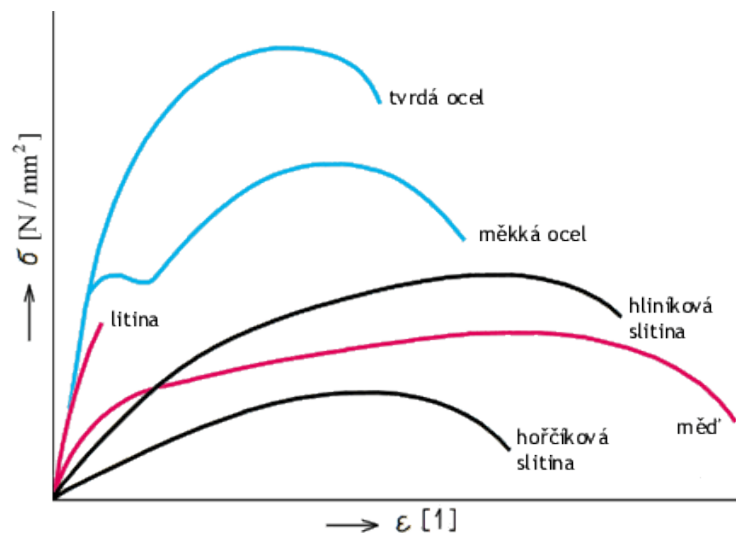
U některých materiálů prodleva nenastane a mez kluzu nelze zjistit (obrázek 6 - vpravo). Proto je brána běžná smluvní hodnota napětí, která je způsobena trvalým prodloužením 0,2%. Hodnota je zjišťována graficky nebo měřicím zařízením (extenziometrem). [5]



Obr. 21 Pracovní diagram s výraznou mezí kluzu a bez meze kluzu

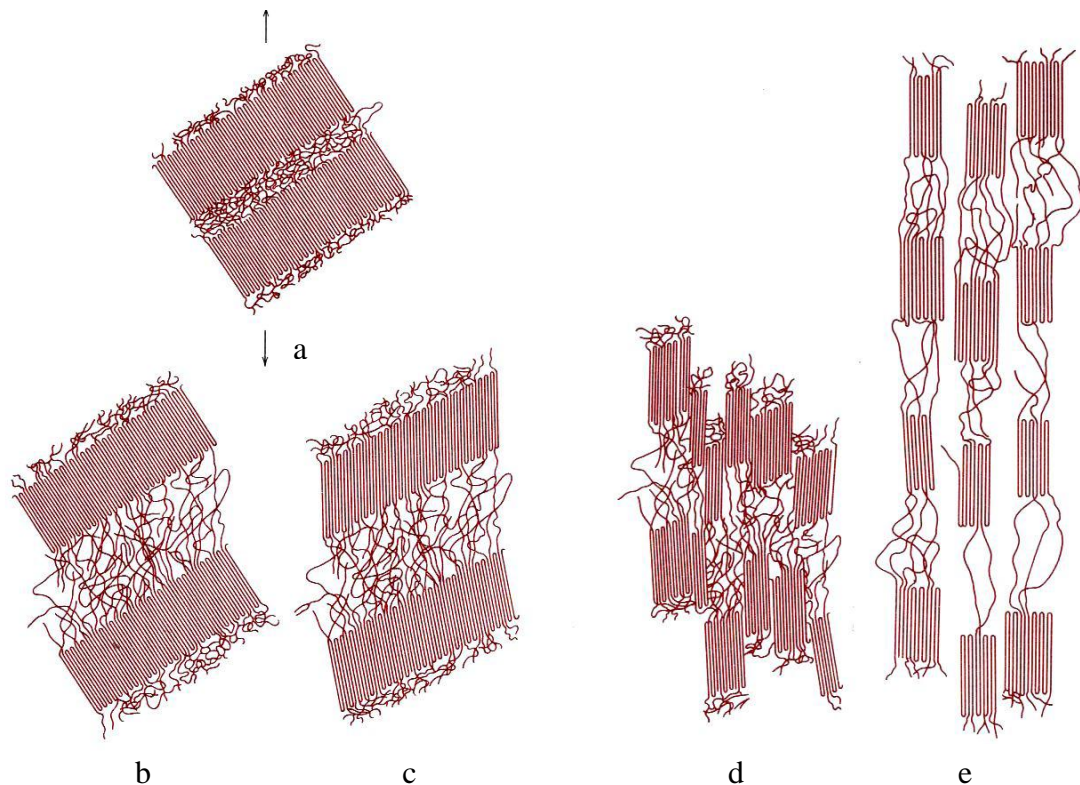
Od bodu K je čára diagramu téměř jdoucí vodorovně, jako by materiál tekl, tj. tyč se prodlužuje, by vzrůstalo zatížení. Někdy se objevuje i malý pokles napětí. Při dalším zvětšování zatížení se tyč prodlužuje mnohem rychleji než vzrůstá zatížení. Bodu P na vrcholu křivky odpovídá největší napětí σ_{Pt} (mez pevnosti v tahu čili pevnost v tahu). Při napětí odpovídajícímu bodu S se tyčka přetrhne (skutečné napětí při přetržení je menší než pevnost v tahu). [5]

Tvar pracovního diagramu se mění podle druhu materiálu, jak je uvedeno níže na obrázku. [5]



Obr. 22 Příklad pracovních diagramů různých kovů a slitin

4.3.7 Deformace polymerů



Obr. 23 Deformace polymerů

Na počátku deformace odpovídá struktura polymeru případu (a) tj. v oblasti mezi krystalickými oblastmi se nachází amorfní oblasti.

V prvním stádiu deformace (elastická oblast - b) dochází k malému prodloužení řetězců, které mezi sebou vážou krystalické oblasti.

Během třetího stádia (c - počátek plastické oblasti) dochází k naklánění lamelárních krystalických vrstev.

Ve třetím stádiu (d) dochází již k separaci jednotlivých krystalických bloků.

Na závěr deformace (e) pak dochází k orientaci krystalických segmentů a řetězců makromolekul v amorfní oblasti do směru působícího napětí.

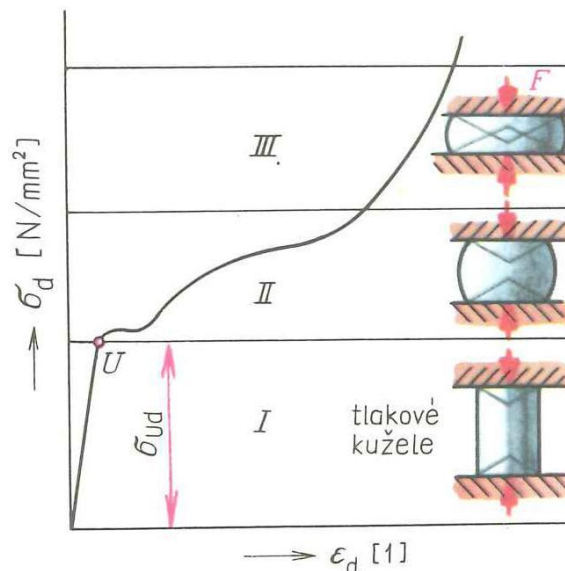
4.4 Zkouška tlakem

Zkouška tlakem je používána méně často (např. u ložiskových kovů, litiny, vrstvených tvrzených hmot, keramických látek, stavebních hmot, apod.). U některých materiálů (napří-

klad kovů) nebývá tato zkouška nutná, neboť hodnoty meze úměrnosti a meze kluzu v tahu i v tlaku jsou přibližně stejné. [5]

4.4.1 Průběh tlakové deformace

V prvním období zkoušky je křivka napětí strmá, materiál odolává a tvoří se takzvané tlakové kužely. V druhém období hmota tělesa lehce klouže po kuželových plochách do stran, což se jeví v tlakovém diagramu menším vzrůstem napětí vzhledem k deformaci. Jakmile se tlakové kužely k sobě přiblíží (třetí období), vzrůstá odpor proti stlačování a křivka stlačení má opět strmý průběh. Této třetí fázi nebývá obvykle u tlakových zkoušek dosahováno. U křehkých materiálů nastává rozdrčení (lom) bez plastické deformace. [5]



Obr. 24 Pracovní diagram zkoušky tlakem

4.4.2 Měřené veličiny

Podobně jako u zkoušky tahem lze i u zkoušky tlakem sestavit diagram a stanovit:

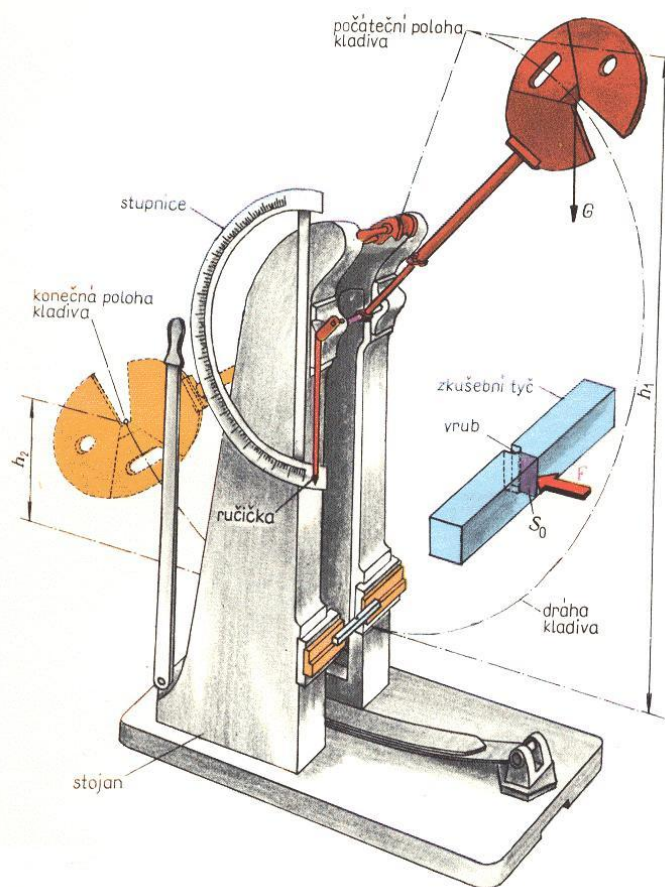
- Pevnost v tlaku (Mez pevnosti v tlaku - σ_{Pd}),
- prosté zkrácení (stlačení - Δl_d),
- poměrné zkrácení (stlačení - ϵ),
- příčné rozšíření (ψ).

Rozměry i definice těchto hodnot jsou totožné jako u zkoušky tahem. Mez pevnosti v tlaku se uvádí jen pro křehké materiály, neboť u měkkých a tvárných materiálů nelze určit okamžik porušení. Smluvní mez kluzu v tlaku je určována obdobným způsobem jako u tahové zkoušky. [5]

4.5 Zkouška rázem

Slouží k zjištění, kolik práce nebo energie se spotřebuje na porušení zkušební tyče. Zkouší se nejčastěji jedním rázem, kdy na porušení zkušební tyčky se použije najednou dostatečného množství energie. Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu nebo krutu. [5]

Zkouška rázem v ohybu je nejpoužívanější a je dobrým ukazatelem houževnatosti nebo křehkosti materiálů. Nejpoužívanější je zkouška vrubové houževnatosti na Charpyho kyvadlovém kladivu. [5]



Obr. 25 Charpyho kladivo

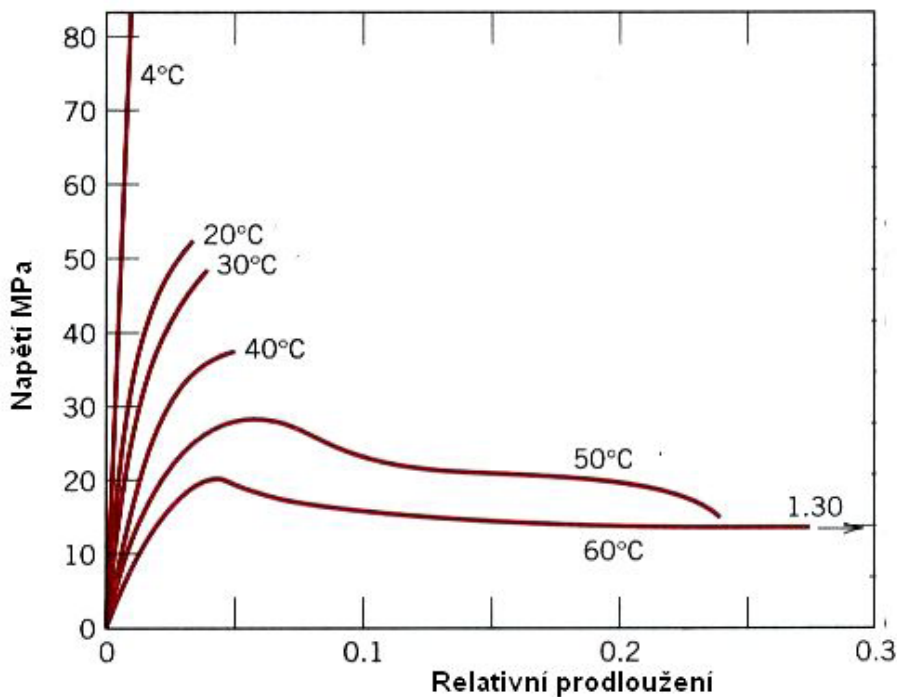
Těžké kladivo, otočné kolem osy, se zdvihne a upevní v počáteční poloze. V nejnižší poloze kladiva se umístí ve stojanu kyvadlového kladiva zkušební tyč ze zkoušeného materiálu.

Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje po kruhové dráze, narazí na zkušební tyč, přerazí ji a vykývne do konečné polohy. Tato poloha je nižší než poloha počáteční, protože na přeražení zkušební tyče se spotřebovala určitá práce. Tato práce se nazývá spotřebovaná nárazová práce (energie). [5]

4.6 Zkoušky za vyšších teplot

Pro materiály, které chceme použít na součásti pracující za vyšších teplot, nemají hodnoty zjištěné za normální teploty prakticky žádný význam.

Se vzrůstající teplotou klesá značně pevnost a mez kluzu, ale dochází ke zvětšování tažnosti a kontrakce. Například velmi pevná ocel se za vysoké teploty chová jako olovo nebo cín za normální teploty. To znamená, že i při poměrně malém, konstantním, klidném trvalém zatížení (např. tahem) se zkušební tyč prodlužuje, až nastane přetržení. [5]



Obr. 26 Vliv teploty na napětí a prodloužení polymerů [6]

4.7 Zkoušky za nízkých teplot

Chování materiálů za nízkých teplot je opačné vzhledem k chování materiálů za zvýšených teplot. Pevnost vzrůstá, zmenšuje se však tažnost a houževnatost. Praktickou důležitost mají tyto zkoušky např. pro materiály vozidel, kde teplota okolí může klesat i pod -25°C , nebo u materiálů pro kompresory a čerpadla.

Stejně důležité jsou tyto zkoušky u materiálů pro zařízení a přístroje určené k dosažení velkých výšek (letadla, družice). [5]

4.8 Reologické zkoušky

Zabezpečit kvalitní výrobní proces je prvořadou úlohou každého provozovatele dané technologie. Z toho důvodu dochází ke snaze kontrolovat zpracovávaný materiál od jeho vstupu do výrobního procesu. Nejen sledování vstupních charakteristik materiálu a jeho chování ve výrobním procese, ale i sledování vlivu různých technologických parametrů a jejich změn nám dává předpoklady k dosažení kvalitního výrobního procesu.

Měření reologických vlastností polymerů je důležité z více důvodů. Jejich znalost nám pomáhá formulovat polymerní systém, který by měl nejlépe splňovat jednotlivé požadavky na fyzikální vlastnosti finálního plastového výrobku. Uvedený fakt vyplývá z toho, že reologické vlastnosti přímo ovlivňují podmínky zpracování, např. teplotu vstřikování a tlak při vytlačování.

Znalosti reologických vlastností také pomáhají při výběru správného typu zpracovatelského zařízení a vhodného polymeru prodanou technologií. V současnosti je několik různých typů přístrojů, které můžeme použít na měření reologických vlastností polymerních materiálů. Mezi ně patří rotační reometry (kužel – deska, válec – válec, deska – deska) a kapilární anebo výtlačné reometry. [7]

4.8.1 Index toku taveniny

Index toku taveniny je ukazovatelem tokových charakteristik termoplastických materiálů. Díky jednoduché obsluze zařízení pro stanovení indexu toku termoplastů a širokým možnostem interpretace výsledků se tento typ měření často využívá v oblasti kontroly kvality.

Hmotnostní index toku taveniny (MFR) je rychlost vytlačení taveniny přes kapiláru definované délky a průměru za předepsaných podmínek: Teploty, zatížení a polohy pístu ve válci vytlačovacího reometru. Rychlostí se stanovuje jako vytlačená hmotnost látky za určený čas. Výsledky se udávají v g/10 min. Hmotnostní index toku taveniny je daný rovnicí: [7]

$$\text{MFR}(T, m_{\text{nom}}) = 600 \cdot \frac{m}{t} \quad (6)$$

kde:

T – zkušební teplota v $^{\circ}\text{C}$,

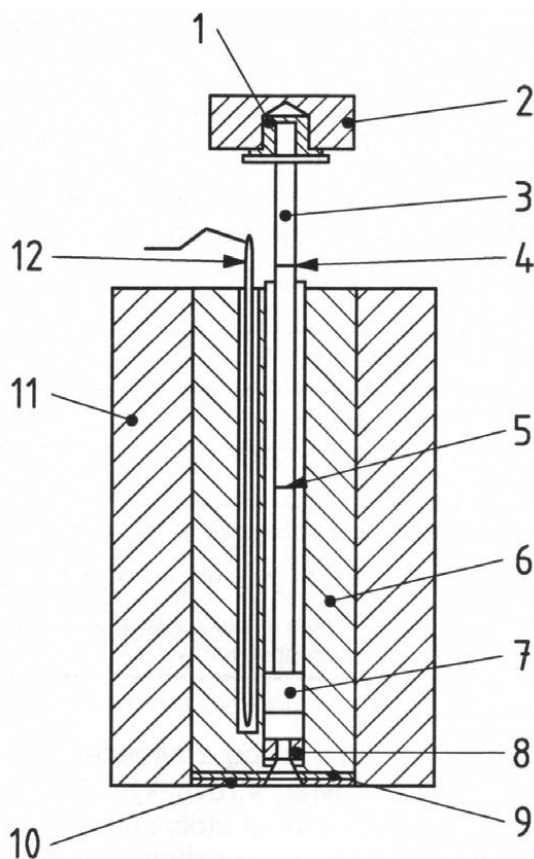
m_{nom} – jmenovité zatížení v kilogramech

m – průměrná hmotnost odřezků přetlačeného materiálu v gramech,

t – časový interval odřezávání odřezků v sekundách

600 – faktor na převod gramů za sekundu na gramy za 10 minut.

Hmotnostní index toku taveniny (MFR) se stanovuje vytlačáním roztaveného plastu z válce reometru při dané teplotě a daném zatížení. Při stanovování hmotnostního indexu toku taveniny se odřezky odřezávané v určitém časovém intervalu zváží, vypočítá se rychlost vytlačování v gramech za 10 minut. Pro měření indexu toku tavenin termoplastů se nejčastěji používá zařízení nazývané výtlačný reometr. [7]



Obr. 27 Schématické znázornění výtlačného reometru [7]

1 – izolace, 2 – odstranitelné závaží, 3 – píst, 4 – horní referenční značka pístu,

5 – spodní referenční značka pístu, 6 – válec, 7 – hlava pístu, 8 – kapilára,

9 – plotnička zajišťující kapiláru, 10 – izolační deštička, 11 – izolace, 12 – teplotní senzor

Postup zkoušky

Podle příslušné normy pro stanovení indexu toku taveniny se na přístroji nastaví požadovaná teplota a vybere se požadované závaží. Válec přístroje se naplní podle předpokládané hodnoty hmotnostního anebo objemového indexu toku taveniny zkoušeným vzorkem termoplastu a nechá se předeřhřát. Čas předeřhřevu se začíná počítat od ukončení plnění válce. Následně se spustí do válce píst, který může být zatížený anebo nezatížený. Píst začne vyvíjet tlakové síly na roztavený materiál a ten je nucen téci přes kapiláru přístroje pro měření ITT. Vytlačovaný materiál je odřezáván v přesných časových intervalech. Po dokončení odřezávání se odřezané vzorky zvaží na přesných analytických váhách s přesností 0,000 1 g. Následně dochází k výpočtu hmotnostního indexu toku taveniny. [7]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem diplomové práce je stanovení vlivu regranulátu na výsledný produkt. Stanovení vlivu regranulátu probíhá na čtyřech druzích termoplastického materiálu, přičemž se vždy jedná o polykarbonát (PC - HT) s různým procentuálním obsahem recyklátu (čistý polykarbonát, polykarbonát s dvaceti procenty recyklátu, polykarbonát s třiceti procenty recyklátu a recyklovaný polykarbonát). Každý druh materiálu bude postupně zatížen celkem čtyřmi teplotami (-23°C , 60°C , 80°C a 110°C) a následně testován.

Pro stanovení vlivu regranulátu jsou využity základní materiálové zkoušky a to jak mechanické, tak reologické. Z mechanických zkoušek se jedná o normalizovanou zkoušku jednoosým tahem, normalizovanou zkoušku jednoosým tlakem a normalizovanou zkoušku rázové houževnatosti Charpy. Pro zjištění reologických vlastností materiálů pak je využito normalizovaného zjištění indexu toku taveniny a nenormalizovaného spirálového testu.

6 POUŽITÉ STROJE, ZAŘÍZENÍ A SOFTWARE:

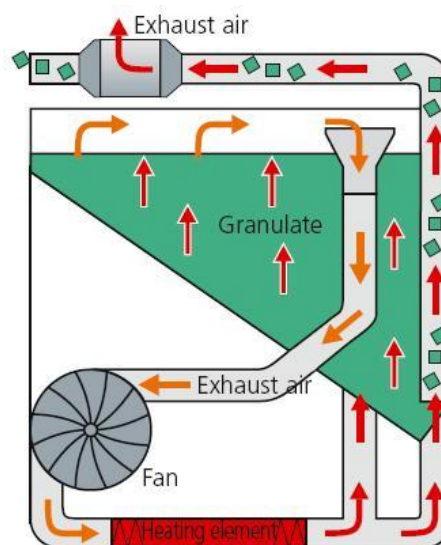
V kapitole jsou popsány stroje, zařízení jenž, jenž byly potřebné k vypracování diplomové práce.

6.1 Sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2

Zařízení je určeno pro přípravu materiálů před vstřikováním. Je užíváno hlavně k odstranění vlhkosti, a dopravě materiálu do plastikační jednotky vstřikovacího stroje. Sušící stroj je ovládán pomocí ovládacího panelu, který je umístěn na jeho boční straně.



Obr. 28 Sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2



Obr. 29 ARBURG THERMOLIFT 100-2 - schéma

Tab. 2 Technické parametry stroje ARBURG THERMOLIFT 100-2 [10]

ARBURG THERMOLIFT 100-2		
objem zařízení	100	l
objem zařízení s připojeným kontejnerem	200	l
provozní napětí	220/400	V
topný element	4,5	kW
ventilátor	0,95	kW
dopravní výška	3	m
dopravní tlak	0,05	bar
zdroj sušícího vzduchu	0,74	kW
celková spotřeba energie	5,5	kW
celková spotřeba energie zahrnující zdroj sušícího vzduchu	6,2	kW
množství sušícího vzduchu	90	m ³ .h ⁻¹
množství obnoveného sušícího vzduchu	20	m ³ .h ⁻¹
přípojka stlačeného vzduchu pro vakuové dopravní zařízení	4 – 6	bar
vzduchový filtr / jmenovitý maximální průtok	180	m ³ .h ⁻¹

6.2 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C

Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C ADVANCE může být využit pro běžné vstřikování, ale i pro některé speciální druhy zpracování. Činnost stroje je řízena pomocí řídicího systému SELOGICA, jenž umožňuje jednoduchou a rychlou obsluhu. Stroj je dále osazen LCD panelem na výklonném terminálu. Na LCD mohou být zobrazeny například cykly stroje a to jak v jeho grafické tak v numerické podobě. Vyobrazená data pak slouží k obsluze stroje nebo ke kontrole nastavení zařízení.



Obr. 30 ARBURG ALLROUNDER 420C ADVANCE

Tab. 3 Parametry vstřikovacího stroje ARBURG

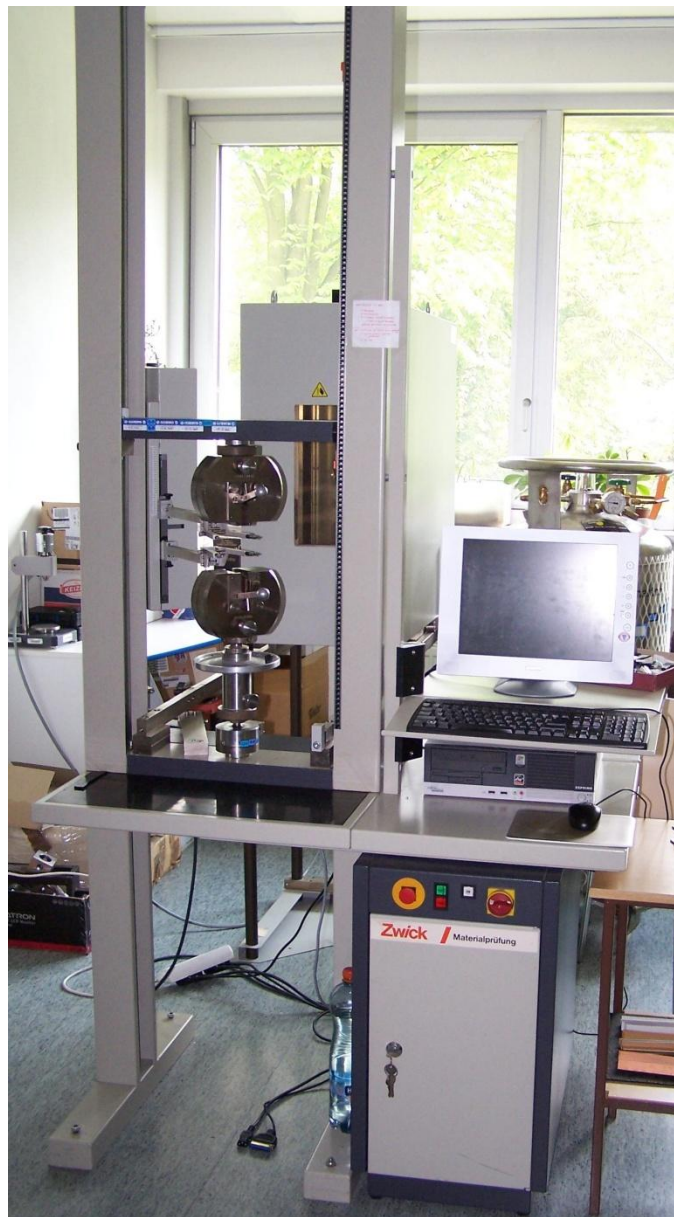
Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C		
Uzavírací jednotka		
Uzavírací síla	1000	max. kN
Otevírací síla / zvýšená otevírací síla	35 / 250	max. kN
Otevření	500	max. mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	420 x 420	mm
Velikost upínací desky	570 x 570	mm
Vyhazovací síla	40	max. kN
Zdvih vyhazovače	175	max. mm
Hydraulika, pohon		
Výkon čerpadla	22	kW
Celkový příkon stroje	33,9	kW
Vstřikovací jednotka		
Průměr šneku	40	mm
Poměr šneku	20	L / D
Zdvih šneku	145	max. mm
Objem dávky	182	max. cm ³
Vstřikovací tlak	2120	max. bar
Vstřikovací rychlost (objemová)	168	max cm ³ ·s ⁻¹
Zpětný tlak pozitivní / negativní	350 / 160	max. bar
Kroutící moment šneku	700	max. Nm
Přítlačná síla trysky	70	max. kN
Objem násypky	50	l
Olejevá náplň a hmotnost		
Množství oleje	235	l
Hmotnost stroje, bez oleje	3700	kg

6.3 Měřicí zařízení ZWICK ROELL 1456

Přístroj umožňuje měření tahových a tlakových sil. Za pomoci různých přípravků jenž je možné upnout na stroj lze provádět zkoušky tahem, tlakem a ohybem. K manipulaci se strojem, sběru a vyhodnocení dat slouží software TEST XPERT který je nainstalován na osobním počítači typu PC.

Pro provedení zkoušek za zvýšených nebo snížených teplot je možné využít temperační komoru umístěnou na zařízení. Komora je nainstalována na kolejničkách a lze ji snadno v případě potřeby uvést do provozu.

Měřicí stroj dále obsahuje extenziomer s jehož pomocí lze přesněji určit některá měřená data.



Obr. 31 ZWICK ROELL 1456

Tab. 4 Parametry stroje ZWICK ROELL 1456

ZWICK ROELL 1456		
Rozměry a hmotnost stroje		
Strojová výška	1284	mm
Celková výška	2012	mm
Celková šířka	630	mm
Šířka pracovního prostoru	420	mm
Hmotnost	150	kg
Dynamika stroje		
Maximální zkušební síla	20	kN
Maximální rychlost posuvu příčnicku	750	mm.min ⁻¹ ₁
Ostatní parametry		
Extenzometry pro měření protažení	macro	
	přídavný	
Vyhodnocovací software	master – tah	
	standard – ohyb a tlak	
	standardní hys- terzní (cyklické) zkoušky	

6.4 Univerzální frézka FHV-50PD



Obr. 32 Univerzální frézka[13]

Tab. 5 Parametry stroje Univerzální frézka FHV-50PD

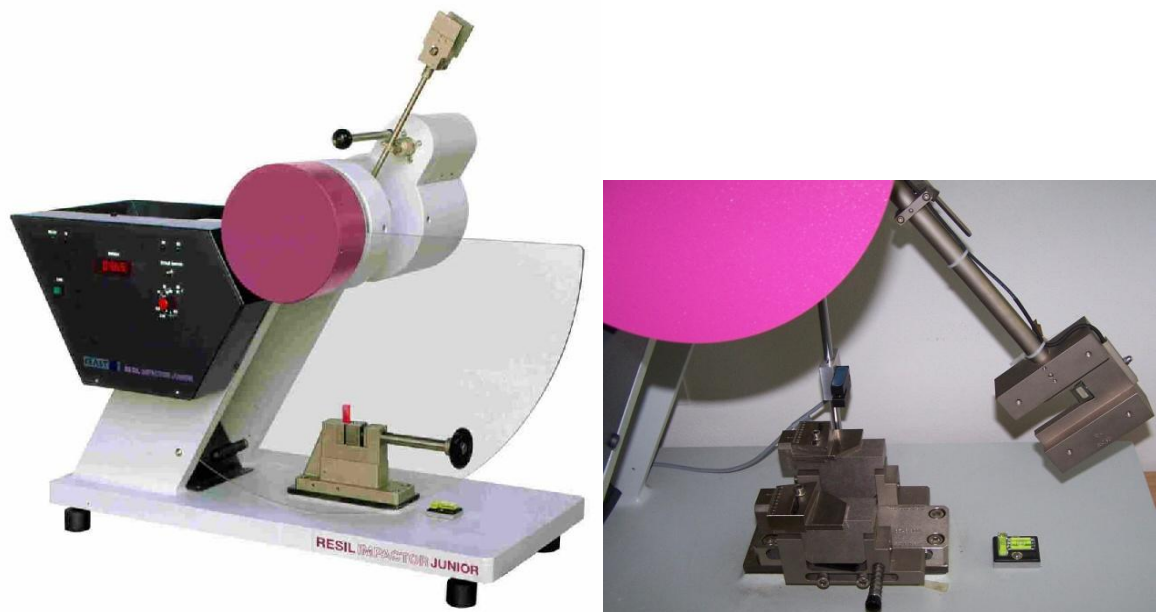
Univerzální frézka FHV-50P		
Parametry	Hodnoty	jednotky
Zdvih vřetene	120	mm
Napětí	400	V
Příkon horizontálního motoru	0,85/1,5	kW
Příkon vertikálního motoru	1,5	kW
Max.doporučený Ø vrtání	50	mm
Max.doporučený Ø horizont.fréz.	100	mm
Max.doporučený Ø vertik.fréz.	25	mm
Max.doporučený Ø fréz.hlavy	100	mm
Rozměr stolu	800 x 240	mm
Kužel vřetene	Mk 4	
Otáčky vřetene - horizontálního	60 - 1350	min.
Otáčky vřetene - vertikálního	115 - 1750	min.
Vzdál.vřetene od sloupu	200 - 700	mm
Vzdál.vřetene od stolu	100 - 480	mm
Příčný posuv stolu	210	mm
Podélný posuv stolu	370	mm
"T" drážka	14	mm
Jeden dílek noniusu - podélný posuv stolu	0,05	mm
Jeden dílek noniusu - příčný posuv stolu	0,02	mm
Jeden dílek noniusu - svislý posuv stolu	0,02	mm
Jeden dílek noniusu - jemný posuv vřetene	0,05	mm
Podélný posuv strojní	ano	
Příčný posuv strojní	ano	
Digitální odměřování v ose X,Y	ano	
Rozměry (d x š x v)	1280 x 1100 x 1920	mm
Hmotnost	700	kg

6.5 Měřicí zařízení RESIL IMPACTOR JUNIOR

Resil Impactor Junior je zjednodušená verze sofistikovanějšího přístroje Resil. Přístroj umožňuje stanovení odolnosti v Izod, Charpy nebo rázové zkoušky. To kyvadlo je určeno speciálně pro testy v rozmezí 1 - 25 Joule. [14]

Impactor Junior je schopen provádět zkoušky v souladu s velkým množstvím mezinárodních standardů včetně ČSN, EN a ISO. [14]

Mezi další výhody tohoto zařízení rovněž patří možnost připojení k osobnímu počítači, jenž umožňuje pohodlnější získání a vyhodnocení dat.



Obr. 33 Měřicí zařízení RESIL IMPACTOR JUNIOR [14]

Tab. 6 Parametry měřicího zařízení RESIL IMPACTOR JUNIOR

Resil Impactor Junior		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Číslo modelu	6963.000	
Brzda Typ	Manuál	
Potenciální energie	1.25	J
Rozměry	900 x 500 x 800	mm
Hmotnost	180	kg

6.6 Výtlačný plastometr DYNISCO KAYENESS LMI 4003.

Zařízení je určeno pro zjišťování reologických vlastností polymerních materiálů. Mezi nejčastěji měřené vlastnosti patří molekulová hmotnost, viskozita, index toku taveniny.



Obr. 34 Výtlačný plastometr DYNISCO KAYENESS LMI 4003

Tab. 7 Parametry výtlačného plastometru DYNISCO KAYENESS LMI 4003

Dynisco Kayeness LMI 4003		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Teplotní rozsah	425°C (± 0,1)	°C
Rozměry	300 x 350 x 570	mm
Příkon	400	W
Objem zkušebního tělesa	8 – 12	cm ³
Rozměr trysky	D = 2,095, L = 8	mm

6.7 Software Microsoft Excel

Je tabulkový editor určený pro analýzy, sdílení a správu informací. Pomocí tohoto softwaru byla vyhodnocena veškerá data získaná měřeními na výše uvedených měřicích zařízeních.

6.8 Software Microsoft Word

Jedná se o nástroj který umožňuje snadno a jednoduše formátovat text, obrázky, tabulky aj.

Softwaru bylo využito k vytvoření této diplomové práce.

7 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Zkušební tělesa byla vyrobena na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 420C. Stroj byl osazen vstřikovací formou jenž byla navržena tak, aby při jednom vstřikovacím cyklu vyrobila dvě různá zkušební tělesa (jeden kus zkušebního tělíska určeného pro zkoušku tahem a jeden kus zkušebního tělíska určeného pro zkoušku rázové houževnatosti).



Obr. 35 Zkušebních tělesa s vtokovou soustavou.

Polykarbonát ve formě granulí byl nasypán do sušícího zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2, kde byl následně sušen. Během sušícího procesu došlo k předehřátí vstřikovacího stroje a vstřikovací formy na potřebné teploty. Tyto teploty a další vstřikovací parametry byly určeny firmou HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o.

Ke zkoušení byly určeny celkem čtyři druhy materiálu. Vždy se jednalo o polykarbonát s různými hmotnostními koncentracemi recyklátu (PC s obsahem 0% regranulátu, PC s obsahem 20% regranulátu, PC s obsahem 30% regranulátu a PC s obsahem 100% regranulátu).

Tab. 8 Parametry vstřikování

Materiál		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Druh	Polykarbonát (PC)	
Doba sušení	4	h
Teplota sušení	130	°C
Vstřikovací stroj		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Vstřikovací tlak	80	[MPa]
Rychlost vstřikování	60	m/s
Dotlak	60	[MPa]
Doba dotlaku	20	s
Bod přepnutí na dotlak	9	mm
Dráha dávkování	27	mm
Doba chlazení	20	s
Teplota taveniny	250	°C
Teploty pásem plastikační jednotky		
Teplota pod násypkou	90	°C
Teplotní pásmo 1	305	°C
Teplotní pásmo 2	310	°C
Teplotní pásmo 3	315	°C
Teplotní pásmo 4	320	°C
Teplota trysky	315	°C
Vstřikovací forma		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Teplota formy - pevná část	110	°C
Teplota formy - pohyblivá část	110	°C

Zkušební tělíska určená pro zkoušku rázové houževnatosti byla opatřena vrubem, jenž byl vytvořen mechanickým obráběním.

Zkušební tělíska určená pro zkoušku tlakem byla zhotovena z lopatiček a jejich výroba byla provedena mechanickým obráběním na univerzální frézce.

8 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

8.1 Mechanické zkoušky

8.1.1 Zkouška jednoosým tahem

Statická zkouška jednoosým tahem byla provedena na měřícím zařízení ZWICK ROELL 1456. Měření probíhalo dle normy ISO 527-1.

Při zkoušce byly postupně měřeny čtyři druhy materiálů (čistý polykarbonát, polykarbonát s dvaceti procenty recyklátu, polykarbonát s třiceti procenty recyklátu a recyklovaný polykarbonát) při čtyřech různých teplotách (-23°C, 60°C, 80°C a 110°C). Pro každý druh materiálu a každý druh teploty byla provedena série deseti měření (uvedená norma uvádí minimálně pět měření pro jeden druh materiálu a jednu teplotu).

Pro stanovení modulu pružnosti v tahu byl využit extenziometr, který zajistil přesnější výsledky. V průběhu zkoušky modulu pružnosti byla rychlost měření 1 mm/min. Jakmile byl modul pružnosti změřen, došlo o odpojení extenziometru a navýšení rychlosti měření dle tabulek uvedených níže.

Tab. 9 Tahová zkouška, -23°C, 0% rec.

PC - HT		Obsah rec.:		0%	Zkušební teplota		-23°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	100	80,82	2389,04	5,16	63,55	1,03	2,85
2	100	81,9	2666,78	4,97	65,95	0,99	5,49
3	100	79,98	2613,79	5,01	64,15	1	5,8
4	100	80,08	2587,28	4,81	63,1	0,96	5,87
5	100	80,39	2599,03	4,79	64,19	0,96	6,25
6	100	79,64	2549,49	4,82	62,91	0,96	4,67
7	100	78,7	2575,43	4,11	78,7	0,82	1,82
8	100	80,83	2664,82	4,88	63,86	0,98	8,08
9	100	80	2576,77	4,72	63,03	0,94	4,76
10	100	81,12	2641,66	4,82	62,26	0,97	7,88
Ar. průměr		80,35	2586,41	4,809	65,17	0,961	5,347
Směr. odch.		0,882	79,653	0,277	4,859	0,056	1,963

Tab. 10 Tahová zkouška, -23°C, 20% rec.

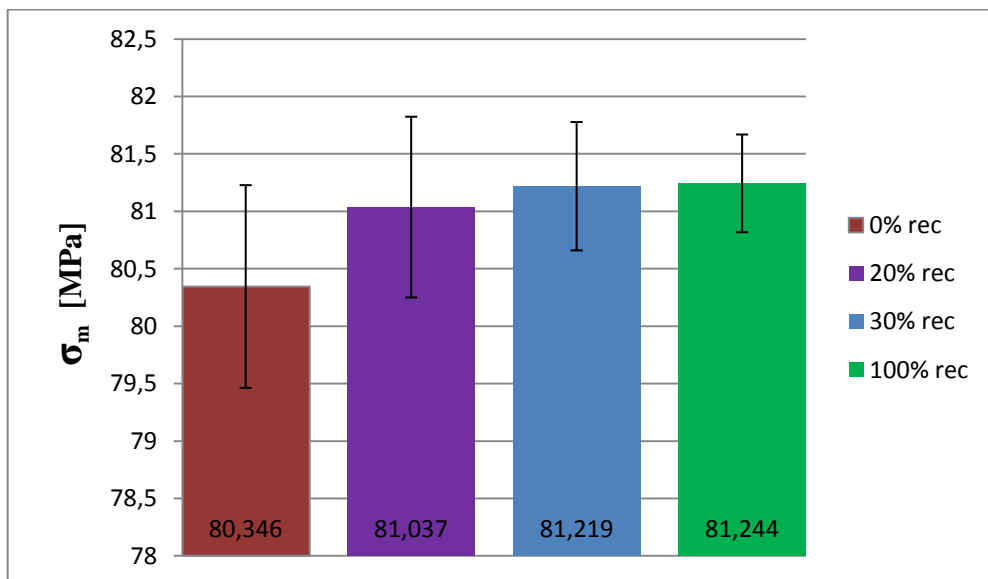
PC - HT		Obsah rec.:		20%	Zkušební teplota		-23°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	100	79,47	2669,47	4,98	63,74	1,03	4,54
2	100	82,11	2627,99	5,2	63,56	1,04	4,87
3	100	81,63	2624,73	4,92	61,99	0,99	13,1
4	100	82,05	2648,56	5,08	64,7	1,02	17,94
5	100	80,91	2629,9	4,91	61,78	1,18	7,67
6	100	81,21	2637,92	5,08	62,47	1,02	11,54
7	100	81	2602,77	4,58	61,81	1,12	9,84
8	100	80,95	2534,81	4,11	64,09	1,03	10,14
9	100	80,52	2504,7	4,21	63,08	1,04	7,51
10	100	80,52	2616,91	5,09	63,3	1,02	3,75
Ar. průměr		81,04	2609,78	4,816	63,052	1,049	9,09
Směr. odch.		0,787	51,187	0,384	1,012	0,057	4,392

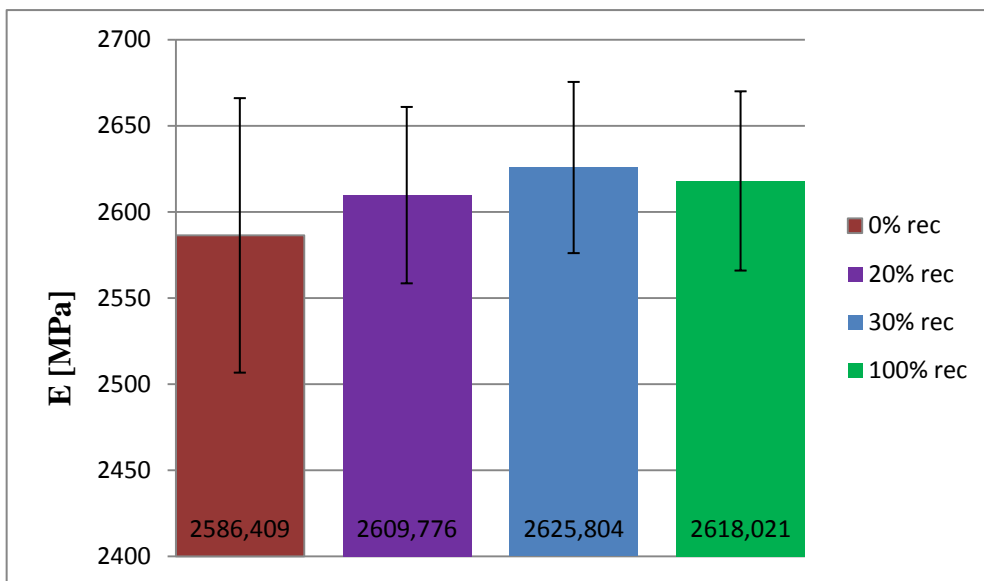
Tab. 11 Tahová zkouška, -23°C, 30% rec.

PC - HT		Obsah rec.:		30%	Zkušební teplota		-23°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	100	80,66	2609	4,85	63,58	0,97	10,16
2	100	81,94	2548,05	4,88	62,82	0,98	5,47
3	100	81,6	2689,8	4,87	64,77	0,98	6,2
4	100	81,14	2604,83	4,85	69,44	0,97	2,34
5	100	81,32	2553,09	4,83	79,1	0,97	2,27
6	100	81,6	2658,25	4,81	64,1	0,96	3,98
7	100	81,28	2625,72	4,85	64,07	0,97	3,96
8	100	79,95	2619,05	4,69	63,41	0,94	3,08
9	100	81,46	2682,08	4,83	61,27	0,97	2,43
10	100	81,24	2668,17	4,88	64,07	0,98	4,68
Ar. průměr		81,22	2625,8	4,834	65,663	0,969	4,457
Směr. odch.		0,559	49,678	0,055	5,163	0,012	2,413

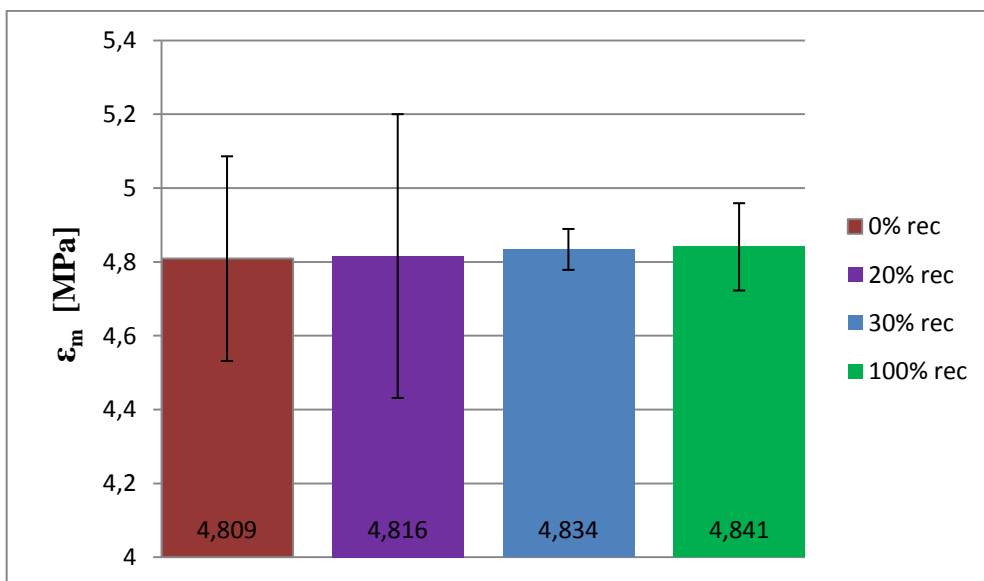
Tab. 12 Tahová zkouška, -23°C, 100% rec.

PC - HT		Obsah rec.:		100%	Zkušební teplota		-23°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	100	80,96	2573,56	4,83	63,51	0,97	4,36
2	100	81,06	2501,49	5,02	63,24	1	4
3	100	81,63	2644,81	4,71	61,6	0,95	3,54
4	100	81,44	2679,78	4,8	64,77	0,96	3,85
5	100	80,92	2647,89	4,83	63,63	0,97	6,05
6	100	81,95	2648,42	4,84	63,66	0,97	7,15
7	100	81,36	2650,09	4,78	64,29	0,96	3,61
8	100	81	2620,39	4,74	63,75	0,95	2,85
9	100	81,6	2630,96	4,78	62,18	0,96	5,43
10	100	80,52	2582,82	5,08	63,42	0,94	6,61
Ar. průměr		81,24	2618,02	4,841	63,405	0,963	4,745
Směr. odch.		0,425	52,010	0,118	0,924	0,016	1,463


 Obr. 36 Vliv rec. na pevnost v tahu - σ_m při teplotě: $T = -23^\circ\text{C}$



Obr. 37 Vliv rec. na modul pružnosti v tahu - E , při teplotě: $T = -23^{\circ}\text{C}$



Obr. 38 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tahu - ϵ_m , při teplotě: $T = -23^{\circ}\text{C}$

Tab. 13 Tahová zkouška, 60°C, 0% rec.

PC - HT		Obsah rec.:		0%	Zkušební teplota		60°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	57,81	1868,21	5,69	44,29	1,24	10,77
2	10	57,11	1821,25	5,47	43,62	1,2	12,51
3	10	56,71	1905,39	5,52	42,1	1,2	9,22
4	10	57,13	1874,13	5,52	55,33	1,21	21,61
5	10	57,29	1605,65	5,56	38,14	1,22	1,99
6	10	56,84	1606,99	5,52	51,67	1,21	19,17
7	10	56,86	2178,95	5,44	52,93	1,19	20,04
8	10	56,99	2168,71	5,46	52,05	1,19	19,62
9	10	56,83	1989,16	5,43	37,56	1,19	2,21
10	10	56,77	1734,3	5,5	49,27	1,2	16,75
Ar. průměr		57,03	1875,27	5,511	46,696	1,205	13,389
Směr. odch.		0,328	199,922	0,075	6,381	0,016	7,267

Tab. 14 Tahová zkouška, 60°C, 20% rec.

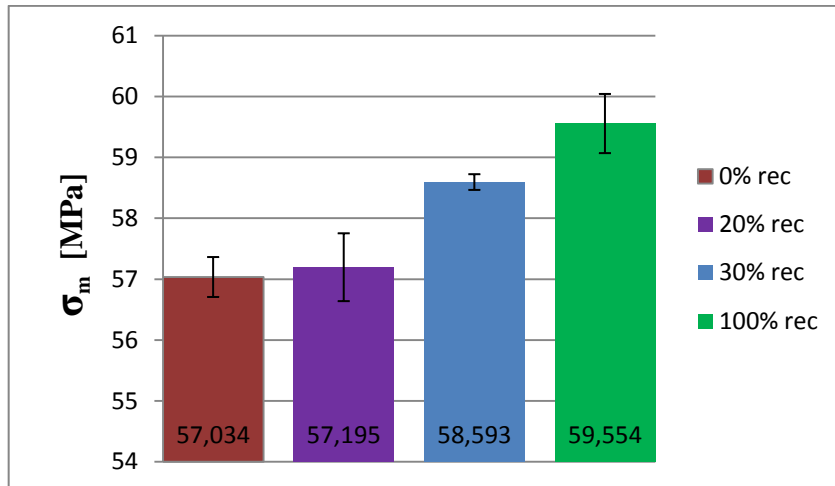
PC - HT		Obsah rec.:		20%	Zkušební teplota		60°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	57,01	1961,59	5,44	50,65	1,19	18,37
2	10	57,14	1977,07	5,41	50,19	1,18	17,54
3	10	57,09	2276,09	5,38	54,03	1,18	20,74
4	10	56,97	1705,26	5,52	53,33	1,21	20,11
5	10	56,97	1897,15	5,49	50,26	1,2	16,88
6	10	58,71	2270,33	5,52	56,51	1,21	21,39
7	10	56,78	1922,02	5,45	50,1	1,19	16,89
8	10	57,34	1862,37	5,45	54,57	1,19	21,17
9	10	56,81	1820,75	5,47	47,7	1,19	16,98
10	10	57,13	2223,63	5,36	45,56	1,18	14,2
Ar. průměr		57,2	1991,63	5,449	51,29	1,192	18,427
Směr. odch.		0,557	198,667	0,054	3,325	0,011	2,357

Tab. 15 Tahová zkouška, 60°C, 30% rec.

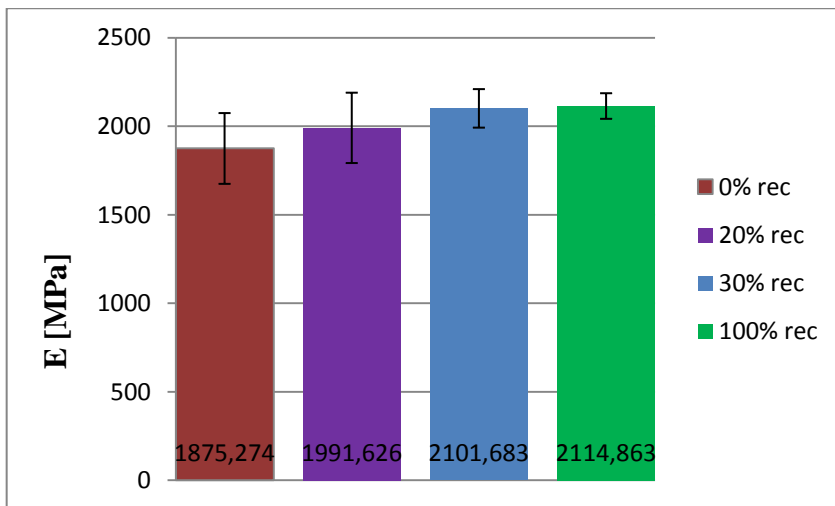
PC - HT		Obsah rec.:		30%	Zkušební teplota		60°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	58,43	2161,54	4,96	41,11	1,09	2,52
2	10	58,55	2104,18	5,03	41,84	1,1	9,62
3	10	58,67	2295,36	5,05	40,79	1,11	10,65
4	10	58,82	2194,05	4,95	43,95	1,09	11,4
5	10	58,61	1930,41	5,16	45,14	1,13	1,79
6	10	58,52	2135,11	4,97	38,6	1,1	3,45
7	10	58,53	2059,49	5,06	42,06	1,11	12,68
8	10	58,77	2146,14	5,04	51,23	1,11	1,56
9	10	58,59	1996,99	4,96	51,16	1,09	17,9
10	10	58,44	1993,56	5,09	42,34	1,12	4,27
Ar. průměr		58,59	2101,68	5,027	43,822	1,105	7,584
Směr. odch.		0,129	108,777	0,068	4,263	0,014	5,618

Tab. 16 Tahová zkouška, 60°C, 100% rec.

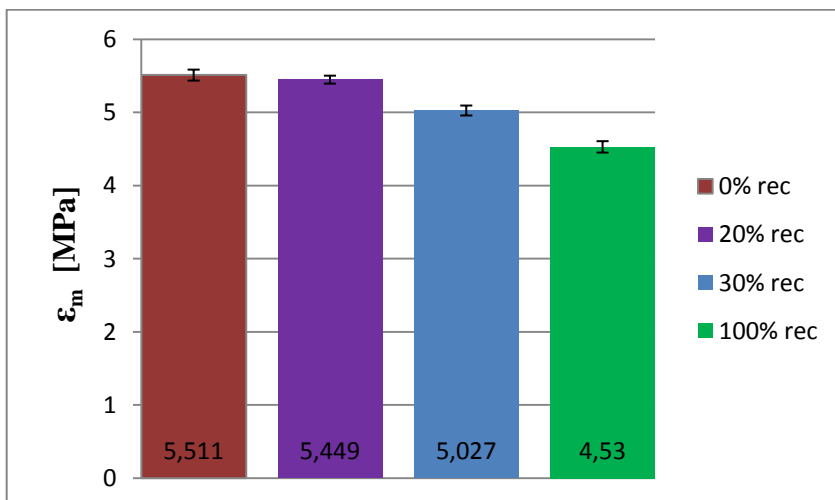
PC - HT		Obsah rec.:		100%	Zkušební teplota		60°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	60,08	2148,93	4,65	44,49	1,03	12,94
2	10	58,69	2064,01	4,61	51,07	1,02	29,59
3	10	59,03	2077,43	4,38	49,15	0,98	23,15
4	10	59,31	2037,3	4,6	45,48	1,02	17,05
5	10	59,78	2148,82	4,5	51,51	1	18,65
6	10	59,38	2028,72	4,47	50,25	1	21,93
7	10	59,65	2148,85	4,51	40,7	1	7,01
8	10	60,26	2122,12	4,56	43,96	1,01	15,52
9	10	59,95	2096,95	4,51	56,43	1	31,79
10	10	59,41	2275,5	4,51	41,07	1	1,42
Ar. průměr		59,55	2114,86	4,53	47,411	1,006	17,905
Směr. odch.		0,486	72,319	0,078	5,078	0,014	9,399



Obr. 39 Vliv rec. na pevnost v tahu - σ_m při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$



Obr. 40 Vliv rec. na modul pružnosti v tahu - E, při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$



Obr. 41 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tahu - ϵ_m při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$

Tab. 17 Tahová zkouška, 80°C, 0% rec.

PC - HT		Obsah rec.:		0%	Zkušební teplota		80°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	52,88	1831,4	4,24	11,17	0,85	2,08
2	10	52,84	1747,87	7,54	42,32	1,5	1,94
3	10	53,53	1485,74	5,86	35,68	1,17	1,72
4	10	52,73	1670,99	5,71	40,13	1,15	7,68
5	10	51,02	1899,82	5,41	37,46	1,08	7,69
6	10	51,07	1807,94	5,36	38,18	1,07	13,46
7	10	53,02	1662,73	5,59	39,22	1,12	10,5
8	10	52,55	1817,75	5,47	36,33	1,1	1,77
9	10	52,66	1560,95	5,83	39,48	1,17	2,24
10	10	51,9	1874,61	5,66	37,85	1,14	4,11
Ar. průměr		52,42	1735,98	5,667	35,782	1,135	5,319
Směr. odch.		0,830	137,444	0,804	8,857	0,158	4,252

Tab. 18 Tahová zkouška, 80°C, 20% rec.

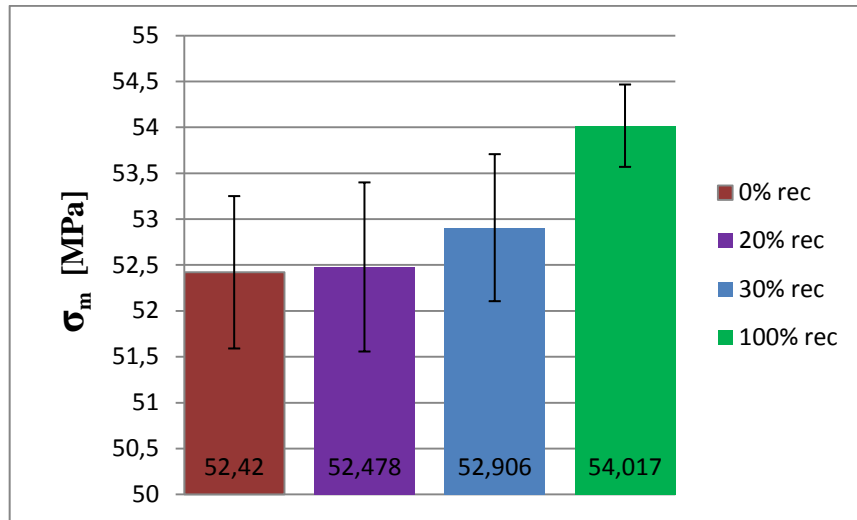
PC - HT		Obsah rec.:		20%	Zkušební teplota		80°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	53,36	1777,28	5,49	47,67	1,1	18,12
2	10	53,25	1789,04	5,54	37,49	1,11	6,83
3	10	53,03	1632,39	5,64	46,8	1,13	17,39
4	10	53,43	1872,64	5,31	48,42	1,06	19,64
5	10	51,54	1759,28	5,47	37,61	1,1	5,8
6	10	51,47	1879,11	5,34	36,33	1,07	2,6
7	10	51,76	1854,5	5,33	35,15	1,06	7,83
8	10	51,53	1876,66	5,47	35,85	1,09	5,91
9	10	51,8	1572,62	5,47	36,28	1,09	4,61
10	10	53,61	1861,49	5,4	39,46	1,07	3,7
Ar. průměr		52,48	1787,5	5,446	40,106	1,088	9,243
Směr. odch.		0,921	107,853	0,103	5,336	0,023	6,501

Tab. 19 Tahová zkouška, 80°C, 30% rec.

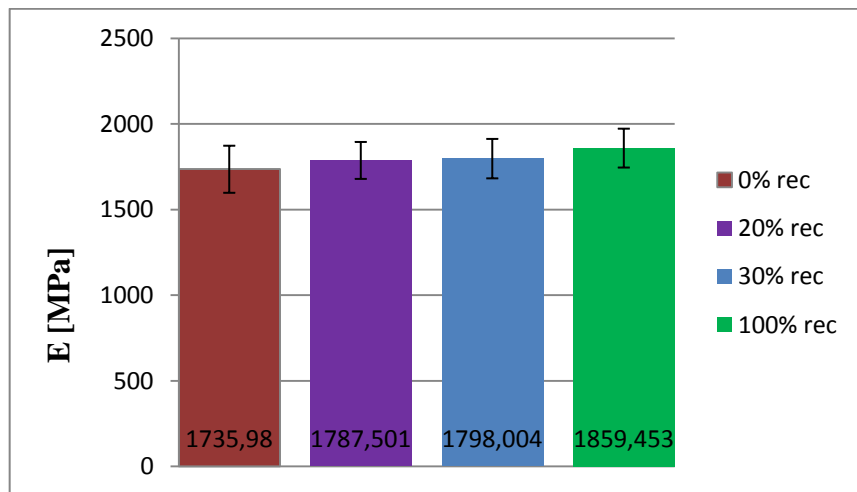
PC - HT		Obsah rec.:		30%	Zkušební teplota		80°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	53,25	1847,33	4,98	37,86	1,02	10,13
2	10	52,85	1846,8	5,66	33,87	1,09	1,62
3	10	53,33	1778,23	4,76	47,52	1,11	19,05
4	10	54,77	1679,09	5,52	45,02	1,07	18,14
5	10	52,2	1859,67	5,67	35,4	1,09	6,08
6	10	52,52	1605,08	5,5	34,53	1,08	1,78
7	10	52,15	1805,03	5,45	48,28	1,05	21,11
8	10	53	1812,36	5,54	40,44	1,07	14,52
9	10	52,03	1719,29	5,61	45,82	1,08	1,44
10	10	52,96	2027,16	5,4	34,62	1,04	1,62
Ar. průměr		52,91	1798	5,409	40,336	1,07	9,549
Směr. odch.		0,801	115,148	0,301	5,825	0,027	8,074

Tab. 20 Tahová zkouška, 80°C, 100% rec.

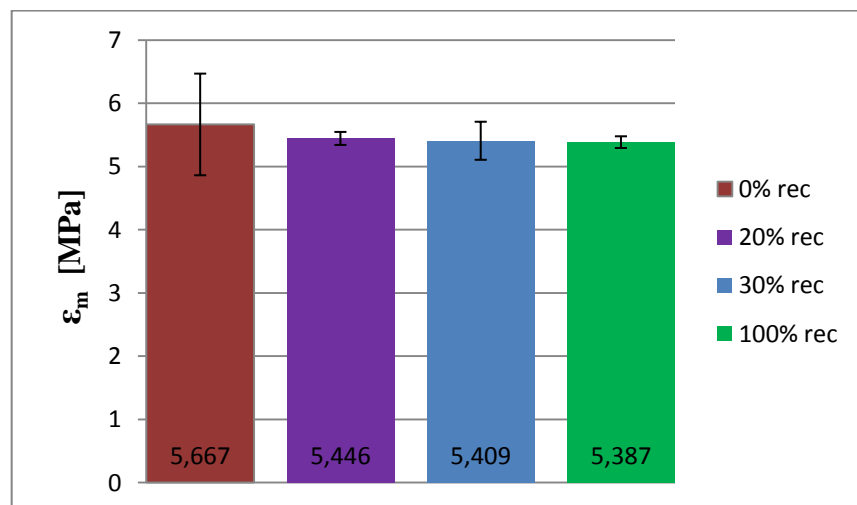
PC - HT		Obsah rec.:		100%	Zkušební teplota		80°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	54,17	1902,73	5,37	44,02	1,07	16,66
2	10	53,89	1923,55	5,3	38	1,06	6,72
3	10	53,56	1697,7	5,41	48,04	1,08	21,08
4	10	53,65	1825,86	5,21	43,84	1,04	16,69
5	10	53,75	1888,53	5,5	41,21	1,1	15,31
6	10	53,63	1906,61	5,34	44,38	1,07	17,06
7	10	53,82	1768,61	5,4	38,67	1,08	8,14
8	10	54,3	2002,99	5,43	46,82	1,08	20,35
9	10	54,98	1681,16	5,53	47,27	1,11	20,37
10	10	54,42	1996,79	5,38	38,37	1,07	7,8
Ar. průměr		54,02	1859,45	5,387	43,062	1,076	15,018
Směr. odch.		0,449	113,455	0,093	3,804	0,020	5,496



Obr. 42 Vliv rec. na pevnost v tahu - σ_m při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$



Obr. 43 Vliv rec. na modul pružnosti v tahu - E , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$



Obr. 44 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tahu - ε_m , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$

Tab. 21 Tahová zkouška, 110°C, 0% rec.

PC - HT		Obsah rec.:		0%	Zkušební teplota		110°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	42,18	1493,15	5,53	41,14	1,01	20,68
2	10	43,36	1499,3	6,07	41,02	1,31	23,39
3	10	44,4	1576,74	6,22	43,09	0,94	22,7
4	10	39,86	1509,32	6,49	36,38	1,4	2,05
5	10	42,95	1476,42	6,54	24,65	1,41	6,03
6	10	43,98	1495,91	6,72	38,73	1,45	19,41
7	10	41,25	1483,59	6,54	36,92	1,41	21,73
8	10	40,38	1350,11	6,5	39,41	1,4	23,25
9	10	41,6	1408,08	6,76	32,93	1,46	17,36
10	10	40,63	1324,36	5,96	30,37	1,29	15,65
Ar. průměr		42,06	1461,7	6,333	36,464	1,308	17,225
Směr. odch.		1,572	77,431	0,385	5,674	0,184	7,449

Tab. 22 Tahová zkouška, 110°C, 20% rec.

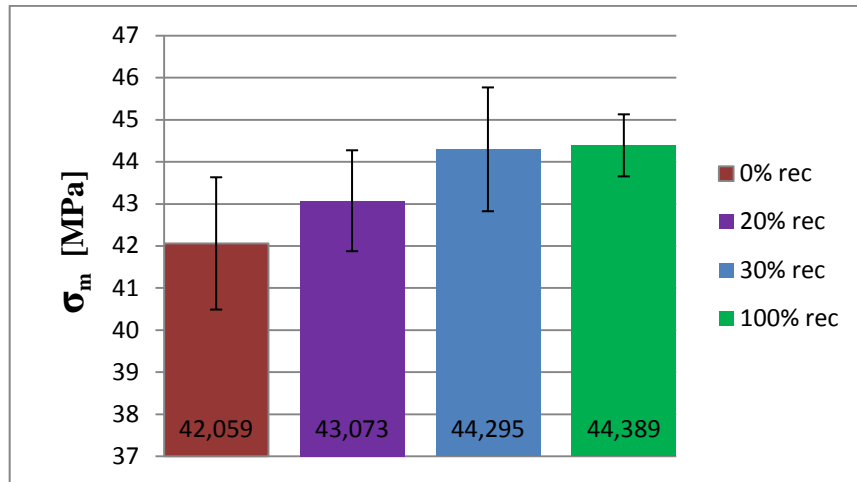
PC - HT		Obsah rec.:		20%	Zkušební teplota		110°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	43,01	1416,02	6,14	40,73	0,93	24,97
2	10	43,27	1533,35	7,21	42,18	0,94	24,73
3	10	45,32	1213,31	4,84	9,06	1,07	2,22
4	10	42,92	1307,24	4,69	36,39	1,04	18,43
5	10	44,68	1509,48	6,55	44,24	1,01	25,04
6	10	43,29	1446,27	6,89	41,34	1,08	23,94
7	10	42,33	1501,35	6,96	40,57	1,09	25,2
8	10	41,81	1467,16	6,4	38,25	1,98	20,84
9	10	41,36	1439,9	6,74	39,02	1,85	22,08
10	10	42,74	1436	5,07	36,03	1,31	18,23
Ar. průměr		43,07	1427,01	6,149	36,781	1,23	20,568
Směr. odch.		1,199	97,752	0,938	10,066	0,377	6,981

Tab. 23 Tahová zkouška, 110°C, 30% rec.

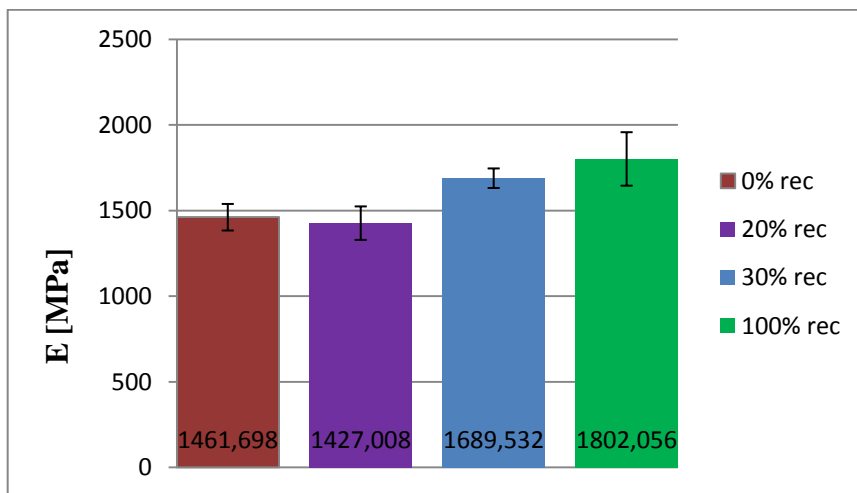
PC - HT		Obsah rec.:		30%	Zkušební teplota		110°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	43,61	1719,43	5,93	30,37	1,58	6,36
2	10	40,8	1729,01	5,9	34,98	1,18	18,38
3	10	45,09	1703,07	5,75	33,13	1,15	9,72
4	10	45,42	1705,09	5,72	28,08	1,15	3
5	10	45,69	1636,03	5,8	9,12	1,16	1,99
6	10	45,09	1688,35	5,68	34,62	1,14	15,41
7	10	43,71	1785,81	5,81	39,72	1,16	20,54
8	10	45,06	1635,88	5,64	43,35	1,13	23,93
9	10	45,07	1584	5,84	42,29	1,17	22,48
10	10	43,41	1708,65	5,7	42,1	1,14	22,98
Ar. průměr		44,3	1689,53	5,777	33,776	1,196	14,479
Směr. odch.		1,471	57,147	0,096	10,129	0,136	8,529

Tab. 24 Tahová zkouška, 110°C, 100% rec.

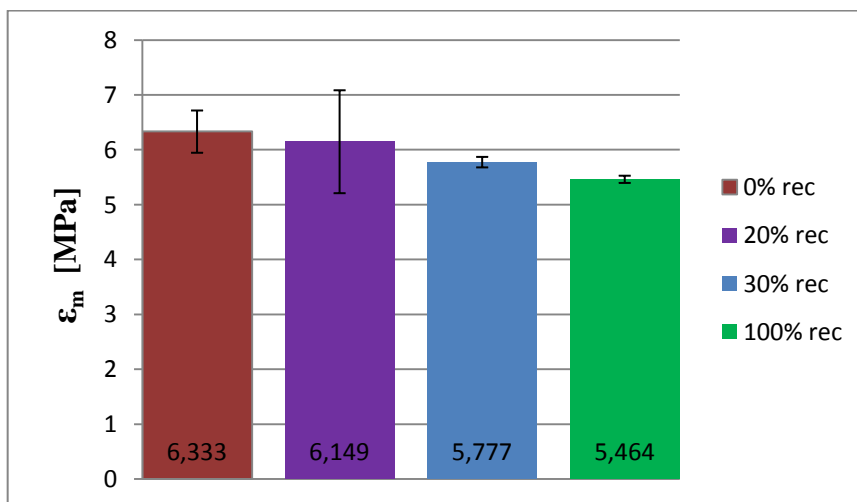
PC - HT		Obsah rec.:		100%	Zkušební teplota		110°C
	Rychlost	σ_m	E-Modulus	ϵ_m	σ_B	$\Delta L_{(Fm)}$	ϵ_B
Pč.	mm/min	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	mm	mm
1	10	45,58	1776,67	5,57	39,17	1,12	20,42
2	10	44,46	1962,85	5,43	36,19	1,09	19,19
3	10	43,58	1874,1	5,41	38,85	1,08	22,24
4	10	44,34	2008,1	5,45	41,21	1,09	24,57
5	10	43,47	1981,77	5,35	36,66	1,07	19,88
6	10	44,03	1556,96	5,5	39,98	1,1	23,03
7	10	44,64	1634,88	5,5	40,28	1,1	25,3
8	10	43,56	1820,58	5,41	35,59	1,08	18,81
9	10	44,99	1750,86	5,49	37,22	1,1	20,51
10	10	45,24	1653,79	5,53	38,87	1,11	22,35
Ar. průměr		44,39	1802,06	5,464	38,402	1,094	21,63
Směr. odch.		0,737	156,137	0,066	1,890	0,015	2,227



Obr. 45 Vliv rec. na pevnost v tahu - σ_m , při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$



Obr. 46 Vliv rec. na modul pružnosti v tahu - E, při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$



Obr. 47 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tahu - ϵ_m , při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$

Tab. 25 Tahová zkouška, mez pevnosti - σ_m

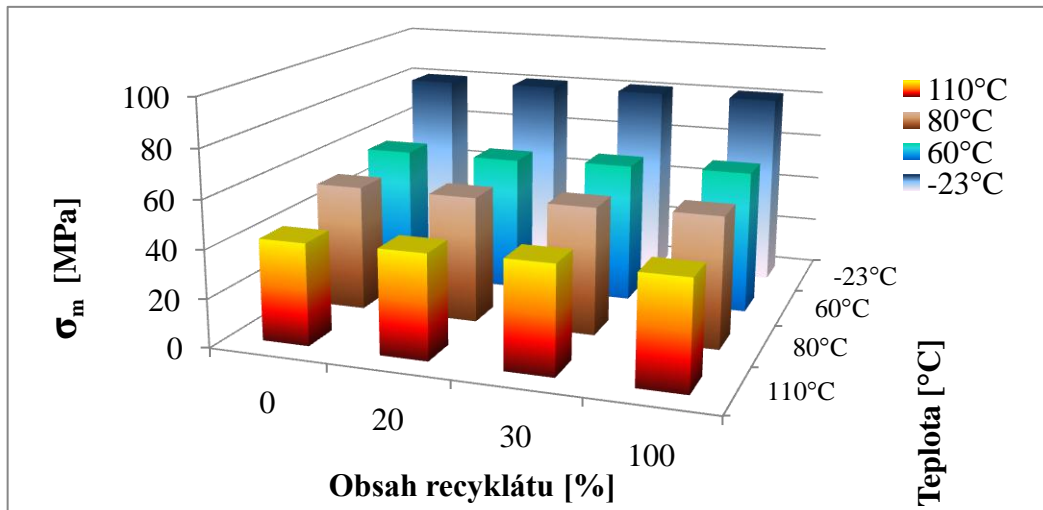
Mez pevnosti v tahu - σ_m [MPa]				
	Obsah recyklátu [%]			
	0	20	30	100
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.
-23	80,346	81,037	81,219	81,244
	0,882	0,787	0,559	0,425
60	57,034	57,195	58,593	59,554
	0,328	0,557	0,129	0,486
80	52,420	52,478	52,906	54,017
	0,830	0,921	0,801	0,449
110	42,059	43,073	44,295	44,389
	1,572	1,199	1,471	0,737

Tab. 26 Tahová zkouška, modul pružnosti - E

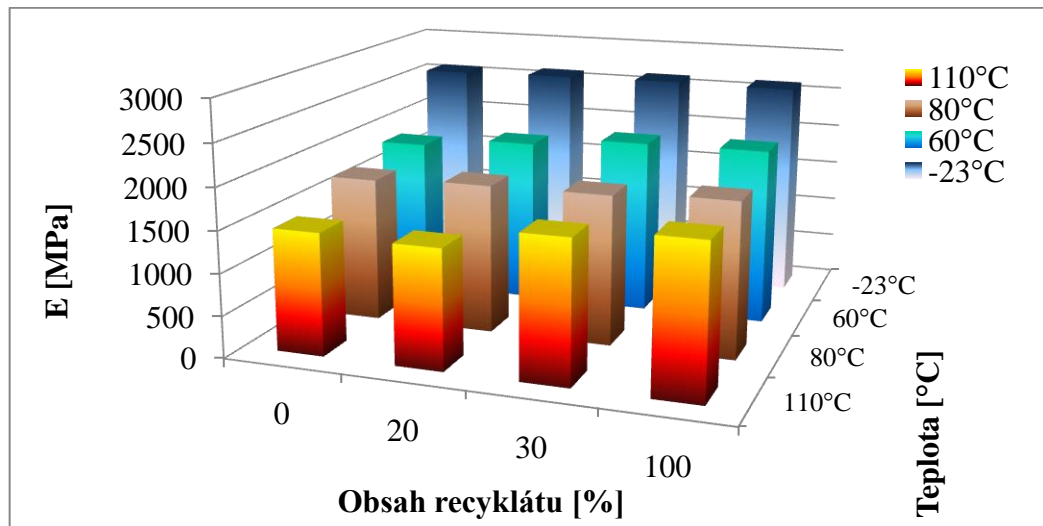
Modul pružnosti v tahu - E [MPa]				
	Obsah recyklátu [%]			
	0	20	30	100
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.
-23	2586,409	2609,776	2625,804	2618,021
	79,653	51,187	49,678	52,010
60	1875,274	1991,626	2101,683	2114,863
	199,922	198,667	108,777	72,319
80	1735,980	1787,501	1798,004	1859,453
	137,444	107,853	115,148	113,455
110	1461,698	1427,008	1689,532	1802,056
	77,431	97,752	57,147	156,137

Tab. 27 Tahová zkouška, poměrné prodloužení - ε_m

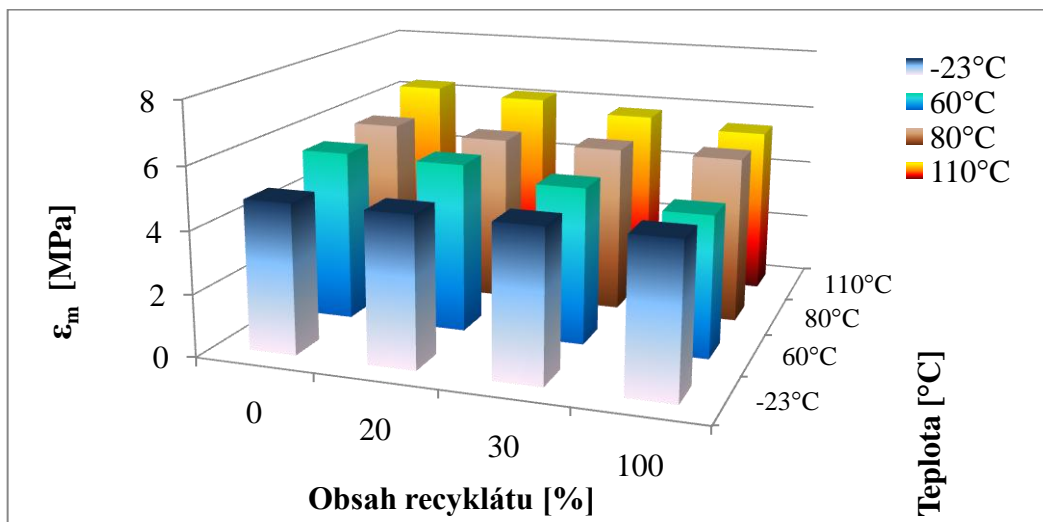
Poměrné prodloužení v tahu - ε_m				
	Obsah recyklátu [%]			
	0	20	30	100
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.
-23	4,809	4,816	4,834	4,841
	0,277	0,384	0,055	0,118
60	5,511	5,449	5,027	4,530
	0,075	0,054	0,068	0,078
80	5,667	5,446	5,409	5,387
	0,804	0,103	0,301	0,093
110	6,333	6,149	5,777	5,464
	0,385	0,103	0,096	0,066



Obr. 48 Vliv rec. a teploty na pevnost v tahu - σ_m



Obr. 49 Vliv rec. a teploty na modul pružnosti v tahu - E



Obr. 50 Vliv rec. a teploty na poměrné prodloužení v tahu - ϵ_m

Výsledky zkoušky jednoosým tahem

Z uvedených výsledků vyplývá, že se stoupajícím obsahem recyklátu a klesající teplotou, stoupají hodnoty napětí na mezi pevnosti a modulu pružnosti. Zároveň ale klesají hodnoty poměrného prodloužení. Z důvodu relativně vysokých odchylek v rámci jedné teploty jsou rozdíly mezi jednotlivými zprůměrovanými hodnotami zanedbatelné. Regranulát má tedy velmi malý vliv na tahové vlastnosti.

8.1.2 Zkouška jednoosým tlakem

Statická zkouška jednoosým tlakem byla provedena na měřícím zařízení ZWICK ROELL 1456. Měření probíhalo dle normy ISO 604.

Při zkoušce byly postupně měřeny čtyři druhy materiálů (čistý polykarbonát, polykarbonát s dvaceti procenty recyklátu, polykarbonát s třiceti procenty recyklátu a recyklovaný polykarbonát) při čtyřech různých teplotách (-23°C, 60°C, 80°C a 110°C). Pro každý druh materiálu a každý druh teploty byla měřena série deseti měření (uvedená norma uvádí minimálně pět měření pro jeden druh materiálu a jednu teplotu).

Modul pružnosti byl stanoven na odlišných zkušebních tělískách (délka zkušebního tělíska pro stanovení modulu pružnosti - $l = 50\text{mm}$) než zbylé materiálové hodnoty (rozměry zkušebních kvádrů byly vyrobeny vstřikováním a následným obráběním dle ISO 604) . V průběhu měření zkoušek byla rychlost měření 2 mm/min.

Tab. 28 Tlaková zkouška, -23°C, 0% rec

PC - HT		Obsah rec.:		0%	Zkušební teplota		-23°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(F_m)}$	E-Modulus
PČ	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²
1	86,44	11,25	39,64	30,39	3,2	1,18	1851,37
2	85,42	11,11	34,95	24,38	2,53	1,15	1802,87
3	78,22	10,27	41,2	21,84	2,23	1,05	1799,59
4	87,43	11,89	33,44	32,83	3,38	1,22	1779,01
5	84,09	10,78	38,13	23,44	2,49	1,15	1836,85
6	80,53	10,7	41,28	21,87	2,25	1,1	1745,22
7	82,53	10,37	40,14	22,61	2,35	1,08	1798,75
8	84,77	11,42	36,61	24,79	2,13	1,23	1870,5
9	82,98	10,61	36,94	24,88	2,61	1,11	1823,73
10	83,09	10,81	28,29	22,51	2,33	1,12	1757,35
Ar. průměr	83,550	10,921	37,062	24,954	2,550	1,139	1806,524
Směr. odch.	2,744	0,499	4,040	3,725	0,418	0,059	39,965

Tab. 29 Tlaková zkouška, -23°C, 20% rec

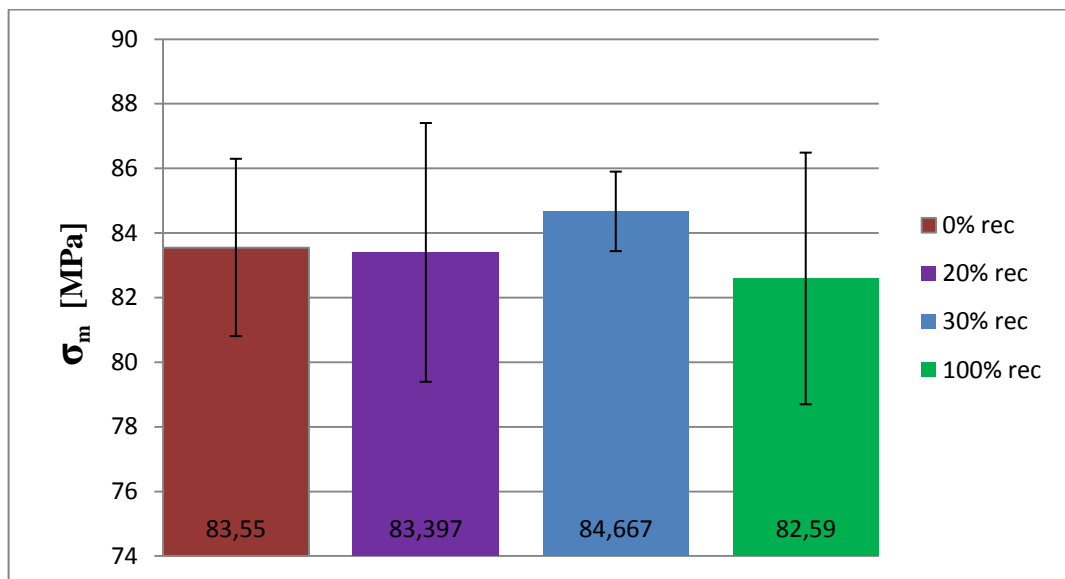
PC - HT		Obsah rec.:			20%	Zkušební teplota		-23°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	85,63	10,81	35,11	28,04	2,86	1,1	1842,7	
2	85,37	10,24	30,23	23,95	2,46	1,05	1802,6	
3	73,13	10,42	33,62	21,77	2,22	1,06	1812,82	
4	85,12	12,08	41,74	31,56	3,28	1,26	1679,29	
5	85,87	10,46	30,85	24,19	2,46	1,07	1854,11	
6	85,24	10,77	35,78	26,8	2,74	1,1	1855,69	
7	82,83	10,01	24,33	21,17	2,18	1,03	1851,76	
8	86,73	10,86	33,27	24,25	2,47	1,11	1760,78	
9	80,93	10,51	42,59	28,72	2,93	1,07	1796,46	
10	83,12	10,18	38,62	22	2,25	1,04	1864,93	
Ar. průměr	83,397	10,634	34,614	25,245	2,585	1,089	1812,114	
Směr. odch.	4,005	0,581	5,518	3,419	0,358	0,066	57,323	

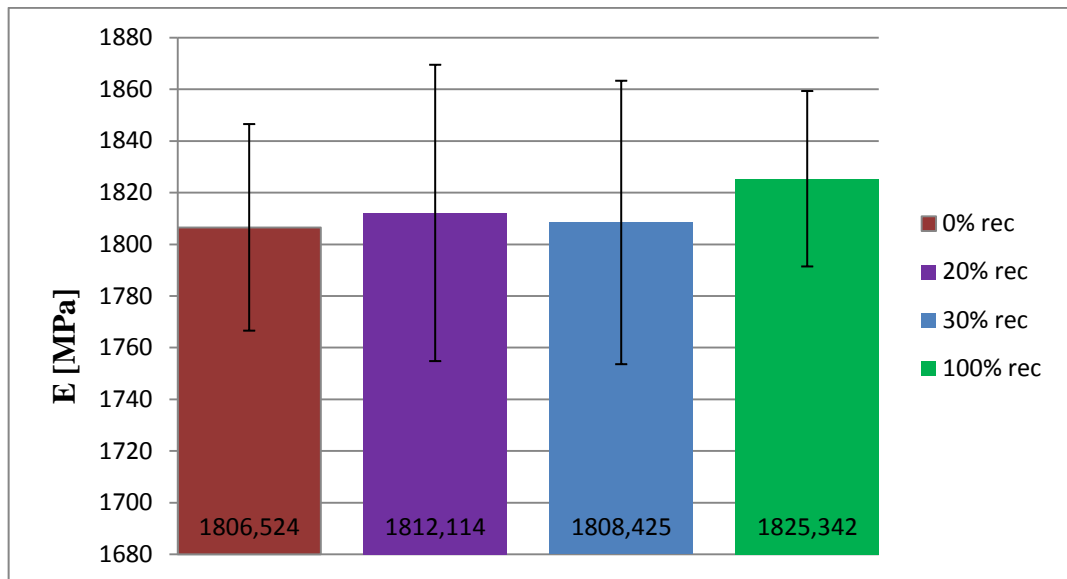
Tab. 30 Tlaková zkouška, -23°C, 30% rec

PC - HT		Obsah rec.:			30%	Zkušební teplota		-23°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	86,87	11,25	38,47	32,69	3,28	1,13	1754,01	
2	85,67	11,19	40,36	26,79	2,74	1,14	1786,45	
3	85,03	11,7	39,95	21,25	2,16	1,19	1839,32	
4	83,55	10,07	34,87	23,18	2,38	1,03	1813,69	
5	85,45	11,35	36,96	28,77	2,94	1,16	1688,9	
6	83,01	10,54	36,53	23,27	2,36	1,07	1867,36	
7	83,27	10,06	35,78	23,24	2,39	1,03	1836,6	
8	84	10,66	33,34	24,1	2,47	1,02	1835,44	
9	84,4	10,71	36,92	24,48	2,48	1,09	1865,22	
10	85,42	11,48	39,57	26,8	2,77	1,19	1797,26	
Ar. průměr	84,667	10,901	37,275	25,457	2,597	1,105	1808,425	
Směr. odch.	1,231	0,578	2,301	3,371	0,334	0,066	54,833	

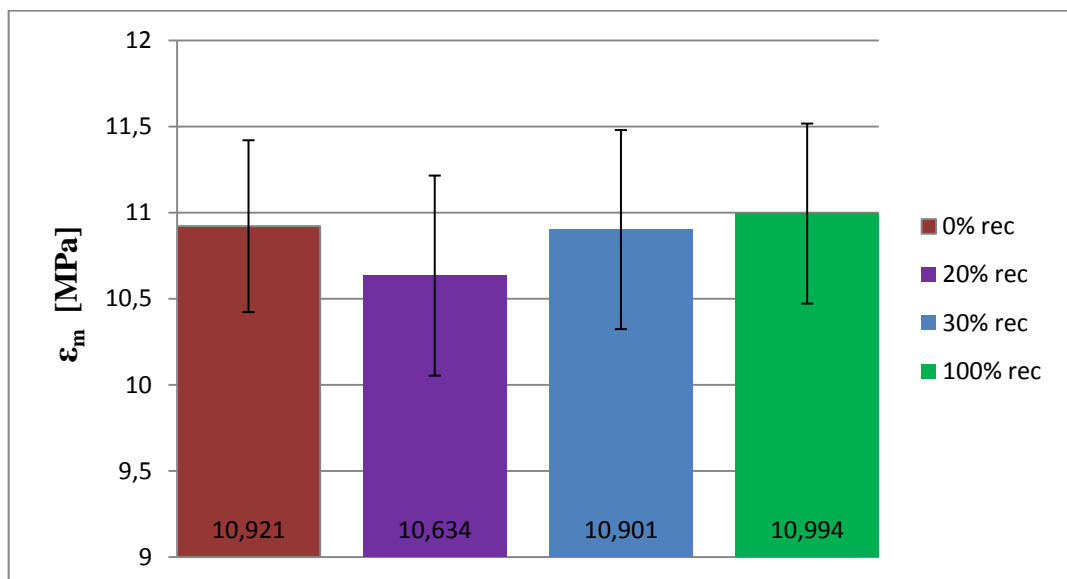
Tab. 31 Tlaková zkouška, -23°C , 100% rec

PC - HT		Obsah rec.:			100%	Zkušební teplota		-23°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm^2	%	N/mm^2	%	mm	mm	N/mm^2	
1	86,01	11,2	47,08	28,66	3,2	1,13	1753,83	
2	82,03	11,54	42,5	23,87	2,41	1,16	1790,24	
3	80,79	10,98	39,8	26,17	2,72	1,14	1857,79	
4	79,98	10,1	39,66	22,47	2,28	1,02	1843,28	
5	73,74	10,34	35,21	19,3	1,96	1,05	1842,7	
6	82,61	11,04	44,05	25,38	2,58	1,12	1840,86	
7	86,38	11,66	38,19	34,65	3,51	1,18	1803,87	
8	85,76	10,84	33,72	27,25	2,75	1,09	1861,64	
9	86,02	11,56	38,88	28,41	2,88	1,17	1841,55	
10	82,58	10,68	41,01	25,31	2,6	1,1	1817,66	
Ar. průměr	82,590	10,994	40,010	26,147	2,689	1,116	1825,342	
Směr. odch.	3,895	0,522	3,956	4,107	0,444	0,052	33,933	


 Obr. 51 Vliv rec. na pevnost v tlaku - σ_m , při teplotě: $T = -23^{\circ}\text{C}$



Obr. 52 Vliv rec. na modul pružnosti v tlaku - E , při teplotě: $T = -23^{\circ}\text{C}$



Obr. 53 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tlaku - ϵ_m , při teplotě: $T = -23^{\circ}\text{C}$

Tab. 32 Tlaková zkouška, 60°C, 0% rec

PC - HT		Obsah rec.:			0%	Zkušební teplota		60°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	64,67	9,61	25,12	28,64	3,07	1,03	1670,5	
2	58,13	8,26	33,72	16,85	1,73	0,85	1724,73	
3	62,3	10,06	-	-	-	1,03	1482,12	
4	62,82	9,03	16,92	41,24	4,39	0,96	1761,89	
5	67,46	9,91	42,17	33,86	3,58	1,05	1736,06	
6	65,24	8,28	22,36	35,5	3,65	0,85	1666,87	
7	63,48	10,17	-	-	-	1,05	1706,28	
8	65,08	9,05	16,79	35,89	3,7	0,93	1659,99	
9	64,14	8,9	-	-	-	0,94	1710,47	
10	66,66	9,41	21,67	28,86	2,96	0,97	1755,06	
Ar. průměr	63,998	9,268	25,536	31,549	3,297	0,966	1687,397	
Směr. odch.	2,608	0,685	9,306	7,805	0,835	0,075	80,536	

Tab. 33 Tlaková zkouška, 60°C, 20% rec

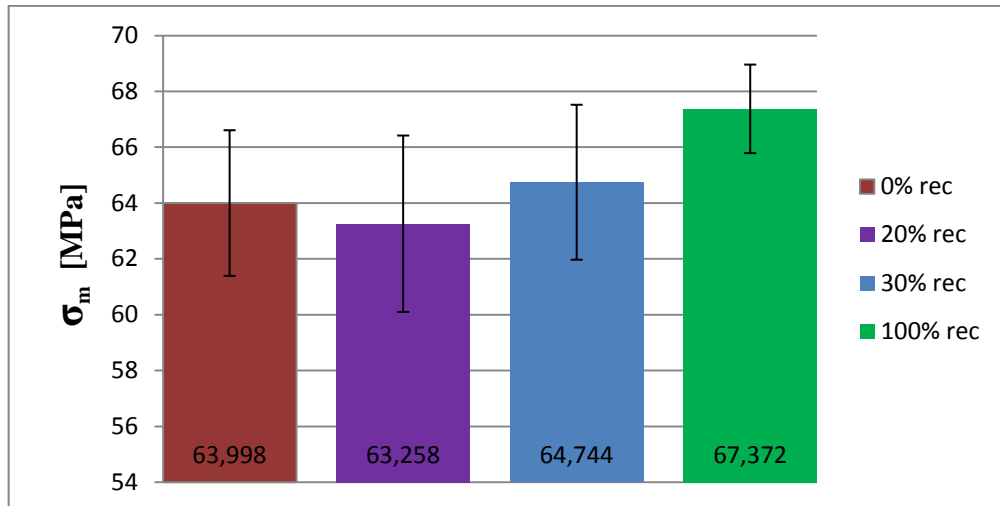
PC - HT		Obsah rec.:			20%	Zkušební teplota		60°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	67,46	10,19	21,09	32,13	3,42	1,09	1581,02	
2	61,89	10,78	28,1	37,63	3,94	1,13	1752,13	
3	63,02	9,05	-	-	-	1,15	1684,82	
4	62,3	10,23	23,95	37,67	3,92	1,06	1638,52	
5	65,64	9,02	16,99	38,36	4,08	1,17	1711,7	
6	65,1	10,51	-	-	-	1,11	1750,07	
7	63,03	11,04	20,94	28,79	3,02	1,16	1788,94	
8	60,88	10,43	12,93	26,28	2,77	1,1	1765,2	
9	56,67	8,39	30,34	13,85	1,5	0,91	1640,89	
10	66,59	10,77	16,75	26,31	2,82	1,15	1766,33	
Ar. průměr	63,258	10,041	21,386	30,128	3,184	1,103	1707,962	
Směr. odch.	3,158	0,898	5,909	8,290	0,857	0,076	69,080	

Tab. 34 Tlaková zkouška, 60°C, 30% rec

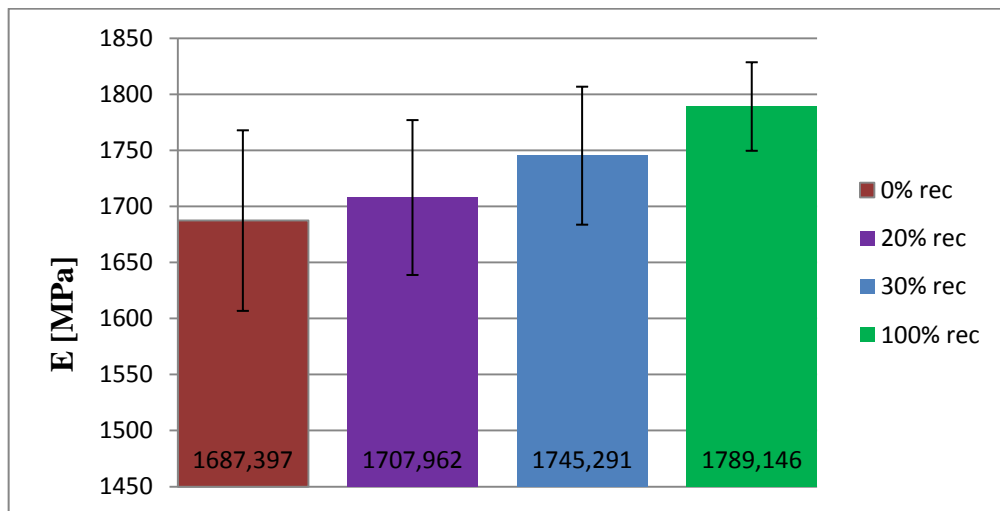
PC - HT		Obsah rec.:			30%	Zkušební teplota		60°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	63,52	10,34	18,16	21,18	2,29	1,12	1815,82	
2	65,14	9,63	35,38	19,65	2,06	1,01	1794,82	
3	62,07	9	25,25	23,02	2,41	0,94	1787,65	
4	66,83	10,03	33,92	32,05	3,32	1,04	1724,22	
5	69,03	8,75	19,5	29,18	2,99	0,9	1690,94	
6	63,45	7,96	32,28	25,77	2,77	0,86	1668,81	
7	59,86	8,82	26,19	28,51	2,89	0,89	1741,67	
8	68,12	9,53	17,47	33	3,37	0,97	1823,58	
9	65,35	8,99	18,72	29,19	2,97	0,91	1648,68	
10	64,07	9,28	16,87	29,07	3,02	0,96	1756,72	
Ar. průměr	64,744	9,233	24,374	27,062	2,809	0,960	1745,291	
Směr. odch.	2,774	0,687	7,281	4,507	0,432	0,079	61,532	

Tab. 35 Tlaková zkouška, 60°C, 100% rec

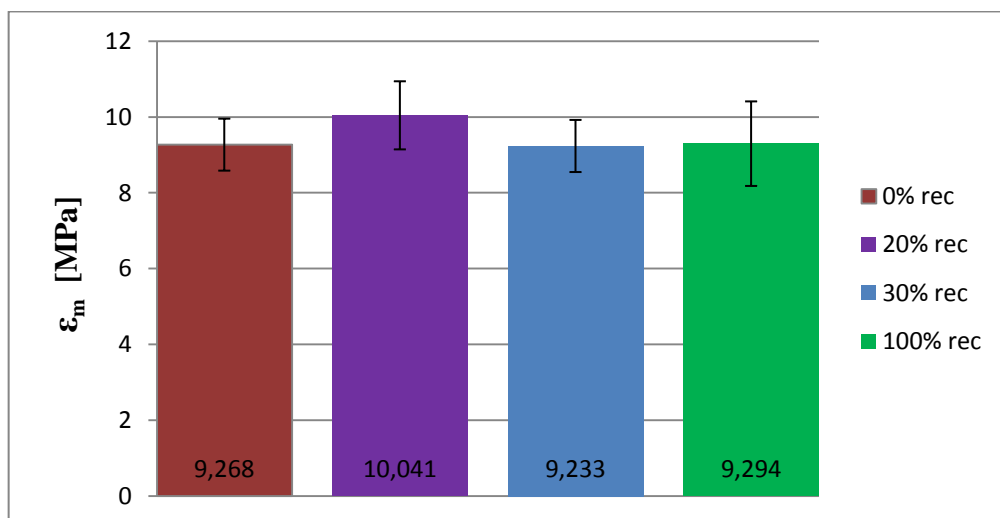
PC - HT		Obsah rec.:			100%	Zkušební teplota		60°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	67,38	9,85	-	-	-	0,92	1746,95	
2	63,86	9,2	33,26	20,32	2,06	0,93	1704,65	
3	68,77	9,26	19,9	25,85	2,65	0,95	1780,38	
4	68,31	8,4	22,89	32,29	3,35	0,87	1806,18	
5	67,47	8,74	29,01	33,97	3,62	0,93	1811,03	
6	66,45	8,93	30,29	30,3	3,17	0,93	1843,41	
7	69,23	8,18	-	-	-	6,05	1813,45	
8	68,83	11,04	25,65	35,88	3,69	1,13	1804,85	
9	66,97	8,08	30,96	26,01	2,68	0,83	1774,84	
10	66,45	11,26	34,32	33,85	3,46	1,15	1805,72	
Ar. průměr	67,372	9,294	28,285	29,809	3,085	1,469	1789,146	
Směr. odch.	1,585	1,115	5,060	5,306	0,570	1,613	39,479	



Obr. 54 Vliv rec. na pevnost v tlaku - σ_m , při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$



Obr. 55 Vliv rec. na modul pružnosti v tlaku - E , při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$



Obr. 56 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tlaku - ϵ_m , při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$

Tab. 36 Tlaková zkouška, 80°C, 0% rec

PC - HT		Obsah rec.:			0%	Zkušební teplota		80°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	59,54	8	23,23	35,48	3,89	0,88	1430,39	
2	54,45	8,43	16,26	21,57	2,33	0,91	1683,4	
3	62,86	8,93	20,12	34,31	3,83	1	1595,45	
4	57,88	8,51	14,44	29,58	3,09	0,89	1638,4	
5	60,19	8,9	33,07	17,43	1,86	0,95	1666,57	
6	64,32	8,79	16,95	36,8	3,88	0,93	1488,03	
7	61,48	8,3	15,48	23,84	2,56	0,89	1672,42	
8	60,55	8,26	12,11	40,19	4,25	0,87	1663,47	
9	57,79	8,84	15,23	28,18	3,06	0,96	1684,68	
10	59,08	8	15,93	22,04	2,41	0,87	1717,62	
Ar. průměr	59,814	8,496	18,282	28,942	3,116	0,915	1624,043	
Směr. odch.	2,794	0,357	6,037	7,611	0,815	0,044	93,503	

Tab. 37 Tlaková zkouška, 80°C, 20% rec

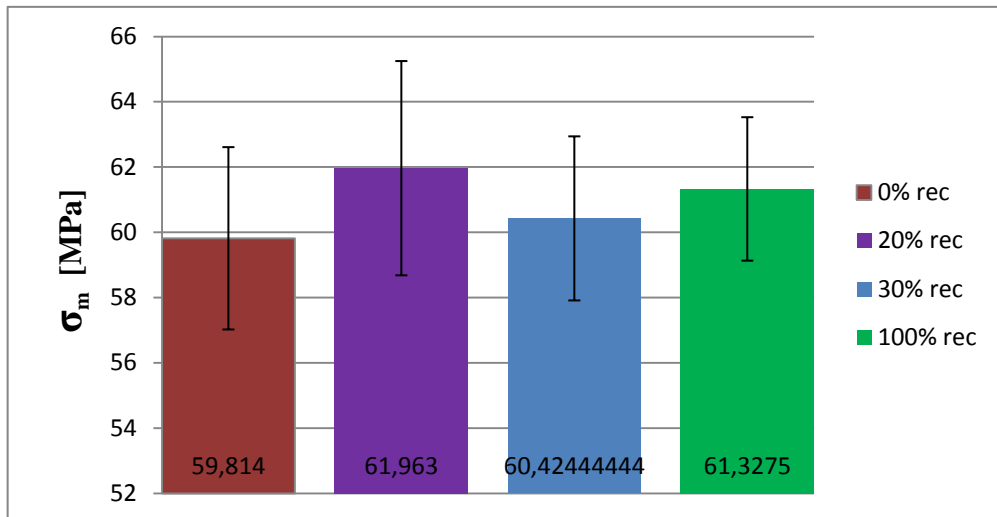
PC - HT		Obsah rec.:			20%	Zkušební teplota		80°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	62,66	8,05	-	-	-	0,86	1512,62	
2	57,91	8,57	11,56	25,52	2,75	1,03	1655,99	
3	63,67	8,67	12,73	44,64	4,9	0,95	1511,05	
4	63,17	9,86	17,31	37,32	4,03	1,07	1658,11	
5	64,31	8,74	18,02	33,03	3,57	0,95	1658,19	
6	65,89	9,05	17,53	24,4	2,68	0,99	1603,45	
7	63,66	9,73	12,72	28,27	3,09	1,06	1684,95	
8	63,5	9,99	16,18	35,03	3,97	1,13	1633,41	
9	59,49	9,8	13,88	28,83	3,12	1,06	1667,43	
10	55,37	7,51	25,76	28,13	3,16	0,84	1705,62	
Ar. průměr	61,963	8,997	16,188	31,686	3,474	0,994	1629,082	
Směr. odch.	3,284	0,842	4,312	6,482	0,718	0,094	67,523	

Tab. 38 Tlaková zkouška, 80°C, 30% rec

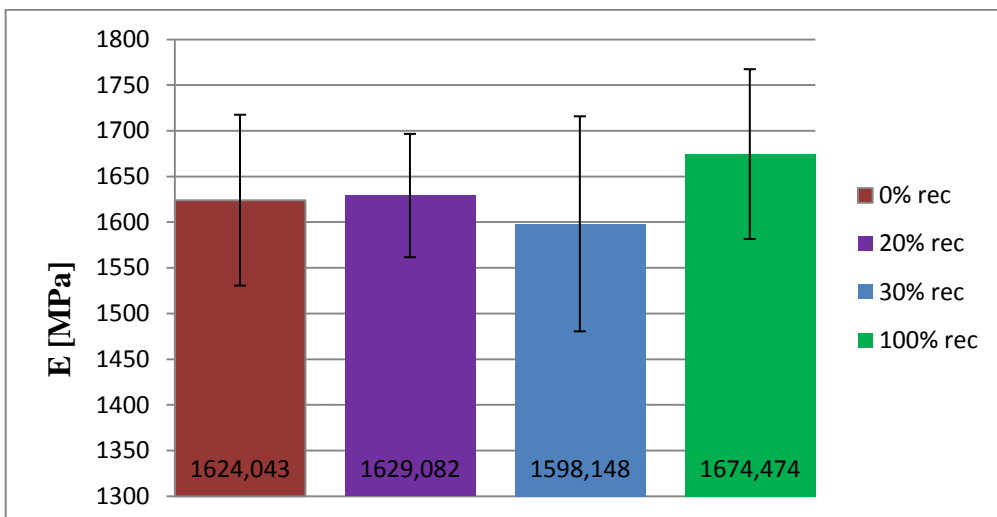
PC - HT		Obsah rec.:			30%	Zkušební teplota		80°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	62,03	8,43	28,7	19,76	2,07	0,88	1626,19	
2	62,17	8,42	13,08	21,59	2,36	0,92	1701,12	
3	63,84	8,7	-	-	-	-	1639,85	
4	61,6	6,8	18,67	28,13	3,08	0,75	1741,77	
5	59,83	7,76	19,31	25,84	2,72	0,82	1418,8	
6	61,79	8	-	-	-	0,76	1485,27	
7	59,23	7,75	26,82	19,91	2,1	0,82	1676,74	
8	56,64	8,2	34,85	21,95	2,3	0,96	1416,92	
9	-	-	-	-	-	-	1681,65	
10	56,69	8,42	18,85	32,39	3,42	0,89	1593,17	
Ar. průměr	60,424	8,053	22,897	24,224	2,579	0,850	1598,148	
Směr. odch.	2,515	0,570	7,477	4,747	0,515	0,075	117,701	

Tab. 39 Tlaková zkouška, 80°C, 100% rec

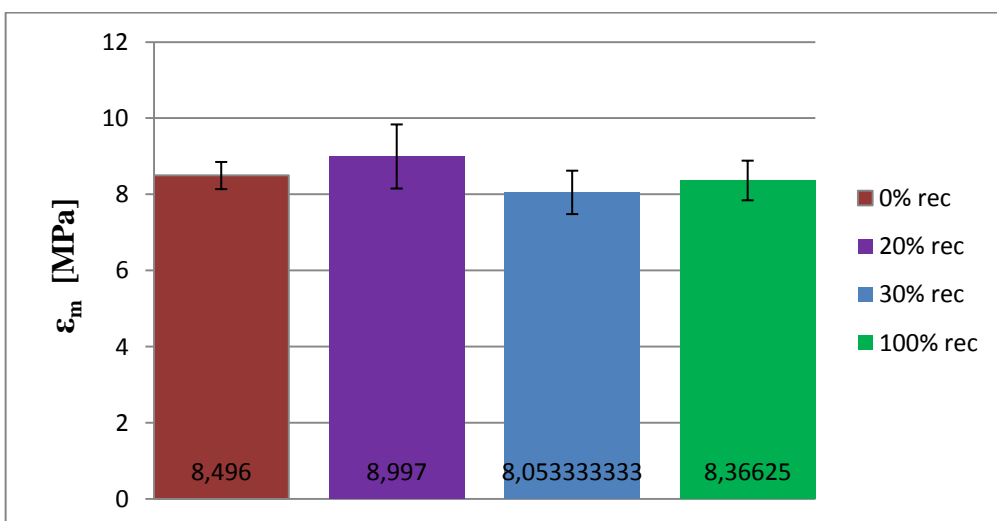
PC - HT		Obsah rec.:			100%	Zkušební teplota		80°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	-	-	-	-	-	-	1483,61	
2	63,25	8,75	25,65	25,98	2,74	0,92	1534,75	
3	62,66	8,17	-	-	-	0,87	1685,13	
4	60,34	8,05	13,69	38,85	4,1	0,85	1662,5	
5	-	-	-	-	-	-	1738,36	
6	57,79	8,25	13,34	23,41	2,52	0,89	1758,82	
7	59,59	7,42	11,91	34,29	3,65	0,79	1733,3	
8	64,48	8,37	24,53	32,46	3,44	0,89	1733,75	
9	60,28	8,93	22,92	43,71	4,76	0,97	1682,76	
10	62,23	8,99	-	-	-	0,95	1731,76	
Ar. průměr	61,328	8,366	18,673	33,117	3,535	0,891	1674,474	
Směr. odch.	2,198	0,521	6,325	7,643	0,837	0,057	92,933	



Obr. 57 Vliv rec. na pevnost v tlaku - σ_m , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$



Obr. 58 Vliv rec. na modul pružnosti v tlaku - E , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$



Obr. 59 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tlaku - ε_m , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$

Tab. 40 Tlaková zkouška, 110°C, 0% rec

PC - HT		Obsah rec.:			0%	Zkušební teplota		110°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	54,82	7,47	25,34	36,68	4,06	0,83	1556,32	
2	56,09	6,43	-	-	-	0,7	1616,47	
3	58,29	6,51	-	-	-	0,72	1371,54	
4	52,3	6,08	26,48	33,91	3,68	0,66	1617,71	
5	53,64	6,52	25,88	31,41	3,39	0,7	1503,91	
6	57,64	6,46	26,69	28,09	3,08	0,71	1579,4	
7	56,42	6,52	-	-	-	0,72	1593,54	
8	55,1	6,58	-	-	-	0,76	1629,86	
9	54,36	6,36	18,47	38,03	4,17	0,7	1405,78	
10	-	-	-	-	-	-	1687,6	
Ar. průměr	55,407	6,548	24,572	33,624	3,676	0,722	1556,213	
Směr. odch.	1,907	0,376	3,452	4,011	0,455	0,048	100,830	

Tab. 41 Tlaková zkouška, 110°C, 20% rec

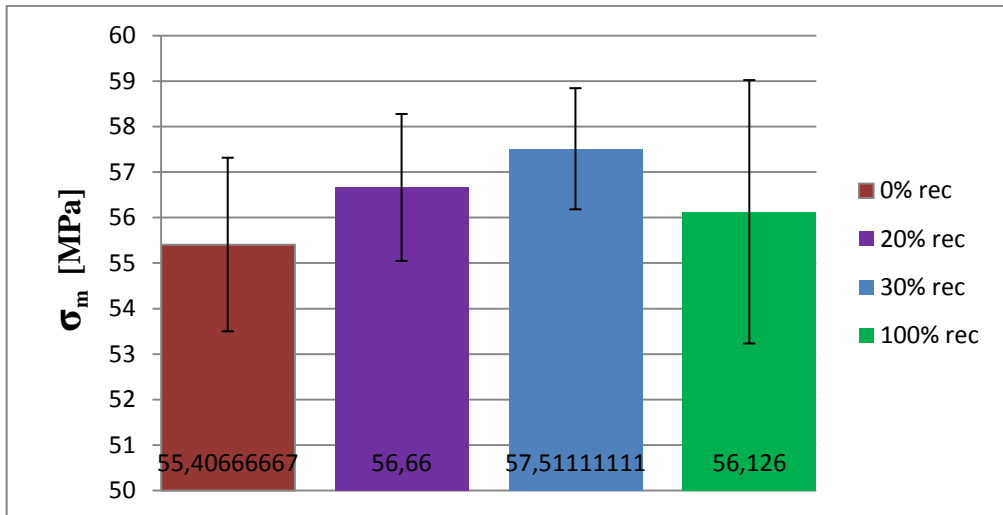
PC - HT		Obsah rec.:			20%	Zkušební teplota		110°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	57,23	8,17	-	-	-	0,92	1516,32	
2	57,24	7,66	25,94	31,23	3,48	0,85	1495,09	
3	52,18	7,33	25,62	32,46	3,6	0,81	1583,64	
4	57,44	7,9	28,12	34,53	3,86	0,88	1553,01	
5	57,08	7,62	28,71	33,95	3,78	0,85	1570,89	
6	56,97	6,91	22,83	32,27	3,7	0,79	1615,59	
7	57,69	7,99	25,99	31,97	3,59	0,9	1452,7	
8	56,55	8,2	25,26	33,27	3,78	0,93	1470,71	
9	56,69	7,04	23,22	29,81	3,32	0,78	1485,45	
10	57,53	8,04	27,23	30,73	3,52	0,92	1606,79	
Ar. průměr	56,660	7,686	25,880	32,247	3,626	0,863	1535,019	
Směr. odch.	1,614	0,461	1,990	1,523	0,172	0,056	58,623	

Tab. 42 Tlaková zkouška, 110°C, 30% rec

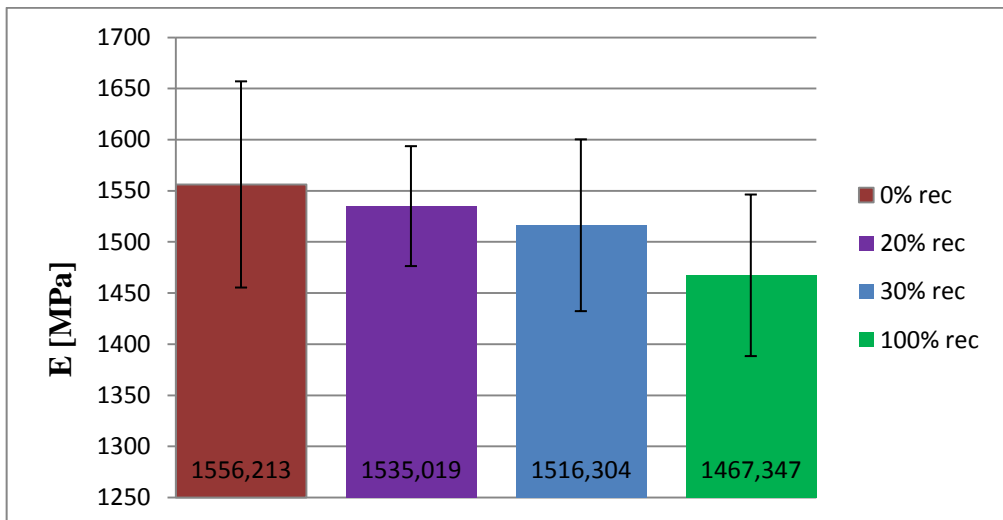
PC - HT		Obsah rec.:			30%	Zkušební teplota		110°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	58,76	7,4	-	-	-	0,93	1652,12	
2	57,48	6,65	25,8	32,83	3,41	0,69	1366,29	
3	55,35	7,14	24,59	31,4	3,5	0,8	1536,58	
4	58,04	7,16	27,05	32,35	3,39	0,75	1533,41	
5	56,22	6,81	-	-	-	0,74	1575,18	
6	56,31	7,8	25,44	27,69	3,14	0,88	1576,59	
7	59,17	7,01	23,55	29,94	3,12	0,73	1466,87	
8	58,85	7,65	25,28	36,68	3,99	0,83	1420,2	
9	57,42	7,31	30,49	33,16	3,62	0,8	1478,7	
10	-	-	-	-	-	-	1557,1	
Ar. průměr	57,511	7,214	26,029	32,007	3,453	0,794	1516,304	
Směr. odch.	1,331	0,372	2,241	2,806	0,298	0,077	84,006	

Tab. 43 Tlaková zkouška, 110°C, 100% rec

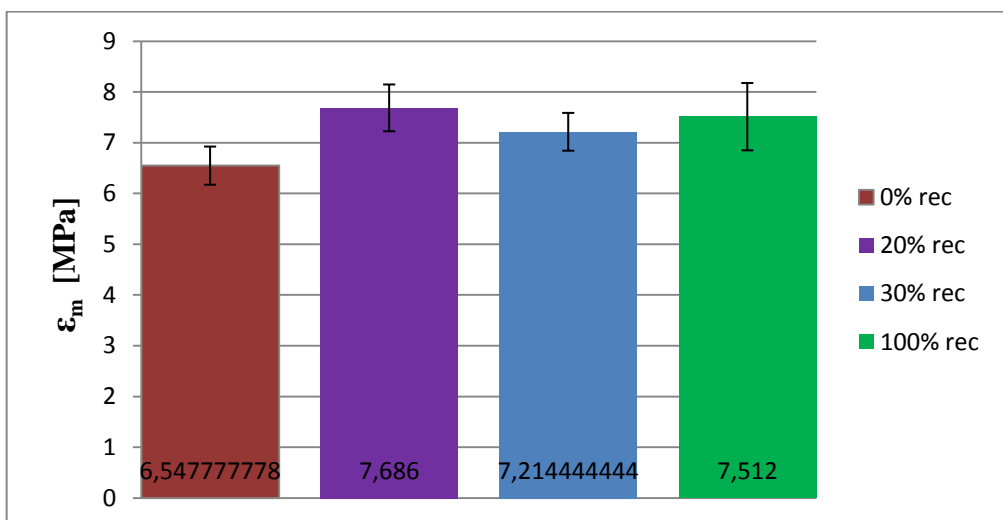
PC - HT		Obsah rec.:			100%	Zkušební teplota		110°C
	σ_m	ϵ_m	σ_B	ϵ_B	ΔL	$\Delta L_{(Fm)}$	E-Modulus	
Pč	N/mm ²	%	N/mm ²	%	mm	mm	N/mm ²	
1	59,64	7,96	18,8	41,07	4,53	0,88	1375,45	
2	52,66	7,75	-	-	-	0,84	1561,78	
3	54,22	8,89	20,84	39,55	4,37	0,98	1352,31	
4	52,52	7,3	-	-	-	0,79	1442,95	
5	56,53	6,34	-	-	-	0,69	1462,33	
6	59,78	7,48	-	-	-	0,83	1513,64	
7	54,09	7,01	25,02	40,85	4,45	0,76	1572,52	
8	54,44	7,55	25,34	38,69	4,35	0,85	1413,05	
9	58,09	7,18	24,84	30,54	3,31	0,78	1427,24	
10	59,29	7,66	25,62	31,69	3,52	0,85	1552,2	
Ar. průměr	56,126	7,512	23,410	37,065	4,088	0,825	1467,347	
Směr. odch.	2,894	0,663	2,867	4,704	0,530	0,078	79,006	



Obr. 60 Vliv rec. na pevnost v tlaku - σ_m , při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$



Obr. 61 Vliv rec. na modul pružnosti v tlaku - E, při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$



Obr. 62 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tlaku - ϵ_m , při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$

Tab. 44 Tlaková zkouška, mez pevnosti - σ_m

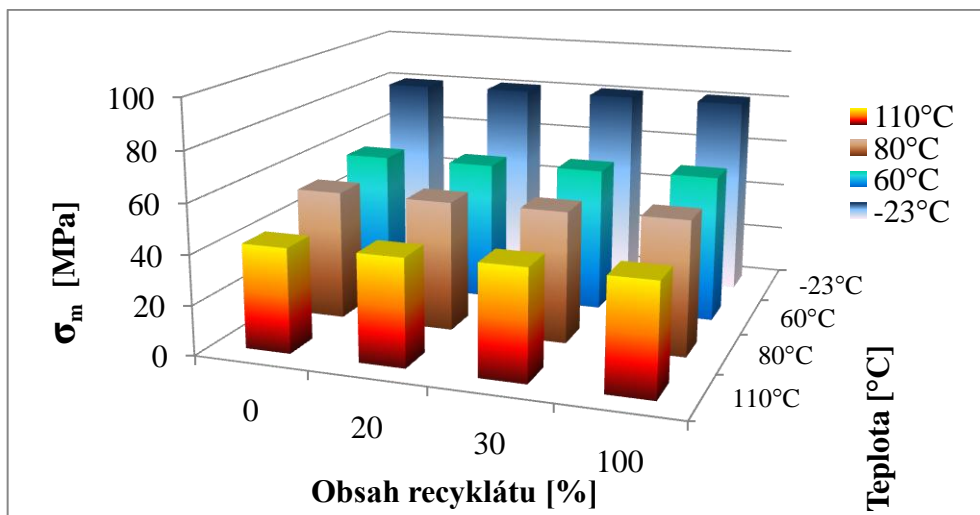
Mez pevnosti v tahu - σ_m [MPa]				
	Obsah recyklátu [%]			
	0	20	30	100
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.
-23	83,550	83,397	84,667	82,590
	2,744	4,005	1,231	3,895
60	63,998	63,258	64,744	67,372
	2,608	3,158	2,774	1,585
80	59,814	55,370	60,424	61,328
	2,794	3,284	2,515	2,198
110	55,407	56,660	57,511	56,126
	1,907	1,614	1,331	2,894

Tab. 45 Tlaková zkouška, modul pružnosti - E

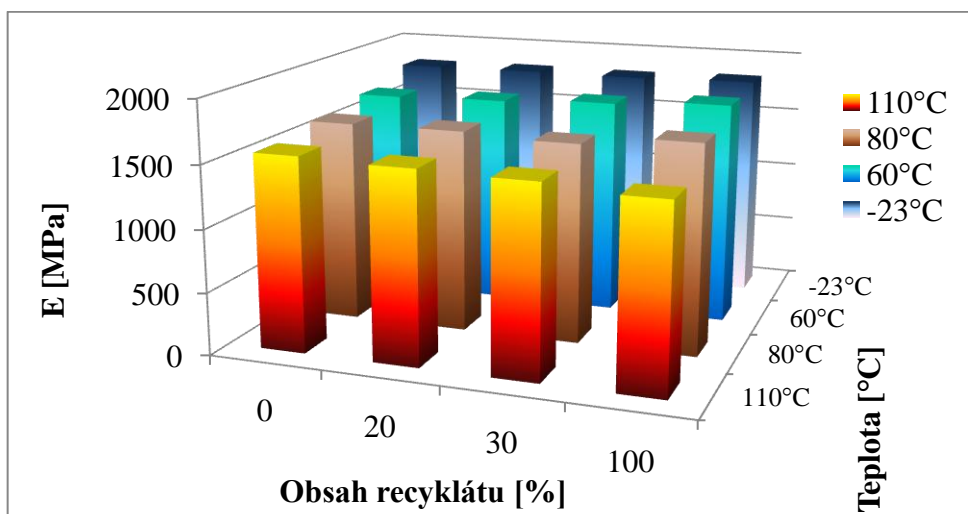
Modul pružnosti - E [MPa]				
	Obsah recyklátu [%]			
	0	20	30	100
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.
-23	1806,524	1812,114	1808,425	1825,342
	39,965	57,323	54,833	33,933
60	1687,397	1707,962	1745,291	1789,146
	80,536	69,080	61,532	39,479
80	1624,043	1629,082	1598,148	1674,474
	93,503	67,523	117,701	92,933
110	1556,213	1535,019	1516,304	1467,347
	100,830	58,623	84,006	79,006

Tab. 46 Tlaková zkouška, poměrné prodloužení - ε_m

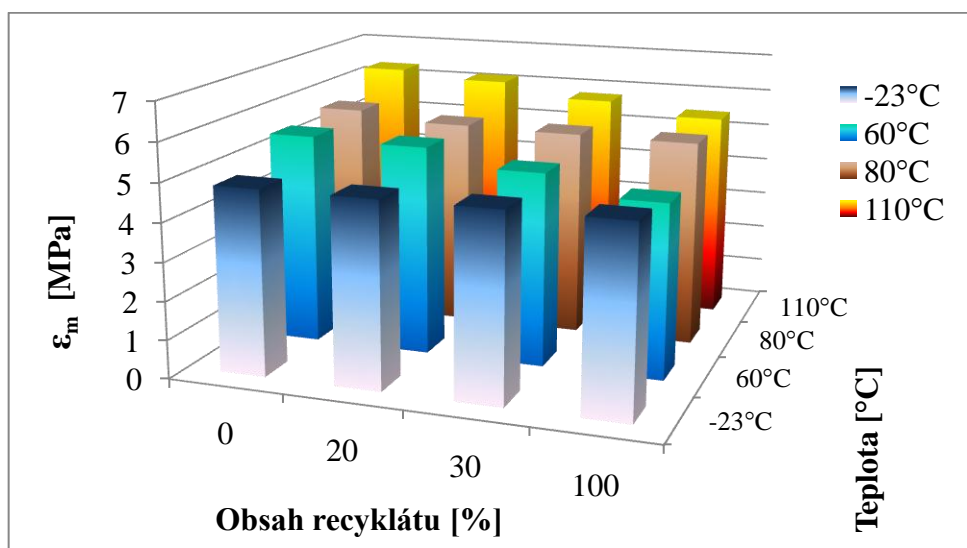
Poměrné prodloužení - ε_m				
	Obsah recyklátu [%]			
	0	20	30	100
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.	Směr.odch.
-23	10,921	10,634	10,901	10,994
	0,499	0,581	0,578	0,522
60	9,268	10,041	9,233	9,294
	0,685	0,898	0,687	1,115
80	8,496	8,997	8,053	8,366
	0,357	0,842	0,570	0,521
110	6,548	7,686	7,214	7,512
	0,376	0,461	0,372	0,663



Obr. 63 Vliv rec. a teploty na pevnost v tahu - σ_m



Obr. 64 Vliv rec. a teploty na modul pružnosti v tahu - E



Obr. 65 Vliv rec. a teploty na poměrné prodloužení v tahu - ϵ_m

Výsledky zkoušky jednoosým tlakem

Z uvedených výsledků vyplývá, že se stoupajícím obsahem recyklátu a klesající teplotou, stoupají hodnoty napětí na mezi pevnosti a modulu pružnosti. Zároveň ale klesají hodnoty poměrného prodloužení. Z důvodu relativně vysokých odchylek v rámci jedné teploty jsou rozdíly mezi jednotlivými zprůměrovanými hodnotami zanedbatelné. Regranulát má tedy velmi malý vliv na tahové vlastnosti.

8.1.3 Rázová houževnatost Charpy

Dynamická zkouška rázové houževnatosti Charpy byla provedena na měřícím zařízení RESIL IMPACTOR JUNIOR. Měření probíhalo dle normy ISO 179.

Při zkoušce byly postupně měřeny čtyři druhy materiálů (čistý polykarbonát, polykarbonát s dvaceti procenty recyklátu, polykarbonát s třiceti procenty recyklátu a recyklovaný polykarbonát) při čtyřech různých teplotách (-23°C, 60°C, 80°C a 110°C). Pro každý druh materiálu a každý druh teploty byla měřena série deseti měření (uvedená norma uvádí minimálně pět měření pro jeden druh mat a jednu teplotu).

Tab. 47 Podrobnosti o zkoušce Charpy

Podrobnosti o zkoušce Charpy		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Označení metody	ISO 179/1eA	
Rychlost nárazu	1,47	m/s
Nárazová energie	2,51	Jednotky
váha kladiva	2,192	kg
úhel nastavení kladiva	40	°

Tab. 48 Zkouška vrubové houževnatosti, -23°C, 0% rec.

PC - HT	Obsah rec,:	0%	Zkušební teplota		-23°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	251,732	2,157	2,187	8,450	8,600
2	250,039	2,159	2,189	8,440	8,580
3	232,870	2,178	2,206	8,140	8,260
4	262,855	2,495	2,621	8,240	9,110
5	242,301	2,159	2,289	7,840	8,730
6	253,425	2,438	2,490	8,370	8,690
7	250,765	2,209	2,237	8,510	8,640
8	253,666	2,244	2,269	8,940	9,050
9	250,523	2,212	2,253	8,480	8,710
10	242,059	2,128	2,154	8,120	8,220
Ar. průměr	249,023	2,238	2,290	8,353	8,659
Směr. odch.	8,169	0,126	0,149	0,294	0,284

Tab. 49 Zkouška vrubové houževnatosti, -23°C, 20% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	20%	Zkušební teplota		-23°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	245,203	2,263	2,291	8,560	8,670
2	250,523	2,388	2,427	8,950	9,150
3	246,895	2,106	2,134	8,190	8,320
4	248,346	2,134	2,183	8,460	8,750
5	244,961	2,146	2,215	7,670	8,110
6	247,137	2,236	2,265	8,340	8,470
7	243,268	2,078	2,104	7,990	8,100
8	248,346	2,226	2,255	8,540	8,670
9	239,399	2,150	2,217	7,900	8,300
10	246,654	2,096	2,139	8,020	8,260
Ar. průměr	246,073	2,182	2,223	8,262	8,480
Směr. odch.	3,103	0,096	0,094	0,381	0,330

Tab. 50 Zkouška vrubové houževnatosti, -23°C, 30% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	30%	Zkušební teplota		-23°C
	Fm		Sm	Sb	
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	251,006	2,233	2,260	8,540	8,670
2	253,425	2,356	2,383	8,700	8,820
3	251,490	2,241	2,268	8,890	9,010
4	251,974	2,212	2,242	8,550	8,680
5	257,052	2,287	2,313	9,110	9,230
6	247,863	2,212	2,239	8,530	8,650
7	250,281	2,521	2,626	8,280	9,000
8	254,875	2,232	2,258	8,660	7,770
9	243,752	2,071	2,181	7,590	8,320
10	239,641	2,031	2,208	7,330	8,540
Ar. průměr	250,136	2,239	2,298	8,418	8,669
Směr. odch.	5,198	0,137	0,128	0,555	0,410

Tab. 51 Zkouška vrubové houževnatosti, -23°C, 100% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	100%	Zkušební teplota		-23°C
	Fm		Sm	Sb	
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	245,203	2,028	2,119	7,560	8,160
2	249,072	2,206	2,234	8,510	8,630
3	245,928	2,211	2,240	8,190	8,320
4	239,641	2,244	2,269	7,910	8,010
5	251,974	2,235	2,263	8,560	8,680
6	237,706	2,094	2,215	7,650	8,440
7	245,445	2,036	2,181	7,590	8,600
8	245,928	2,146	2,262	7,650	8,440
9	246,412	-	-	-	-
10	240,125	2,106	2,218	7,630	8,370
Ar. průměr	244,743	2,145	2,222	7,917	8,406
Směr. odch.	4,399	0,083	0,048	0,403	0,221

Tab. 52 Zkouška vrubové houževnatosti, 60°C, 0% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	0%	Zkušební teplota		60°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	219,570	2,185	2,212	7,360	7,460
2	257,777	2,131	2,000	1,790	2,400
3	210,865	2,062	2,143	6,580	7,020
4	272,770	2,333	2,420	6,050	6,480
5	255,359	1,228	2,175	1,790	6,180
6	197,081	2,012	2,072	5,750	6,050
7	219,086	1,771	1,951	5,140	6,130
8	211,348	1,999	2,176	5,760	6,760
9	210,381	2,062	2,089	6,050	6,150
10	191,519	1,876	1,963	5,330	5,760
Ar. průměr	224,576	1,966	2,120	5,160	6,039
Směr. odch.	27,570	0,302	0,140	1,882	1,377

Tab. 53 Zkouška vrubové houževnatosti, 60°C, 20% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	20%	Zkušební teplota		60°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	263,339	2,058	2,254	5,400	6,470
2	220,296	2,047	2,114	6,090	6,460
3	246,170	2,048	2,190	5,620	6,360
4	220,537	1,995	2,063	5,880	6,240
5	210,139	1,978	2,032	5,710	5,980
6	233,837	2,347	2,373	6,970	7,070
7	243,268	2,019	2,385	4,660	6,730
8	209,172	2,049	2,089	6,140	6,310
9	208,447	1,923	2,160	5,010	6,320
10	215,459	2,117	2,260	5,910	6,740
Ar. průměr	227,066	2,058	2,192	5,739	6,468
Směr. odch.	18,755	0,114	0,124	0,639	0,308

Tab. 54 Zkouška vrubové houževnatosti, 60°C, 30% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	30%	Zkušební teplota		60°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	250,000	1,980	2,210	5,570	6,360
2	214,250	2,070	2,160	5,930	6,430
3	215,701	1,936	2,004	6,200	6,570
4	212,557	2,106	2,153	6,780	7,030
5	236,980	2,430	2,510	6,240	6,660
6	236,981	1,237	2,215	1,880	6,470
7	213,766	1,977	2,025	5,930	6,160
8	200,950	2,103	2,148	6,030	6,230
9	208,930	2,143	2,243	5,740	6,230
10	196,114	2,067	2,102	5,870	6,010
Ar. průměr	218,623	2,005	2,177	5,617	6,415
Směr. odch.	17,190	0,303	0,141	1,354	0,292

Tab. 55 Zkouška vrubové houževnatosti, 60°C, 100% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	100%	Zkušební teplota		60°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	221,544	1,849	1,999	2,880	3,620
2	226,341	2,174	2,405	5,280	5,580
3	211,590	1,972	2,001	5,910	6,020
4	221,746	2,125	2,291	5,150	6,060
5	197,807	1,977	2,017	5,560	5,730
6	209,897	1,951	2,030	5,910	6,340
7	200,467	1,993	2,041	5,640	5,860
8	221,505	2,014	2,161	5,130	5,930
9	206,028	1,914	1,940	6,080	6,170
10	212,316	1,930	1,961	5,940	6,060
Ar. průměr	212,924	1,990	2,085	5,348	5,737
Směr. odch.	9,709	0,096	0,153	0,933	0,774

Tab. 56 Zkouška vrubové houževnatosti, 80°C, 0% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	0%	Zkušební teplota		80°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	215,217	2,029	2,126	5,990	6,540
2	194,663	1,793	2,007	4,810	5,950
3	220,779	1,989	2,014	5,830	5,930
4	231,419	2,229	2,285	7,500	7,810
5	251,490	2,048	2,103	5,490	5,800
6	192,728	1,766	1,878	4,930	5,470
7	200,708	1,771	1,914	4,670	5,380
8	201,676	1,777	1,867	5,020	5,450
9	191,036	1,791	1,951	4,770	5,590
10	215,217	1,989	2,016	5,890	5,990
Ar. průměr	211,493	1,918	2,016	5,490	5,991
Směr. odch.	19,372	0,161	0,128	0,866	0,727

Tab. 57 Zkouška vrubové houževnatosti, 80°C, 20% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	20%	Zkušební teplota		80°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	267,450	1,968	2,266	4,540	6,140
2	199,741	1,726	1,957	4,590	5,830
3	217,636	1,775	1,851	4,990	5,360
4	232,145	1,843	2,136	4,340	5,880
5	206,270	1,787	1,945	4,810	5,650
6	238,674	1,990	2,058	5,130	5,510
7	217,877	1,785	1,959	4,860	5,770
8	199,741	1,781	1,981	4,810	5,860
9	208,447	1,789	1,969	4,860	5,810
10	286,312	2,009	2,097	4,830	5,220
Ar. průměr	227,429	1,845	2,022	4,776	5,703
Směr. odch.	29,337	0,103	0,119	0,229	0,273

Tab. 58 Zkouška vrubové houževnatosti, 80°C, 30% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	30%	Zkušební teplota		80°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	189,101	1,740	1,859	4,680	5,250
2	211,832	1,759	1,829	4,940	5,280
3	205,061	1,758	1,858	4,780	5,270
4	231,419	1,993	2,233	4,490	5,710
5	213,766	1,999	2,037	5,890	6,060
6	194,663	1,991	2,038	5,530	5,740
7	214,008	2,003	2,032	5,830	5,940
8	213,283	1,775	1,842	5,060	5,390
9	227,066	1,993	2,034	5,590	5,780
10	186,925	1,759	1,924	4,610	5,430
Ar. průměr	208,713	1,877	1,969	5,140	5,585
Směr. odch.	14,932	0,125	0,129	0,525	0,297

Tab. 59 Zkouška vrubové houževnatosti, 80°C, 100% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	100%	Zkušební teplota		80°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	207,479	1,875	1,941	4,740	5,050
2	198,290	1,796	2,015	4,560	5,690
3	258,986	1,949	2,249	3,660	5,110
4	192,728	1,782	2,006	4,490	5,660
5	187,167	1,754	1,932	4,610	5,510
6	193,454	1,823	1,975	4,510	5,220
7	197,323	1,753	1,941	4,560	5,490
8	197,807	1,755	1,929	4,550	5,420
9	223,923	2,021	2,062	5,180	5,380
10	194,179	1,876	1,914	5,050	5,210
Ar. průměr	205,134	1,838	1,996	4,591	5,374
Směr. odch.	21,482	0,091	0,100	0,404	0,221

Tab. 60 Zkouška vrubové houževnatosti, 110°C, 0% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	0%	Zkušební teplota		110°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	252,457	1,896	2,149	3,800	5,000
2	188,617	1,827	1,922	4,280	4,760
3	167,579	1,585	1,806	3,650	4,650
4	218,603	1,855	1,895	5,220	5,400
5	192,728	1,799	1,827	5,020	5,110
6	189,101	1,868	1,930	4,970	5,260
7	191,036	1,805	1,833	4,730	4,830
8	201,676	1,869	1,996	4,920	5,570
9	193,696	1,571	1,758	3,860	4,760
10	207,237	1,874	1,975	5,140	5,620
Ar. průměr	200,273	1,795	1,909	4,559	5,096
Směr. odch.	22,668	0,118	0,114	0,604	0,353

Tab. 61 Zkouška vrubové houževnatosti, 110°C, 20% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	20%	Zkušební teplota		110°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	212,557	1,799	1,901	4,740	5,220
2	195,388	1,735	1,879	4,550	5,290
3	271,077	2,393	2,422	5,820	5,970
4	230,694	2,044	2,076	6,340	6,480
5	182,330	1,693	1,792	4,490	4,950
6	189,343	1,780	1,888	4,930	5,460
7	187,408	1,808	1,865	4,750	4,990
8	182,814	1,762	1,862	4,530	4,990
9	186,925	1,862	1,994	4,580	5,220
10	184,748	1,523	1,850	3,480	5,050
Ar. průměr	202,329	1,840	1,953	4,821	5,362
Směr. odch.	28,678	0,234	0,183	0,778	0,496

Tab. 62 Zkouška vrubové houževnatosti, 110°C, 30% rec.

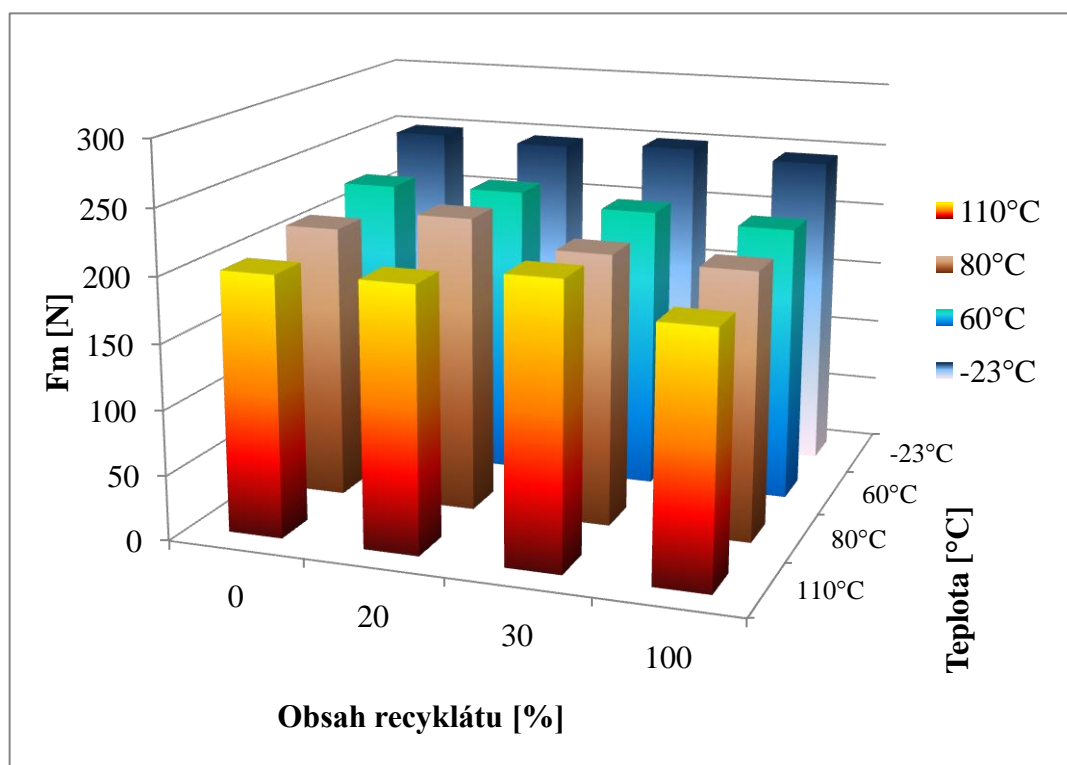
PC - HT	Obsah rec.:	30%	Zkušební teplota		110°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	177,736	1,556	1,767	3,780	4,750
2	192,245	1,806	1,859	5,030	5,260
3	193,696	1,787	1,959	4,620	5,480
4	223,197	2,337	2,420	5,480	5,940
5	269,143	1,160	1,248	1,260	1,540
6	192,245	1,768	1,794	4,670	4,770
7	242,785	1,797	1,893	4,370	4,830
8	242,301	1,522	1,884	2,810	4,450
9	231,661	2,294	2,386	5,120	5,560
10	187,167	1,760	1,895	4,360	5,000
Ar. průměr	215,217	1,779	1,911	4,150	4,758
Směr. odch.	30,634	0,346	0,327	1,263	1,217

Tab. 63 Zkouška vrubové houževnatosti, 110°C, 100% rec.

PC - HT	Obsah rec.:	100%	Zkušební teplota		110°C
	Fm	Sm	Sb	Am	Ab
Pč	N	mm	mm	kJ/m ²	kJ/m ²
1	185,474	1,738	1,766	4,820	4,910
2	175,801	1,903	1,991	4,410	4,790
3	221,505	2,053	2,153	4,770	5,230
4	197,807	1,785	1,850	5,100	5,410
5	193,454	1,776	1,840	4,580	4,870
6	192,487	1,776	1,883	4,210	4,690
7	184,748	1,555	1,745	3,790	4,660
8	182,088	1,236	1,836	2,020	4,590
9	200,950	1,973	2,083	5,420	5,970
10	176,285	1,545	1,678	3,800	4,380
Ar. průměr	191,060	1,734	1,882	4,292	4,950
Směr. odch.	13,665	0,238	0,151	0,954	0,468

Tab. 64 Zkouška vrubové houževnatosti, síla měřená v bodě špičky - F_m

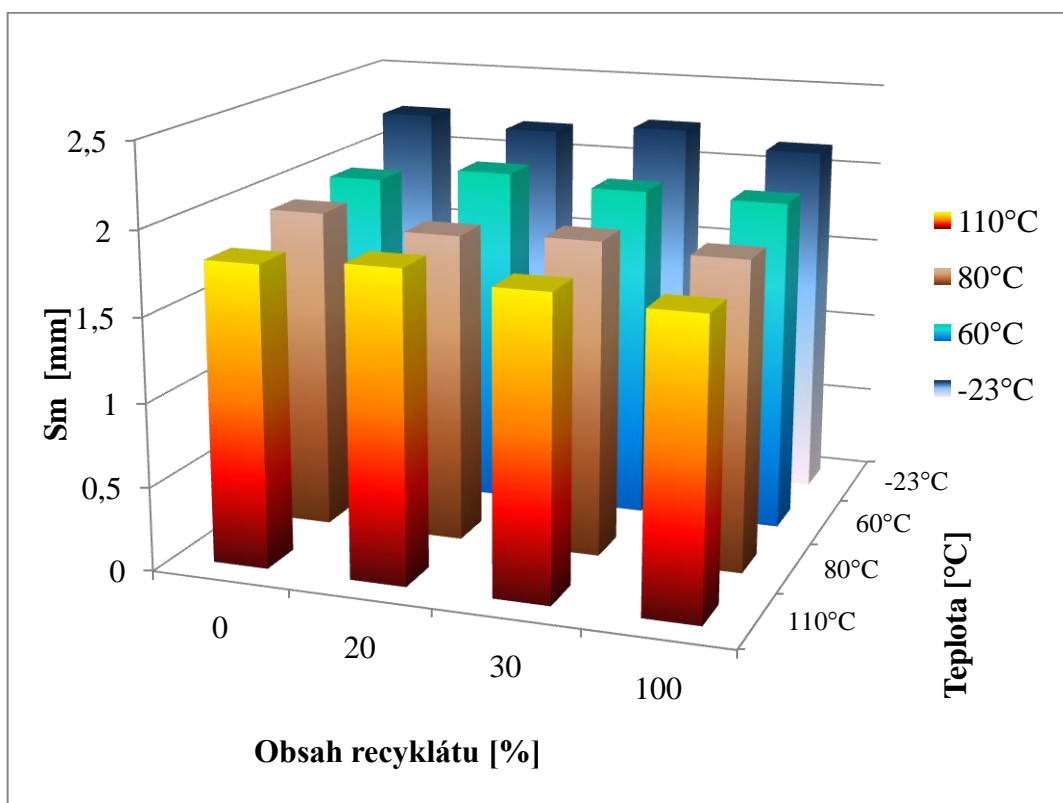
Síla měřená v bodě špičky - F_m [N]				
	Obsah recyklátu [%]			
	0%	20%	30%	100%
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr. odch.	Směr. odch.	Směr. odch.	Směr. odch.
-23	249,023	246,073	250,136	244,743
	8,169	3,103	5,198	4,399
60	224,576	227,066	218,623	212,924
	27,570	18,755	17,190	9,709
80	211,493	227,429	208,713	205,134
	19,372	29,337	14,932	21,482
110	200,273	202,329	215,217	191,060
	22,668	28,678	30,634	13,665



Obr. 66 Vliv rec. a teploty na sílu měřenou v bodě špičky u vrubové houževnatosti

Tab. 65 Zkouška vrubové houževnatosti, deformace v bodě špičky - Sm

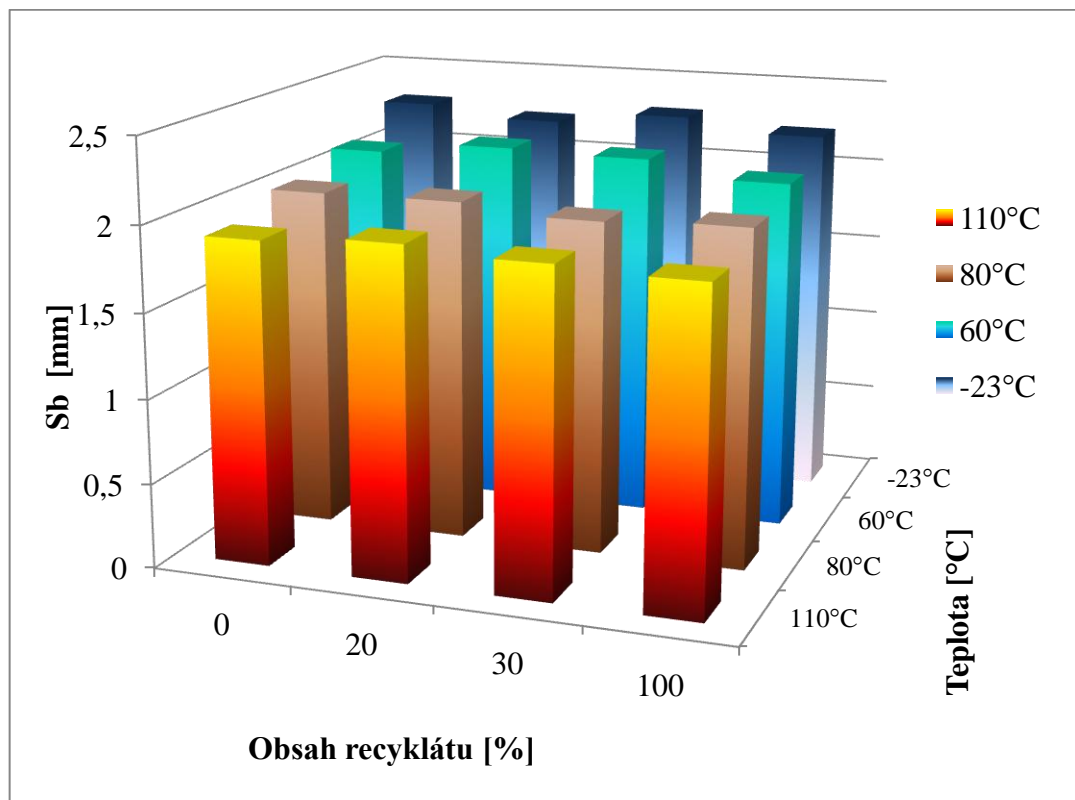
Deformace v bodě špičky - Sm [mm]				
	Obsah recyklátu [%]			
	0%	20%	30%	100%
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr. odch.	Směr. odch.	Směr. odch.	Směr. odch.
-23	2,238	2,182	2,239	2,145
	0,126	0,096	0,137	0,083
60	1,966	2,058	2,005	1,990
	0,302	0,114	0,303	0,096
80	1,918	1,845	1,877	1,838
	0,161	0,103	0,125	0,091
110	1,795	1,840	1,779	1,734
	0,118	0,234	0,346	0,238



Obr. 67 Vliv rec. a teploty na deformaci v bodě špičky u vrubové houževnatosti

Tab. 66 Zkouška vrubové houževnatosti, deformace v bodě lomu - Sb

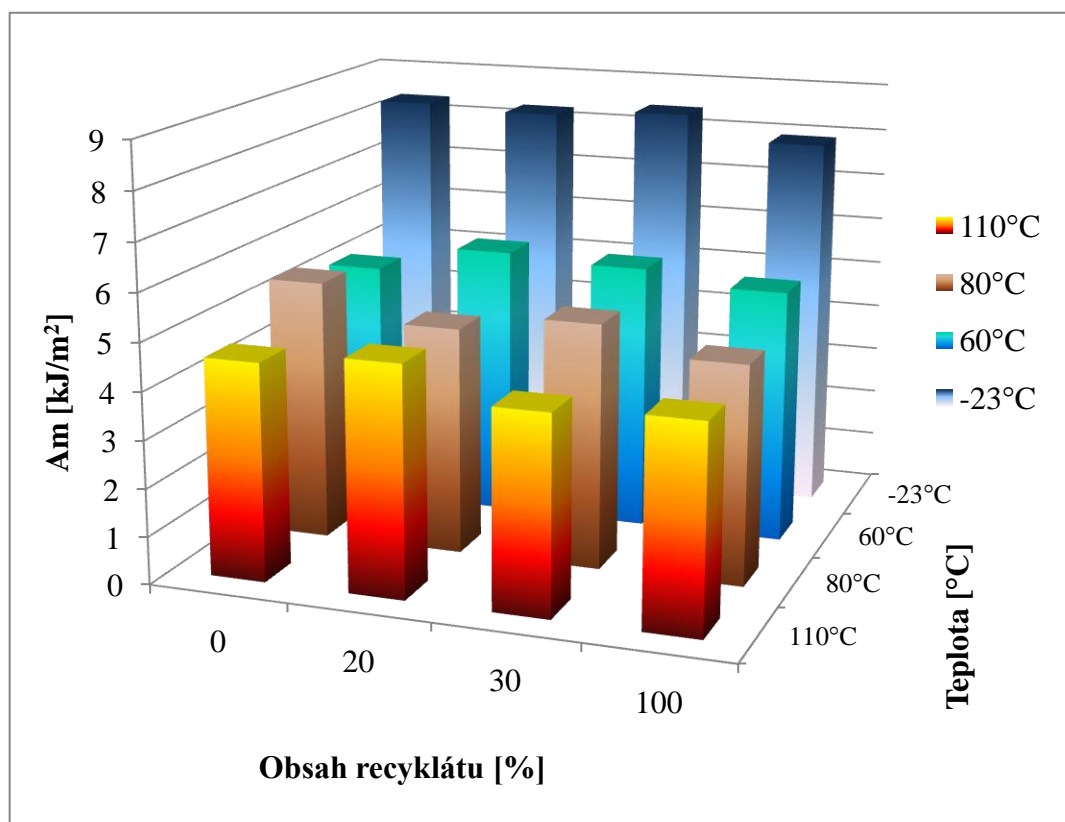
Deformace v bodě lomu - Sb [mm]				
	Obsah recyklátu [%]			
	0%	20%	30%	100%
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr. odch.	Směr. odch.	Směr. odch.	Směr. odch.
-23	2,290	2,223	2,298	2,222
	0,149	0,094	0,128	0,048
60	2,120	2,192	2,177	2,085
	0,140	0,124	0,141	0,153
80	2,016	2,022	1,969	1,996
	0,128	0,119	0,129	0,100
110	1,909	1,953	1,911	1,882
	0,114	0,183	0,327	0,151



Obr. 68 Vliv rec. a teploty na deformaci v bodě lomu u vrubové houževnatosti

Tab. 67 Zkouška vrubové houževnatosti, vrubová houževnatost (s energií v bodě špičky) - Am

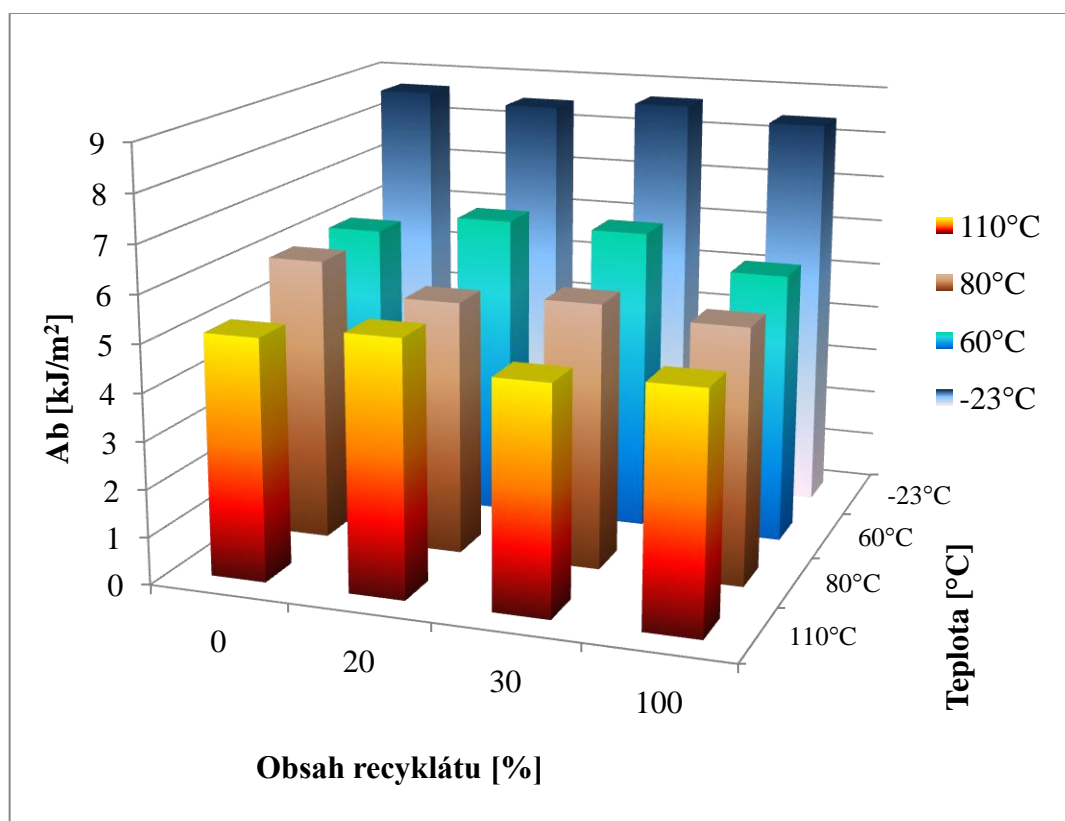
Vrbová houževnatost (s energií v bodě špičky) - Am [kJ/m ²]				
	Obsah recyklátu [%]			
	0%	20%	30%	100%
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr. odch.	Směr. odch.	Směr. odch.	Směr. odch.
-23	8,353	8,262	8,418	7,917
	0,294	0,381	0,555	0,403
60	5,160	5,739	5,617	5,348
	1,882	0,639	1,354	0,933
80	5,490	4,776	5,140	4,591
	0,866	0,229	0,525	0,404
110	4,559	4,821	4,150	4,292
	0,604	0,778	1,263	0,954



Obr. 69 Vliv rec. a teploty na vrubovou houževnatost (s energií v bodě špičky) u vrubové houževnatosti

Tab. 68 Zkouška vrubové houževnatosti, vrubová houževnatost (s energií v bodě lomu) - Ab

Vrbová houževnatost (s energií v bodě lomu) - Ab [kJ/m ²]				
	Obsah recyklátu [%]			
	0%	20%	30%	100%
	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.	Ar. prům.
Teplota [°C]	Směr. odch.	Směr. odch.	Směr. odch.	Směr. odch.
-23	8,659	8,480	8,669	8,406
	0,284	0,330	0,410	0,221
60	6,039	6,468	6,415	5,737
	1,377	0,308	0,292	0,774
80	5,991	5,362	5,585	5,374
	0,727	0,496	0,297	0,221
110	5,096	5,362	4,758	4,950
	0,353	0,496	1,217	0,468



Obr. 70 Vliv rec. a teploty na vrubovou houževnatost (s energií v bodě lomu) u vrubové houževnatosti

Výsledky zkoušky vrubové houževnatosti

Z uvedených výsledků vyplývá, že se stoupajícím obsahem recyklátu a se stoupající teplotou, klesají hodnoty u všech měřených veličin.

8.2 Reologické zkoušky**8.2.1 Zkouška indexu toku taveniny (ITT)**

Reologická zkouška indexu toku taveniny (ITT) byla provedena na měřícím zařízení DYNISCO KAYENESS LMI 4003. Měření probíhalo dle normy ISO 1133.

Při zkoušce byly postupně měřeny čtyři druhy materiálů (čistý polykarbonát, polykarbonát s dvaceti procenty recyklátu, polykarbonát s třiceti procenty recyklátu a recyklovaný polykarbonát). Pro každý druh materiálu byly provedeny tři série měření po sedmi vzorcích.

Index toku taveniny termoplastů závisí na smykové rychlosti. Smykové rychlosti jsou při této zkoušce mnohem nižší než při běžných výrobních podmínkách. Hodnoty získané touto metodou pro různé termoplasty proto ne vždy korespondují s chováním těchto materiálů během jejich skutečného používání. Metoda je užívána při kontrole kvality.

Tab. 69 Podrobnosti o zkoušce ITT

Podrobnosti o zkoušce ITT		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Doba sušení materiálu	3	h
Teplota sušení	130	°C
Teplota při zkoušení	300	°C
Čas předehřevu	360	s
Čas odřezávání	15	s
Navážka	8	g

Tab. 70 Zkouška ITT, 0% rec.

PC - HT		Obsah rec.:		0%	
	hmotnost		hmotnost		hmotnost
Pč	g	Pč	g	Pč	g
1	0,127	8	0,109	15	0,129
2	0,135	9	0,130	16	0,131
3	0,127	10	0,129	17	0,133
4	0,129	11	0,127	18	0,127
5	0,132	12	0,130	19	0,130
6	0,126	13	0,130	20	0,133
7	0,127	14	0,127	21	0,132
Aritmetický průměr [g]					0,1286
Směrodatná odchylka [g]					0,0051
Index toku taveniny [g/10 min]					5,1429

Tab. 71 Zkouška ITT, 20% rec.

PC - HT		Obsah rec.:		20%	
	hmotnost		hmotnost		hmotnost
Pč	g	Pč	g	Pč	g
1	0,126	8	0,127	15	0,135
2	0,128	9	0,131	16	0,165
3	0,127	10	0,132	17	0,134
4	0,132	11	0,133	18	0,136
5	0,127	12	0,132	19	0,134
6	0,127	13	0,133	20	0,133
7	0,127	14	0,133	21	0,132
Aritmetický průměr [g]					0,1326
Směrodatná odchylka [g]					0,0081
Index toku taveniny [g/10 min]					5,3029

Tab. 72 Zkouška ITT, 30% rec.

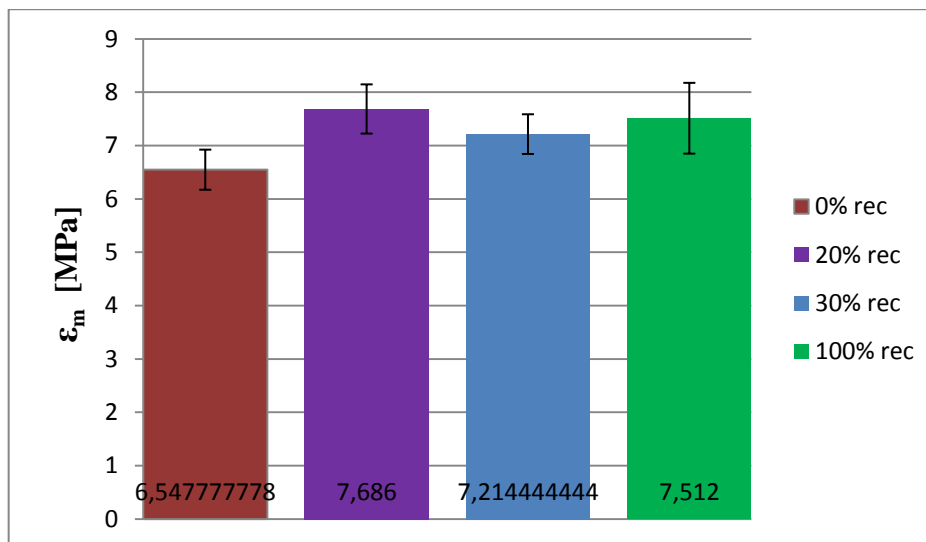
PC - HT		Obsah rec.:		30%	
	hmotnost		hmotnost		hmotnost
Pč	g	Pč	g	Pč	g
1	0,133	8	0,136	15	0,146
2	0,132	9	0,142	16	0,139
3	0,136	10	0,138	17	0,142
4	0,133	11	0,139	18	0,143
5	0,136	12	0,141	19	0,146
6	0,134	13	0,142	20	0,143
7	0,136	14	0,138	21	0,144
Aritmetický průměr [g]					0,1390
Směrodatná odchylka [g]					0,0043
Index toku taveniny [g/10 min]					5,5600

Tab. 73 Zkouška ITT, 100% rec.

PC - HT		Obsah rec.:		100%	
	hmotnost		hmotnost		hmotnost
Pč	g	Pč	g	Pč	g
1	0,146	8	0,158	15	0,143
2	0,148	9	0,157	16	0,156
3	0,151	10	0,154	17	0,146
4	0,151	11	0,153	18	0,151
5	0,154	12	0,153	19	0,150
6	0,155	13	0,158	20	0,150
7	0,148	14	0,153	21	0,152
Aritmetický průměr [g]				0,1518	
Směrodatná odchylka [g]				0,0040	
Index toku taveniny [g/10 min]				6,0705	

Tab. 74 Zkouška ITT

Celkové výsledky ITT				
	Obsah recyklátu [%]			
	0%	20%	30%	100%
ITT [g/10min]	5,143	5,303	5,560	6,070
Směr. Odch	0,0051	0,0081	0,0043	0,0040



Obr. 71 Vliv rec. na index toku taveniny

Výsledky stanovení indexu toku taveniny

Z uvedených výsledků vyplývá, že se stoupajícím obsahem recyklátu stoupá index toku taveniny. Tento jev je způsoben degradací polymerních řetězců.

8.2.2 Spirálová zkouška

Jedná se o reologickou zkoušku, jenž není normalizována. Při této zkoušce byla vstřikována polymerní tavenina do dutiny formy, v níž byla vyrobena drážka ve tvaru Archimédovy spirály. Během procesu vstřikování nedocházelo k úplnému vyplnění dutiny formy. Po vyhození spirály z formy docházelo k jejímu měření. Měřeným rozměrem byla délka spirály. Potřebný rozměr byl měřen pomocí šablony, do níž se spirála vkládala.

Tato jednoduchá zkouška ukazuje schopnost materiálu téci v dutině formy.

Spirálová zkouška byla provedena na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 420C.

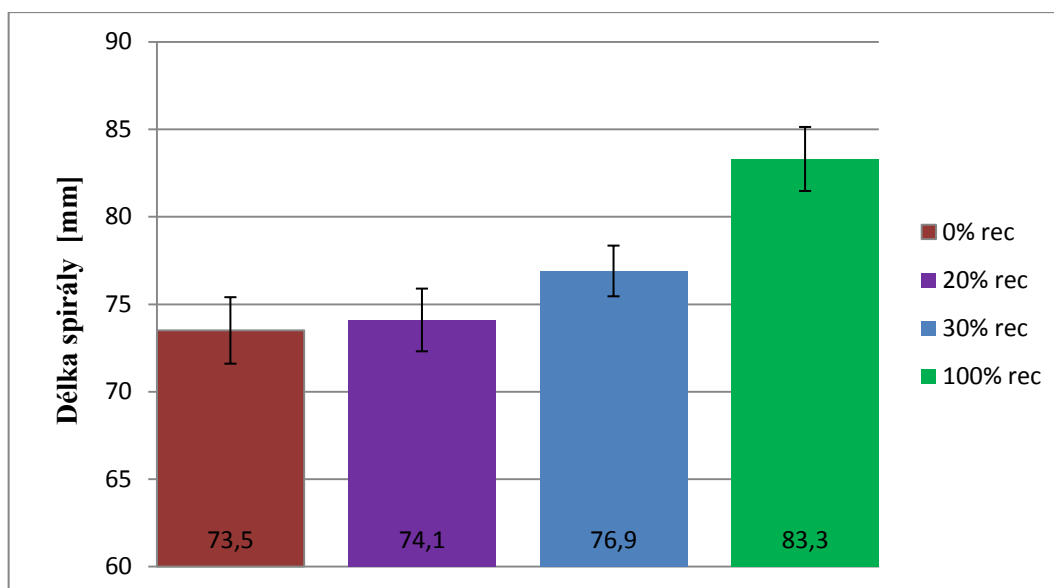
Při zkoušce byly postupně měřeny čtyři druhy materiálů (čistý polykarbonát, polykarbonát s dvaceti procenty recyklátu, polykarbonát s třiceti procenty recyklátu a recyklovaný polykarbonát). Pro každý druh materiálu bylo vystříknuto a změřeno deset vzorků (spirál).

Tab. 75 Parametry vstřikování při spirálové zkoušce

Materiál		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
druh	Polykarbonát (PC)	
doba sušení	4	h
teplota sušení	130	°C
Vstřikovací stroj		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Vstřikovací tlak	12	[MPa]
Rychlost vstřikování	90	m/s
Dotlak	bez dotlaku	[MPa]
Doba dotlaku	bez dotlaku	s
Bod přepnutí na dotlak	bez dotlaku	mm
Dráha dávkování	16	mm
Doba chlazení	25	s
Teplota taveniny	250	°C
Teploty pásem plastikační jednotky		
Teplota pod násypkou	90	°C
Teplotní pásmo 1	305	°C
Teplotní pásmo 2	310	°C
Teplotní pásmo 3	315	°C
Teplotní pásmo 4	320	°C
Teplota trysky	315	°C
Vstřikovací forma		
Parametry	Hodnoty	Jednotky
Teplota formy - pevná část	110	°C
Teplota formy - pohyblivá část	110	°C

Tab. 76 Spirálová zkouška

PC - HC	PC s 0% rec	PC s 20% rec	PC s 30% rec	PC s 100% rec
Pč.	délka spirály [mm]	délka spirály [mm]	délka spirály [mm]	délka spirály [mm]
1	70	76	76	85
2	71	75	78	85
3	75	73	76	85
4	72	70	79	80
5	74	75	76	83
6	73	73	75	83
7	75	74	78	82
8	75	75	79	84
9	75	74	76	81
10	75	76	76	85
Průměr	73,5	74,1	76,9	83,3
Směr. odch.	1,9	1,8	1,4	1,8



Obr. 72 Vliv rec. na délku spirály

Výsledky spirálové zkoušky

Z uvedených výsledků vyplývá, že se stoupajícím obsahem recyklátu stoupá index toku taveniny. Tento jev je způsoben degradací polymerních řetězců. Výsledky spirálové zkoušky tak odpovídají výsledkům získané při měření indexu toku taveniny.

8.3 Test zmetkovitosti

Tato nenormalizovaná zkouška probíhala ve firmě HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. Při zkoušce byly testovány opět čtyři druhy materiálů (čistý polykarbonát, polykarbonát s dvaceti procenty recyklátu, polykarbonát s třiceti procenty recyklátu a recyklovaný polykarbonát). V průběhu testu byly postupně nasazeny do přímé výroby všechny čtyři materiály. Při testování byl každý jednotlivý vyrobený kus pečlivě prohlédnut odborným pracovníkem, jenž rozhodoval zda byl výrobek správně vyroben nebo nikoli.

Test byl proveden na vstřikovacím stroji KARAUSS MAFFEI KM 200 - 1000CX na němž byla nainstalována vstřikovací forma, ve které vznikaly dva zrcadlově stejné výrobky.



Obr. 73 Vyráběný díl - část světlometu

Tab. 77 Test zmetkovitosti

LEVÁ DUTINA FORMY			PRAVÁ DUTINA FORMY		
PC - HT	Počet kusů	Počet vadných ks.	PC - HT	Počet kusů	Počet vadných ks.
0% rec.	366	3	0% rec.	373	13
20% rec.	360	0	20% rec.	368	8
30% rec.	365	5	30% rec.	377	17
100% rec.	368	8	100% rec.	380	20

Jednou z nejvíce četných byla stříbrná skvrna (obr. 74), která se náhodně objevovala v průběhu vstřikování.



Obr. 74 Vada na dílci

Z důvodu časově náročného testování bylo několikrát lehce poupraveno nastavení vstřikovacího stroje.

Pozn. Nastavení vstřikovacího stroje pro všechny jednotlivé cykly jsou obsaženy v elektronické podobě na cd.

9 DISKUZE VÝSLEDKŮ

9.1 Zkouška tahem

Vlivem zvyšování koncentrace recyklátu docházelo u zkoušky tahem k malému nárůstu maximálního napětí i modulu pružnosti, avšak zároveň také k poklesu poměrného prodloužení při všech čtyřech teplotách. Hodnoty rozdílu mezi jednotlivými koncentracemi polykarbonátu v rámci jedné zkušební teploty nebyly větší než jejich směrodatné odchytky.

Vliv teploty na výsledky zkoušek byl vyšší než vliv recyklátu. Při zvyšování teploty docházelo k poklesu napětí a modulu pružnosti v tahu, avšak také docházelo k růstu poměrného prodloužení.

9.1.1 Nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty.

Nejvyšší průměrná hodnota napětí na mezi pevnosti v tahu byla $81,2 \pm 0,4$ MPa a byla naměřena u materiálu, jenž byl tvořen 100% recyklátem a byl testován při -23°C .

Nejnižší průměrná hodnota napětí na mezi pevnosti v tahu byla $42,1 \pm 1,6$ MPa a byla naměřena u materiálu, jenž byl tvořen 0% recyklátem a byl testován při 110°C .

Nejvyšší průměrná hodnota modulu pružnosti v tahu byla $2618,0 \pm 52,0$ MPa a byla naměřena u materiálu, jenž byl tvořen 100% recyklátem a byl testován při -23°C .

Nejnižší průměrná hodnota modulu pružnosti v tahu byla $1461,7 \pm 77,4$ MPa a byla naměřena u materiálu, jenž byl tvořen 0% recyklátem a byl testován při 110°C .

Nejvyšší průměrná hodnota poměrného prodloužení v tahu byla $6,3 \pm 0,4\%$ a byla naměřena u materiálu, jenž byl tvořen 0% recyklátem a byl testován při 110°C .

Nejnižší průměrná hodnota poměrného prodloužení v tahu byla $4,8 \pm 0,3\%$ a byla naměřena u materiálu jenž byl tvořen 0% recyklátem a byl testován při -23°C .

9.2 Zkouška tlakem

Vlivem zvyšování koncentrace recyklátu docházelo u zkoušky tlakem k malému nárůstu maximálního napětí i modulu pružnosti, avšak zároveň také k poklesu poměrného prodloužení při všech čtyřech teplotách. Hodnoty rozdílu mezi jednotlivými koncentracemi polykarbonátu v rámci jedné zkušební teploty nebyly větší než jejich směrodatné odchytky.

Vliv teploty na výsledky zkoušek byl vyšší než vliv recyklátu. Při zvyšování teploty docházelo k poklesu napětí a modulu pružnosti v tahu, avšak také docházelo k růstu poměrného prodloužení.

9.2.1 Nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty.

Nejvyšší průměrná hodnota napětí na mezi pevnosti v tlaku byla $83,6 \pm 1,2$ MPa a byla naměřena u materiálu jenž byl tvořen 30% recyklátem a byl testován při -23°C .

Nejnižší průměrná hodnota napětí na mezi pevnosti v tlaku byla $55,4 \pm 1,9$ MPa a byla naměřena u materiálu jenž byl tvořen 0% recyklátem a byl testován při 110°C .

Nejvyšší průměrná hodnota modulu pružnosti v tlaku byla $1825,5 \pm 33,9$ MPa a byla naměřena u materiálu jenž byl tvořen 100% recyklátem a byl testován při -23°C .

Nejnižší průměrná hodnota modulu pružnosti v tlaku byla $1467,3 \pm 79,0$ MPa a byla naměřena u materiálu jenž byl tvořen 0% recyklátem a byl testován při 110°C .

Nejvyšší průměrná hodnota poměrného prodloužení v tlaku byla $10,9 \pm 0,5$ % a byla naměřena u materiálu, jenž byl tvořen 100% recyklátem a byl testován při -23°C .

Nejnižší průměrná hodnota poměrného prodloužení v tlaku byla $6,5 \pm 0,4$ % a byla naměřena u materiálu jenž byl tvořen 0% recyklátem a byl testován při 110°C .

9.3 Zkouška rázové houževnatosti CHARPY

Při této zkoušce došlo k vyhodnocení následujících veličin a to: síly měřené v bodě špičky, deformace v bodě špičky, deformace b bodě lomu, vrubové houževnatosti (s energií v bodě špičky) a vrubové houževnatosti (s energií v bodě lomu). Nejvyšších průměrných hodnot vždy dosáhl čistý polykarbonát a nejnižší hodnoty vždy patřily recyklovanému polykarbonátu. Tendence klesavosti byla zachována i pro zvyšující se teplotu. Nejvyšší hodnoty dosahovaly materiály při -23°C a nejnižších hodnot dosahovaly materiály při teplotě 110°C .

9.4 Zkouška ITT

V průběhu zkoušky indexu toku taveniny byly mezi sebou rovněž porovnávány všechny čtyři druhy polykarbonátů, avšak zkouška byla prováděna pouze pro jednu teplotu (300°C)

Z naměřených výsledků vyplynulo, že nejlepší tokové vlastnosti má recyklovaný polykarbonát ($6,07$ g/10min) a naopak nejhorší tokové vlastnosti má čistý polykarbonát ($5,143$

g/10min). Stanovení indexu toku taveniny zobrazilo částečnou degradaci polymeru při opakovaném zpracování.

9.5 Spirálová zkouška

Výsledky získané touto nenormalizovanou spirálovou zkouškou byly vyhodnoceny podobně jako výsledky indexu toku taveniny.

Nejlépe tekla recyklovaný polykarbonát, který dotekl do vzdálenosti 83,3mm a naopak nejhůře tekla čistý polykarbonát, který dotekl do vzdálenosti 73,5mm.

Výsledky spirálové zkoušky potvrdily výsledky získané při stanovení indexu toku taveniny.

9.6 Test zmetkovitosti

Výsledky získané v průběhu testování byly následující:

Nejnižší počet vadně vyrobených kusů byl zaznamenán u materiálu, jenž obsahoval 20% recyklátu.

Nejvyšší počet vadně vyrobených kusů byl zaznamenán u materiálu, jenž obsahoval 100% rec.

ZÁVĚR

Diplomová práce byla zadána firmou HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. Zabývá se zjištěním vlivu regranulátu na vlastnosti výrobku. Zkoumaným materiálem byl polykarbonát (PC - HT), jenž obsahoval různé příměsi recyklátu. Zrecyklovaný polymer by rovněž polykarbonát (PC - HT).

Práce je rozdělena na dvě hlavní části a to část teoretickou a praktickou. Teoretická část popisuje základy teorie vstřikování, vlastnosti a použití testovaného materiálu, přípravu regranulátu a teoretickou část k materiálovým zkouškám. V praktické části pak byly popsány jednotlivé stroje, zařízení a software s jejichž pomocí byla práce vytvořena. Dále pak praktická část obsahuje postup přípravy zkušebních těles a výsledky všech zkoušek a testů, jenž byly provedeny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů 2.* vyd. BRNO: UNIPLAST, 1999, 134s
- [2] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů* 1. vyd. BRNO: UNIPLAST, 1999, 212s
- [3] Vlastní poznámky z předmětu KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM
- [4] URL: <<http://www.ksp.vslib.cz>> [cit. 15. 2. 2010]
- [5] Miroslav Hluchý a kolektiv. *Strojírenská technologie 1: Nauka o materiálu.* vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987
- [6] URL: <<http://www.ateam.zcu.cz/plasty.pdf>> [cit. 15. 2. 2010]
- [7] URL: <<http://www.mmspektrum.com/pdf/c090111.pdf>> [cit. 15. 2. 2010]
- [8] L'. Kovačič, J. Bína. *Plasty - vlastnosti, zpracování, využití* vyd. ALFA; v Bratislavě, 1974
- [9] doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc., Ing. Michal Staněk, Ph.D.,
Ing. David Maňas, Ph.D., *Výrobní stroje a zařízení 1 - Stroje gumárenské a
plastikářské 1*, Vyd. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 1. vydání,
ISBN 978 - 80 - 7318 - 596 - 1
- [10] URL:
<http://www.arburg.com/com/common/download/Web_527880_EN_GB.pdf>
[cit. 10. 5. 2010]
- [11] URL:
<http://www.arburg.com/com/common/download/WEB_522800_en_GB.pdf>
[cit. 10. 5. 2010]
- [12] URL: <http://www.arburg.com/com/COM/en/bild.jsp?bild=/com/common/pictres/636_399/0000005502.jpg&js=no&title=ALLROUNDER%20420%20C%201000-350%20advance> [cit. 10. 5. 2010]
- [13] URL: <http://www.svarecky-eshop.cz/go_image.php?pid=523> [cit. 11. 5. 2010]
- [14] URL: <<http://www.ccsi-inc.com/p-impact-ceast-resil-impactor-6963.htm>>
[cit. 11. 5. 2010]

- [15] Jankových, T. *Konstrukce vstřikovací formy*. Zlín 2008. Bakalářská práce na Fakultě technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Staněk, Ph.D.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	akryl-butadien-styren
cm	centimetr
Sb	deformace v bodě lomu
Sm	deformace v bodě špičky
L	délka
h	hodina
ITT	index toku taveniny
J	Joule
kg	kilogram
m	metr
σ_m	mez pevnosti v tahu
mm	milimetr
min	minuta
E	modul pružnosti
N	Newton
Pa	Pascal
PA	polyamid
PE	polyetylen
PET	polyethylentereftalát
PC	polykarbonát
PP	polypropylen
PS	polystyren
PVC	polyvinylchlorid
ε	poměrné prodloužení
D	průměr
S_0	průřez
rec	recyklát
s	sekunda
F	síla
°C	stupeň Celsiův
t	tuna
C	uhlík
H	vodík
V	volt
Ab	vrubová houževnatost (s energií v bodě lomu)
Am	vrubová houževnatost (s energií v bodě špičky)
W	watt
ΔL	změna délky

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma vstříkovacího stroje.....	14
Obr. 2 Uzavírací jednotka.....	15
Obr. 3 Vstříkovací cyklus [4], [15].....	17
Obr. 4 Schéma vstříkovací formy.....	17
Obr. 5 Chemický vzorec PC.....	18
Obr. 6 Elektrotechnika - výrobky z PC.....	21
Obr. 7 Strojírenství - výrobky z PC.....	21
Obr. 8 Domácí potřeby - výrobky z PC.....	22
Obr. 9 Medicína - výrobky z PC.....	22
Obr. 10 Nožový mlýn.....	24
Obr. 11 Tlukadlové mlýny.....	25
Obr. 12 Kladivový mlýn.....	26
Obr. 13 Princip granulování z pásu.....	27
Obr. 14 Granulační zařízení "Scheer".....	28
Obr. 15 Granulovací zařízení "Automatik".....	28
Obr. 16 Granulace na hlavě.....	29
Obr. 17 Granulace pod vodou.....	30
Obr. 18 Úpravy granulovacích hlav.....	30
Obr. 19 Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem.....	32
Obr. 20 Pracovní diagram zkoušky tahem.....	34
Obr. 21 Pracovní diagram s výraznou mezí kluzu a bez meze kluzu.....	35
Obr. 22 Příklady pracovních diagramů různých kovů a slitin.....	35
Obr. 23 Deformace polymerů.....	36
Obr. 24 Pracovní diagram zkoušky tlakem.....	37
Obr. 25 Charpyho kladivo.....	38
Obr. 26 Vliv teploty na napětí a prodloužení polymerů.....	39
Obr. 27 Schématické znázornění výtlačného reometru.....	41
Obr. 28 Sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100-2.....	45
Obr. 29 ARBURG THERMOLIFT 100-2 - schéma.....	45
Obr. 30 ARBURG ALLROUNDER 420C ADVANCE.....	46
Obr. 31 ZWICK ROELL 1456.....	48
Obr. 32 Univerzální frézka.....	49

Obr. 33 Měřicí zařízení RESIL IMPACTOR JUNIOR [14]	51
Obr. 34 Výtlačný plastometr DYNISCO KAYENESS LMI 4003.....	52
Obr. 35 Zkušebních tělesa s vtokovou soustavou.....	53
Obr. 36 Vliv rec. na pevnost v tahu - σ_m , při teplotě: $T = -23^\circ\text{C}$	57
Obr. 37 Vliv rec. na modul pružnosti v tahu - E , při teplotě: $T = -23^\circ\text{C}$	58
Obr. 38 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tahu - ε_m , při teplotě: $T = -23^\circ\text{C}$	58
Obr. 39 Vliv rec. na pevnost v tahu - σ_m , při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$	61
Obr. 40 Vliv rec. na modul pružnosti v tahu - E , při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$	61
Obr. 41 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tahu - ε_m , při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$	61
Obr. 42 Vliv rec. na pevnost v tahu - σ_m , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$	64
Obr. 43 Vliv rec. na modul pružnosti v tahu - E , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$	64
Obr. 44 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tahu - ε_m , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$	64
Obr. 45 Vliv rec. na pevnost v tahu - σ_m , při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$	67
Obr. 46 Vliv rec. na modul pružnosti v tahu - E , při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$	67
Obr. 47 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tahu - ε_m , při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$	67
Obr. 48 Vliv rec. a teploty na pevnost v tahu - σ_m	69
Obr. 49 Vliv rec. a teploty na modul pružnosti v tahu - E	69
Obr. 50 Vliv rec. a teploty na poměrné prodloužení v tahu - ε_m	69
Obr. 51 Vliv rec. na pevnost v tlaku - σ_m , při teplotě: $T = -23^\circ\text{C}$	72
Obr. 52 Vliv rec. na modul pružnosti v tlaku - E , při teplotě: $T = -23^\circ\text{C}$	73
Obr. 53 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tlaku - ε_m , při teplotě: $T = -23^\circ\text{C}$	73
Obr. 54 Vliv rec. na pevnost v tlaku - σ_m , při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$	76
Obr. 55 Vliv rec. na modul pružnosti v tlaku - E , při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$	76
Obr. 56 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tlaku - ε_m , při teplotě: $T = 60^\circ\text{C}$	76
Obr. 57 Vliv rec. na pevnost v tlaku - σ_m , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$	79
Obr. 58 Vliv rec. na modul pružnosti v tlaku - E , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$	79
Obr. 59 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tlaku - ε_m , při teplotě: $T = 80^\circ\text{C}$	79
Obr. 60 Vliv rec. na pevnost v tlaku - σ_m , při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$	82
Obr. 61 Vliv rec. na modul pružnosti v tlaku - E , při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$	82
Obr. 62 Vliv rec. na poměrné prodloužení v tlaku - ε_m , při teplotě: $T = 110^\circ\text{C}$	82
Obr. 63 Vliv rec. a teploty na pevnost v tahu - σ_m	84
Obr. 64 Vliv rec. a teploty na modul pružnosti v tahu - E	84
Obr. 65 Vliv rec. a teploty na poměrné prodloužení v tahu - ε_m	84

Obr. 66 Vliv rec. a teploty na sílu měřenou v bodě špičky u vrubové houževnatosti	94
Obr. 67 Vliv rec. a teploty na deformaci v bodě špičky u vrubové houževnatosti.....	95
Obr. 68 Vliv rec. a teploty na deformaci v bodě lomu u vrubové houževnatosti	96
Obr. 69 Vliv rec. a teploty na vrubovou houževnatost (s energií v bodě špičky) u vrubové houževnatosti.....	97
Obr. 70 Vliv rec. a teploty na vrubovou houževnatost (s energií v bodě lomu) u vrubové houževnatosti.....	98
Obr. 71 Vliv rec. na index toku taveniny.....	101
Obr. 72 Vliv rec. na délku spirály.....	103
Obr. 73 Vyráběný díl - část světlometu	104
Obr. 74 Vada na dílci	105

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Některé charakteristické hodnoty PC	19
Tab. 2 Technické parametry stroje ARBURG THERMOLIFT 100-2 [10]	46
Tab. 3 Parametry vstřikovacího stroje ARBURG	47
Tab. 4 Parametry stroje ZWICK ROELL 1456	49
Tab. 5 Parametry stroje Univerzální frézka FHV-50PD.....	50
Tab. 6 Parametry měřícího zařízení RESIL IMPACTOR JUNIOR.....	51
Tab. 7 Parametry výtlacného plastometru DYNISCO KAYENESS LMI 4003	52
Tab. 8 Parametry vstřikování	54
Tab. 9 Tahová zkouška, -23°C, 0% rec.	55
Tab. 10 Tahová zkouška, -23°C, 20% rec.	56
Tab. 11 Tahová zkouška, -23°C, 30% rec.	56
Tab. 12 Tahová zkouška, -23°C, 100% rec.	57
Tab. 13 Tahová zkouška, 60°C, 0% rec.....	59
Tab. 14 Tahová zkouška, 60°C, 20% rec.....	59
Tab. 15 Tahová zkouška, 60°C, 30% rec.....	60
Tab. 16 Tahová zkouška, 60°C, 100% rec.....	60
Tab. 17 Tahová zkouška, 80°C, 0% rec.....	62
Tab. 18 Tahová zkouška, 80°C, 20% rec.....	62
Tab. 19 Tahová zkouška, 80°C, 30% rec.....	63
Tab. 20 Tahová zkouška, 80°C, 100% rec.....	63
Tab. 21 Tahová zkouška, 110°C, 0% rec.....	65
Tab. 22 Tahová zkouška, 110°C, 20% rec.....	65
Tab. 23 Tahová zkouška, 110°C, 30% rec.....	66
Tab. 24 Tahová zkouška, 110°C, 100% rec.....	66
Tab. 25 Tahová zkouška, mez pevnosti - σ_m	68
Tab. 26 Tahová zkouška, modul pružnosti - E	68
Tab. 27 Tahová zkouška, poměrné prodloužení - ε_m	68
Tab. 28 Tlaková zkouška, -23°C, 0% rec	70
Tab. 29 Tlaková zkouška, -23°C, 20% rec	71
Tab. 30 Tlaková zkouška, -23°C, 30% rec	71
Tab. 31 Tlaková zkouška, -23°C, 100% rec	72
Tab. 32 Tlaková zkouška, 60°C, 0% rec.....	74

Tab. 33 Tlaková zkouška, 60°C, 20% rec.....	74
Tab. 34 Tlaková zkouška, 60°C, 30% rec.....	75
Tab. 35 Tlaková zkouška, 60°C, 100% rec.....	75
Tab. 36 Tlaková zkouška, 80°C, 0% rec.....	77
Tab. 37 Tlaková zkouška, 80°C, 20% rec.....	77
Tab. 38 Tlaková zkouška, 80°C, 30% rec.....	78
Tab. 39 Tlaková zkouška, 80°C, 100% rec.....	78
Tab. 40 Tlaková zkouška, 110°C, 0% rec.....	80
Tab. 41 Tlaková zkouška, 110°C, 20% rec.....	80
Tab. 42 Tlaková zkouška, 110°C, 30% rec.....	81
Tab. 43 Tlaková zkouška, 110°C, 100% rec.....	81
Tab. 44 Tlaková zkouška, mez pevnosti - σ_m	83
Tab. 45 Tlaková zkouška, modul pružnosti - E.....	83
Tab. 46 Tlaková zkouška, poměrné prodloužen - ϵ_m	83
Tab. 47 Podrobnosti o zkoušce Charpy.....	85
Tab. 48 Zkouška vrubové houževnatosti, -23°C, 0% rec.	86
Tab. 49 Zkouška vrubové houževnatosti, -23°C, 20% rec.	86
Tab. 50 Zkouška vrubové houževnatosti, -23°C, 30% rec.	87
Tab. 51 Zkouška vrubové houževnatosti, -23°C, 100% rec.	87
Tab. 52 Zkouška vrubové houževnatosti, 60°C, 0% rec.....	88
Tab. 53 Zkouška vrubové houževnatosti, 60°C, 20% rec.....	88
Tab. 54 Zkouška vrubové houževnatosti, 60°C, 30% rec.....	89
Tab. 55 Zkouška vrubové houževnatosti, 60°C, 100% rec.....	89
Tab. 56 Zkouška vrubové houževnatosti, 80°C, 0% rec.....	90
Tab. 57 Zkouška vrubové houževnatosti, 80°C, 20% rec.....	90
Tab. 58 Zkouška vrubové houževnatosti, 80°C, 30% rec.....	91
Tab. 59 Zkouška vrubové houževnatosti, 80°C, 100% rec.....	91
Tab. 60 Zkouška vrubové houževnatosti, 110°C, 0% rec.....	92
Tab. 61 Zkouška vrubové houževnatosti, 110°C, 20% rec.....	92
Tab. 62 Zkouška vrubové houževnatosti, 110°C, 30% rec.....	93
Tab. 63 Zkouška vrubové houževnatosti, 110°C, 100% rec.....	93
Tab. 64 Zkouška vrubové houževnatosti, síla měřená v bodě špičky - Fm.....	94
Tab. 65 Zkouška vrubové houževnatosti, deformace v bodě špičky - Sm.....	95

Tab. 66 Zkouška vrubové houževnatosti, deformace v bodě lomu - Sb.....	96
Tab. 67 Zkouška vrubové houževnatosti, vrubová houževnatost (s energií v bodě špičky) - Am.....	97
Tab. 68 Zkouška vrubové houževnatosti, vrubová houževnatost (s energií v bodě lomu) -Ab	98
Tab. 69 Podrobnosti o zkoušce ITT	99
Tab. 70 Zkouška ITT, 0% rec.	100
Tab. 71 Zkouška ITT, 20% rec.	100
Tab. 72 Zkouška ITT, 30% rec.	100
Tab. 73 Zkouška ITT, 100% rec.	101
Tab. 74 Zkouška ITT	101
Tab. 75 Parametry vstřikování při spirálové zkoušce.....	102
Tab. 76 Spirálová zkouška.....	103
Tab. 77 Test zmetkovitosti.....	104

SEZNAM PŘÍLOH

- PI CD disk obsahující:
- Textovou část diplomové práce;
 - Tabulky a grafy materiálových zkoušek;
 - Tabulky vstřikovacích parametrů při testu zmetkovitosti