

Mechanické vlastnosti dílu z PA v závislosti na umístění vtoku

Ondřej Petr

Bakalářská práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej PETR**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Mechanické vlastnosti dílu z PA v závislosti na umístění vtoku**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vstřikováním z odlišných vtokových ústí vyrobte dílce.
3. Nachystejte zkušební tělíska a provedte mechanické zkoušky.
4. Vyhodnoťte zjištěné výsledky.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] BOBČÍK, L. **Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů. Díl 1. 2. upr. vyd.**
Brno: Uniplast, 1999. 133 s.

[2] HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J. **Strojírenská technologie 1 – Nauka o materiálu**
1.díl. 3. přeprac. vyd. Praha : Scientia, 2002. 266 s. ISBN 80-7183-262-6

[3] REES, H. **Mold engineering. 2nd edition.** Munich : Hanser, 2002. 688 s. ISBN
3-446-21659-6.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Štěpán Šanda

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2009

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2009

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na zkoumání mechanických vlastností polymerního dílu z polyamidu. Polymerní díl byl vyroben technologií vstřikování, přičemž destičky byly vstřikovány z odlišných vtokových ústí. U jednotlivých vzorků vyrobených z destiček byla provedena tahová zkouška a bylo zjišťováno, jaký má vliv umístění vtokových ústí na jejich vlastnosti.

Klíčová slova: Polyamid, Vstřikování, Mechanické vlastnosti

ABSTRACT

This work is aimed on a examining the mechanical properties of polyamide polymer part. Polymer part was made by injection molding technology, the plates were injected from different gates. For each sample made from plates was performed a tensile test and it was found out what influence has the gate location on their properties.

Keywords: Polyamide, Injection, Mechanical properties

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Štěpánu Šandovi za odborné vedení, cenné rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při vypracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 18. 5. 2009

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD.....	8
I TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....	10
1.1 VSTUPNÍ KONTROLA POLYMERŮ	10
1.2 PŘÍPRAVA POLYMERŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	10
1.2.1 Sušení polymerů.....	11
1.3 RECYKLACE PLASTŮ.....	12
1.4 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	12
1.5 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VLASTNOSTI A KVALITU VÝSTŘIKU.....	13
1.6 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	14
1.6.1 Vstřikovací jednotka	14
1.6.2 Uzavírací jednotka	15
1.6.3 Řízení a regulace vstřikovacích strojů	16
1.7 VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	16
1.7.1 Tok taveniny.....	17
1.7.2 Vtokový systém.....	18
1.7.3 Temperační systém.....	22
1.7.4 Vyhazovací systém.....	22
2 POLYMERY.....	24
2.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	24
2.2 TERMOPLASTY	25
2.2.1 Struktura termoplastů	25
2.2.2 Odolnost termoplastů vůči chemikáliím	26
2.3 POLYAMIDY	26
2.3.1 Odolnost vůči chemikáliím	26
2.3.2 Odolnost vůči teple	27
2.3.3 Odolnost vůči světlu a povětrnostnímu stárnutí.....	27
2.3.4 Použití polyamidu	27
3 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ A DĚLENÍ PLASTŮ	28
3.1 OBRÁBĚNÍ PLASTŮ	28
3.1.1 Soustružení.....	28
3.1.2 Frézování.....	29
3.1.3 Vrtání.....	29
3.1.4 Broušení	29
3.2 DĚLENÍ MATERIÁLŮ	29
3.2.1 Řezání.....	30
3.2.2 Stříhání a prostřihování	30
3.2.3 Sekání a vysekávání	31
3.2.4 Řezání vodním paprskem	31
3.2.5 Řezání laserem	32
4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY.....	34
4.1 STATICKÉ ZKOUŠKY	34
4.1.1 Tahová zkouška.....	34
4.1.2 Ohybová zkouška	35

4.1.3	Zkouška stříhem	36
4.2	DYNAMICKÉ ZKOUŠKY	37
4.2.1	Rázová zkouška v ohybu	37
4.3	ZKOUŠKY TVRDOSTI	37
4.3.1	Zkouška tvrdosti podle Brinella	37
4.3.2	Zkouška tvrdosti podle Rockwella	37
4.3.3	Zkouška tvrdosti podle Vickerse	38
5	ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI	39
II	PRAKTICKÁ ČÁST	40
6	STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE	41
7	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	42
7.1	MATERIÁL VZORKŮ	42
7.2	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	43
7.2.1	Vstřikování	43
7.2.2	Řezání vzorků	44
7.2.3	Značení vzorků	46
7.3	ZKOUŠKY MATERIÁLU	48
7.4	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	51
8	DISKUZE VÝSLEDKŮ	52
8.1	TAH - VTOK B, SMĚR L	52
8.1.1	Mez pevnosti R_m – vtok B, směr L	53
8.1.2	Modul pružnosti E – vtok B, směr L	54
8.1.3	Prodloužení ε – vtok B, směr L	56
8.1.4	Síla F_m – vtok B, směr L	57
8.2	TAH - VTOK B, SMĚR T	58
8.2.1	Mez pevnosti R_m – vtok B, směr T	59
8.2.2	Modul pružnosti E – vtok B, směr T	60
8.2.3	Prodloužení ε – vtok B, směr T	62
8.2.4	Síla F_m – vtok B, směr T	63
8.3	TAH - VTOK C, SMĚR LT	64
8.3.1	Mez pevnosti R_m – vtok C, směr LT	65
8.3.2	Modul pružnosti E – vtok C, směr LT	67
8.3.3	Prodloužení ε – vtok C, směr LT	68
8.3.4	Síla F_m – vtok C, směr LT	69
8.4	SROVNÁNÍ HODNOT PRO JEDNOTLIVÉ VTOKY	71
8.4.1	Srovnání meze pevnosti R_m pro jednotlivé vtoky	71
8.4.2	Srovnání modulu pružnosti E pro jednotlivé vtoky	72
8.4.3	Srovnání prodloužení ε pro jednotlivé vtoky	73
8.4.4	Srovnání síly F_m na mezi pevnosti	74
	ZÁVĚR	75
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	79
	SEZNAM TABULEK	82
	SEZNAM PŘÍLOH	83

ÚVOD

Polymerní materiály jsou v dnešní době jedním z nejrozšířenějších materiálů. V posledních letech zaznamenaly obrovský vývoj a rozšířily se téměř do všech oborů lidské činnosti. Polymerní materiály mají celou řadu výhod oproti jiným materiálům a dochází právě k nahrazování těchto materiálů materiály polymerními. Mezi tyto výhody patří především nízká hmotnost materiálu, chemická odolnost, dobré elektroizolační vlastnosti, snadné zpracování na výsledný tvar a také to, že různými modifikacemi a přísadami lze ještě více zlepšovat jejich vlastnosti. V některých oborech a aplikacích jsou již nenahraditelné. Vývoji těchto materiálů je však nutné přizpůsobit také technologii výroby a jednotlivé zpracovatelské stroje.

Polymerní materiály jsou zpracovávány různými technologiemi. Jednou z nejvíce používaných technologií je zpracování polymerů vstřikováním. Touto technologií se vyrábí velmi výrobky vyznačující se velmi dobrou rozměrovou a tvarovou přesností v relativně krátkých časových intervalech. Za pomoci výkonného softwarového vybavení lze předcházet nedostatkům a odhalovat chyby, které by mohly vzniknout. Dojde tím k úspoře času a především financí, jelikož vstřikovací formy vyžadují v porovnání s jinými metodami zpracování plastů vysoké investiční náklady.

Plasty lze také jako většinu materiálů obrábět a dělit. Nástroje na obrábění se většinou neliší od těch, které se používají při obrábění například ocelí. U jednotlivých metod dělení plastů se používají různé nástroje a prostředky. U některých metod dělení dochází k ovlivnění povrchové vrstvy materiálu a vznikají například otřepy nebo může také dojít k tepelnému ovlivnění.

Výběr materiálu pro výrobu různých součástí je založen na znalosti materiálu. Nejprve se zjišťují vlastnosti materiálu, které jsou pro daný účel nejdůležitější. Po zjištění požadovaných vlastností vybíráme materiál, který je nejvhodnější. Pro vlastní výběr materiálu potřebujeme vyjádřit požadované vlastnosti číselně. Vyjádření vlastností materiálu číselnými hodnotami, materiálovými charakteristikami, je úkolem oboru, který se nazývá zkoušení materiálu. Materiálová charakteristika je číselná hodnota, která kvantifikuje určitou vlastnost a která se určuje experimentálně. [4]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je nejrozšířenějším způsobem výroby požadovaných dílů z plastů. Touto technologií se vyrábí takové výrobky, které mají buď charakter konečného výrobku anebo jsou polotovary nebo díly 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 cyklický. Vyznačuje se poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a forma. Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. V omezené míře se vstřikují i některé reaktoplasty a elastomery. [1, 14]

1.1 Vstupní kontrola polymerů

Polymery jsou dodávány v různých formách (sypký materiál, granulát, pásy apod.) Polymery pro vstřikování se dodávají granulované v pytlích nebo i jinak chráněné proti navlhnutí. Pro omezení zpracovatelských i aplikačních potíží, je vhodné provádět jejich vstupní kontrolu. [1]

Vstupní kontrola stanovuje [1]:

- chemicko–analytické složení (obsahy nízkomolekulárních podílů, mol. hmotnost apod.)
- mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost atd.)
- fyzikální vlastnosti (viskozita, tepelné, elektrické, optické vlastnosti atd.)
- ostatní hodnocení (vizuální, vliv prostředí atd.)

Další vlastnosti, které například vyžadují nákladné přístrojové vybavení, mohou stanovit specializovaná pracoviště. [1]

1.2 Příprava polymerů před vstřikováním

Polymery nelze většinou bezprostředně zpracovávat v hotové výrobky tak, jak jsou dodávány výrobcem. Musí nejprve projít procesem přípravného zpracování, to znamená, že musí být upravena jejich chemická a fyzikální struktura, musí do nich být přidány a rozptýleny různé přísady (změkčovadla, stabilizátory, antioxidanty, pigmenty, plniva apod.). Taveniny polymerů jsou filtrovány, čímž jsou z nich odstraňovány eventuální nečistoty. Na-

konec jim musí být dodána vhodná forma pro další zpracování (suchá směs, aglomerát, granulát apod.). Přípravné zpracování tedy představuje mezistupeň mezi výrobou polymerní suroviny a vlastním zpracováním, kdy jsou polymeru dodávány konečné vlastnosti a tvar výrobku. Přípravné zpracování polymerů, které jsou zpracovávány vstřikováním na výstřiky s velkou rozměrovou přesností a vynikajícími fyzikálními vlastnostmi provádí většinou výrobce polymerů. [12]

1.2.1 Sušení polymerů

Některé polymery jsou navlhavé, hyroskopické a před vlastním zpracováním se musí sušit. To znamená zbavit se absorbované vlhkosti, protože přítomnost vody se projevuje zhoršováním kvality povrchu výrobků i poklesem mechanických vlastností. Může také dojít k degradaci polymeru, zejména u polymerů, u nichž voda při zvýšené teplotě způsobuje štěpení makromolekul. [14]

Se sušením jako technologickou operací se musí počítat v případech, kdy hmota přišla v předchozí operaci do styku s vodou, jako je tomu u suspenzní nebo emulzní polymerace anebo při granulaci hmoty, kdy vytlačovaný profil prochází vodní chladicí lázní. [14]

Většina termoplastických materiálů absorbuje vlhkost ze vzduchu. Nevysušený materiál pak způsobuje, že výstřiky jsou bez povrchového lesku, v místě vtoku mají povrchové vadby a nesnadno se vyjímají z formy. Proto je nutné termoplasty předsušit. Reaktoplasty a elastomery se před zpracováním taktéž vysouší. [1]

Granulované polymery se dodávají buď vysušené ve vzduchotěsných obalech, nebo nevysušené v papírových nebo plastových pytlích. Aby granulát nezvlhl, skladuje se před zpracováním v suchých skladech. Při převozu ze skladu na dílnu se ponechává materiál asi 24 hodin k aklimatizaci při teplotě dílny. Teprve poté se pytle otevírají, čímž se zamezí orosení granulátu. [1]

K sušení se používají komorové pece s přirozeně cirkulujícím vzduchem. Vysokokapacitní sušárny s nucenou cirkulací ohřátého vzduchu jsou vhodné pro nepřetržitý provoz. U vstřikovacích strojů s nevytápěnou násypkou je nutné vysušený granulát do 30 minut spotřebovat. [1]

1.3 Recyklace plastů

Se vzrůstající produkcí plastů narůstá také problém s jejich recyklací. Při zpracování plastů vstřikováním je značný podíl odpadu (vadné výstřiky, vtokové systémy), zejména při výrobě malých výstřiků. Neznečištěný plastový odpad vzniklý při výrobě musí být rozdrcen a rozemlet do té míry, aby jej bylo možno znovu zpracovat. K hrubému rozrušení velkých kusů se používají kotoučové pily a v následující operaci nejrůznější typy kladivových mlýnů. Jestliže k rozemletí materiálu nepostačují kladivové mlýny, bývají do linky zařazovány jiné typy mlýnů schopné jemnějšího mletí. Obvykle je materiál drcen v nožových mlýnech, v poslední době se uplatňují talířové nárazové mlýny, které materiál rozemelou na rovnoměrnou zrnitost vhodnou vstřikováním. Takto upravený odpad je smíchán s čistým granulátem a znovu zpracováván. Přitom obvykle dochází ke snížení fyzikálně-mechanických vlastností i povrchového vzhledu výrobku. Míra snížení závisí na množství podílu drceného odpadu v původním granulátu. Transparentní a silně namáhané plasty nemohou být smíchány s recyklátem, protože by nesplnily požadované vlastnosti. [1, 12]

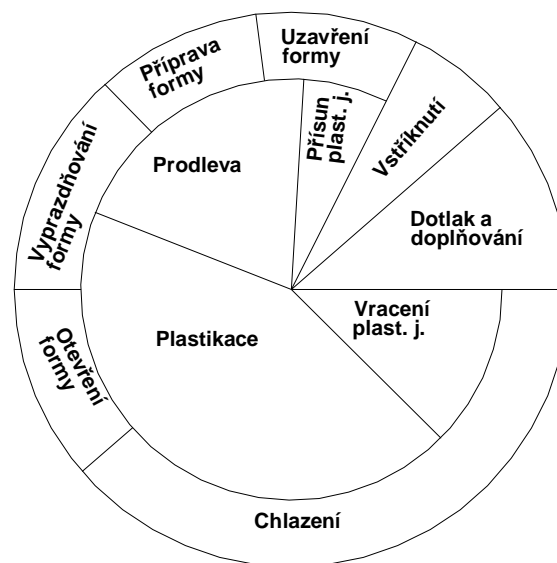
Do 30 objemových procent recyklátu v granulátu mohou být vyráběny výstřiky bez podstatného vlivu na jeho vlastnosti. S rostoucím množstvím recyklátu v granulátu jeho vlastnosti dále klesají. V některých případech (u nenáročných výstřiků) jsou vyráběny dílce i ze 100 % recyklátu. Před přidáním recyklátu do čistého materiálu musí být odpad upraven přesíváním. Průniku kovových nečistot do vstřikovací formy se zabrání pomocí elektromagnetického separátoru kovu, nebo zabudováním mechanického filtru do trysky stroje, nebo do vtokové vložky formy. [1]

1.4 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces, který je zpravidla plně automatický. Během tohoto procesu polymer prochází teplotním cyklem. Vstřikovací cyklus se realizuje se na vstřikovacím stroji. [1, 14]

Na počátku vstřikovacího cyklu bývá dutina formy prázdná a vstřikovací forma otevřená. Pohyblivá část formy se přisune k pevné části, forma se uzavře a uzamkne. Průběh uzavírání formy je rychlý, jen před stykem obou polovin formy se zpomalí. Po uzavření formy stroje dojde k přísunu plastikační jednotky, ve které je připravený granulovaný plast uveden do plastického stavu a dojde ke vstříknutí taveniny do temperované dutiny formy. Teplota formy závisí na typu zpracovávaného plastu a tloušťce stěn výrobku. Jakmile

tavenina vstoupí do dutiny formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a chladne. Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí výstřiku. Během chlazení se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem. Aby se ve výstřiku netvořily propadliny a staženiny, je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy – dotlak. Dotlak končí v době, kdy zatuhne vtokové ústí. Po skončení dotlaku se plastikační jednotka oddálí od formy a následuje plastikace nové dávky materiálu. Po dokonalém zchlazení výstřiku se forma otevře a výstřik se vyhodí z formy. Po očištění a přípravě formy následuje další cyklus. [1, 14]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus. [1]

1.5 Faktory ovlivňující vlastnosti a kvalitu výstřiku

Na vlastnostech a kvalitě výstřiku se podílí [14]:

- Materiál:
 - rychlost plastikace polymeru
 - tekutost polymeru
 - dostatečná tepelná stabilita polymeru v rozsahu zpracovatelských teplot
 - teplotní roztažnost
 - smrštění
 - dodatečné smrštění

- navlhavost, nasákavost
- Technologie:
 - vstříkovací tlak
 - teplota taveniny
 - teplota formy
 - vstříkovací rychlost
 - velikost a doba trvání dotlaku

1.6 Vstříkovací stroj

Vstříkovací proces probíhá na moderních strojích většinou plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. Pořizovací cena strojního zařízení i vstříkovací formy je však značně vysoká. Technologie je proto vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Vstříkovací stroj se skládá ze vstříkovací jednotky, uzavírací jednotky a ovládání a řízení stroje. Každý výrobce vstříkovacích strojů je schopen vybavit vstříkovací stroj tak, aby plnil funkci částečně nebo plně automatizovaného pracoviště, tj. dovybavit stroj manipulátory, roboty, temperančním zařízením, dávkovacím a mísícím zařízením, sušárnami, dopravníky pro výrobky a vtoky, mlýny atd. Jejich přehled i s ostatními daty jsou součástí nabídky výrobců vstříkovacích strojů. [1, 14]

1.6.1 Vstříkovací jednotka

Jak vyplývá z jejího názvu, plní vstříkovací jednotka dva hlavní úkoly: přeměňuje granulát plastu na materiálově i teplotně homogenní taveninu o zvolené viskozitě, dopravuje (vstříkuje) tuto taveninu velkou rychlostí a pod vysokým tlakem do tvarové dutiny uzavřené formy. [12]

Vstříkovací jednotky se obvykle dělí podle způsobu plastikace [6]:

- vstříkovací jednotka bez předplastikace
- vstříkovací jednotka s předplastikací

Ve vstříkovací jednotce bez předplastikace probíhá plastikace v tavící komoře (pístová plastikace) nebo v pracovním válci (šneková plastikace). [6]

Při pístové plastikaci se dávkuje zpracováváný materiál dávkovacím zařízením do tavicí komory. V tavicí komoře se materiál roztaví a tavenina se vstříkne vstříkovacím pístem do formy. Teplo potřebné k ohřátí materiálu dodávají pásová topná tělesa. Výhodou vstříkovacích jednotek s pístovou plastikací je jednoduchá konstrukce a snadné docílení poměrně vysokých vstříkovacích tlaků. Nevýhodou je horší homogenizace taveniny. [6]

U vstříkovací jednotky se šnekovou plastikací vstupuje zpracováváný materiál z násypky do pracovního válce. V pracovním válci se šnekem plastikuje, homogenizuje a dopravuje před špicí šneku. Šnek se otáčí a posouvá, čímž vytváří prostor pro taveninu. Po zplastikování potřebného množství se materiál axiálním pohybem šneku vstříkne přes vstříkovací trysku do formy. Šneková plastikace dává větší výkony než pístová. Také rovnoměrnost prohřev a homogenizace taveniny je lepší. [6]

Vstříkovací jednotka s předplastikací zajišťuje dostatečný plastikační výkon a dokonalou homogenizaci taveniny. Vstříkovací jednotka se dělí na část plastikační a část vstříkovací. Zpracováváný materiál se plastikuje v oddělené plastikační jednotce a takto připravená tavenina se dopravuje do vstříkovacího válce, odkud se pak vstříkne pístem do formy. Toto uspořádání umožňuje i výrazné zkrácení vstříkovacího cyklu. Plastikace může probíhat v plastikační komoře (pístová plastikace) nebo v pracovním válci (šneková plastikace). U šnekové předplastikace se lépe ovládají plastikační podmínky a dosahuje se vyšších výkonů. Nevýhoda spočívá ve složitosti a vyšších nárocích na seřizování a údržbu. [6]

1.6.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je zajištění dokonalého uzavření, otevření i případného vyprázdnění. Hlavní části uzavírací jednotky jsou [1, 14]:

- opěrná deska pevná
- upínací deska
- vodící lišty
- uzavírací mechanismus

Současné moderní stroje mají programovatelnou rychlost a sílu uzavírání vstříkovací formy. Uspořádání uzavírací jednotky a tuhost uzavíracího mechanismu má rozhodující vliv na těsnost formy. Podle druhu pohonu lze rozdělit uzavírací jednotku na hydraulickou, mechanickou, jejich kombinaci a také elektrickou. U hydraulických jednotek je výhodou nastavení různé hloubky otevření nástroje, výhodou hydraulicko-mechanických jednotek je

dostatečná tuhost a potřebné zpomalení před uzavřením formy. U elektrických uzavíracích jednotek je výhodou jednoduché ovládání a příznivá spotřeba energie. [6]

1.6.3 Řízení a regulace vstřikovacích strojů

Řízení a regulaci je nutné považovat za neoddělitelnou součást funkce vstřikovacího stroje. Rozumí se tím nastavení, snímání a sledování strojních a technologických parametrů spolu s jejich následnou regulací tehdy, když odchylky překročí přípustnou toleranci. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky. Nejnovější koncepce vstřikovacích strojů se neobejdou bez mikroprocesorového systému, který řídí činnost celého vstřikovacího stroje na základě vytvořeného programu. Celý proces je tak automatizován a umožňuje automatický sled všech operačních úseků (plastikace, uzavření formy atd.) v nastavených časových úsecích a samočinné dodržování nastavených technologických parametrů. [6]

1.7 Vstřikovací forma

Vstřikovací forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Kvalitní forma plní požadavky [1]:

- Technické, které zaručují správnou funkci formy, která musí vyrobít požadovaný počet součástí v náležité kvalitě a přesnosti. Má také splňovat podmínku snadné manipulace i obsluhy při výrobě součástí.
- Ekonomické, které se vyznačují co nejnižší pořizovací cenou, snadnou a rychlou výrobou dílů při vysoké produktivitě práce. Také vysokým využitím polymeru.
- Společensko-estetické, které umožňují vytvářet vhodné prostředí při bezpečné práci. Vyžadují dodržení všech bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě a provozu formy.

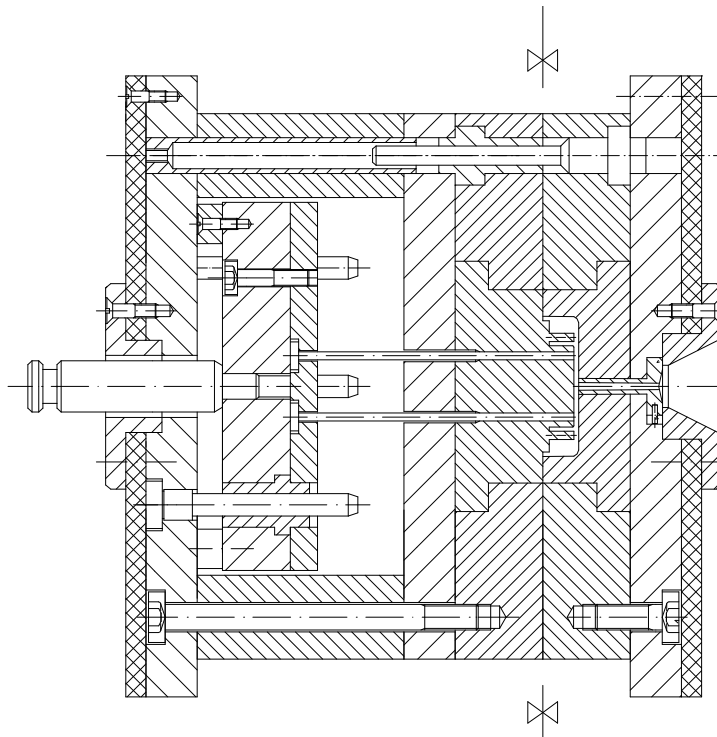
Formy pro zpracování polymerů musí odolávat vysokým tlakům. Jejich konstrukce a výroba je náročná na odborné znalosti a finanční náklady. Volba materiálu závisí na druhu zpracovávaného polymeru, na použité technologii, na velikosti výrobku a jeho složitosti, na velikosti série, tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi, ceně, apod. [1, 14]

Vstřikovací formy jsou konstrukčně rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin [16]:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třídeskové, etážové, čelist'ové, vytáčečí, apod.
- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny

Vstřikovací forma se skládá z dílů, vymežujících tvarovou dutinu formy, z temperačního systému, z vtokového systému, z vyhazovacího systému a z upínacích a vodících elementů.

[14]



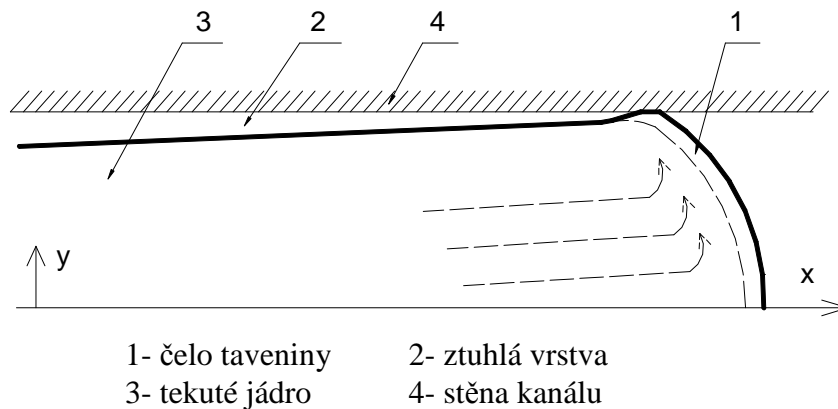
Obr. 2. Vstřikovací forma. [1]

1.7.1 Tok taveniny

Vlastnosti výsledného produktu jsou vedle použitého polymeru ovlivněny zejména vstřikovacím strojem, formou a temperačním systémem. Z hlediska toku taveniny vtokovým systémem a dutinou formy. Platí principiálně stejné vztahy, jako pro toky polymerní taveniny kanály definovaných tvarů. Vtokový systém, zvláště u forem s několika dutinami musí být řešen tak, aby bylo zabezpečeno současné zaplňování všech dutin. Při zaplňování

dutiny formy nedochází ke skluzu taveniny po stěně, ale dochází k „valení“ taveniny. Tento laminární tok je označován jako fontánový tok. [8]

Při laminárním toku se jedná o složitý mechanismus tuhnutí vrstev taveniny. Teplota formy je mnohem nižší než teplota taveniny a tak tavenina při styku se stěnou okamžitě ztuhne a vytvoří vrstvu nepohyblivé hmoty a zároveň i vrstvu tepelné izolace. Uvnitř je potom plastické jádro s nízkou viskozitou, umožňující další průtok taveniny plastu do dutiny formy, která se potom roztéká směrem ke stěnám, až dojde k zaplnění tvarové dutiny formy. Vzhledem ke zvyšování viskozity směrem ke stěně formy dochází k růstu rychlosti v plastickém jádru a k zakřivení čela. Pokles tlaku je potom směrem ke stěně formy. [14]



Obr. 3. Plnění dutiny formy taveninou. [14]

Tok taveniny ve složitých geometriích je velmi komplikovanou záležitostí, která se neobejde bez pomoci výkonné výpočetní techniky. K dispozici je řada výkonných simulačních softwarů usnadňujících řešit tyto problémy v předstihu, ještě před započítáním výroby vlastního nástroje, což může přinášet velké úspory a zkrácení doby od návrhu výrobku po jeho produkci. [8]

1.7.2 Vtokový systém

Vtokový systém vstřikovací formy zajišťuje při vstřiku vedení proudu taveniny z plastikační jednotky do dutiny vstřikovací formy. Naplnění dutiny formy musí proběhnout v co nejkratším čase s minimálním odporem. Vtokový systém je systém vtokových a rozváděcích kanálů a vtokových ústí. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, podle jejich rozmístění a podle toho, zda bude konstruována jako horký nebo studený vtokový systém. Tvar, umístění a rozměry vtokového systému ovlivňují [1, 14]:

- Rozměry, vzhled i vlastnosti výrobku

- Spotřebu materiálu (u studeného vtokového systému vzniká odpad)
- Náročnost opracování a začištění výrobku
- Energetická náročnost výroby

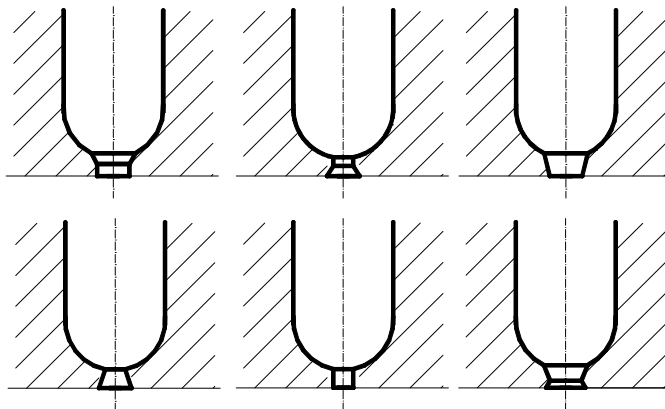
Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Jen ve výjimečných případech může být použit plný nezúžený vtok. Vtokové ústí se volí co nejmenšího průřezu v závislosti na charakteru výstřiku, plastu i technologii vstřikování. Umístění vtokového ústí má rozhodující vliv na vzhled a požadovanou kvalitu vstřikovaného výrobku. Délka vtokového ústí se volí co nejkratší a je omezena pevností materiálu vstřikovací formy. [1]

Zúžené ústí vtoku musí [1] :

- zvýšit rychlost vtékání taveniny do dutiny
- usnadnit oddělování vtokového zbytku od výstřiku, případně zlepšit jeho vzhled
- zajistit spolehlivé plnění dutiny formy
- umožnit případné působení dotlaku

Bodový vtok

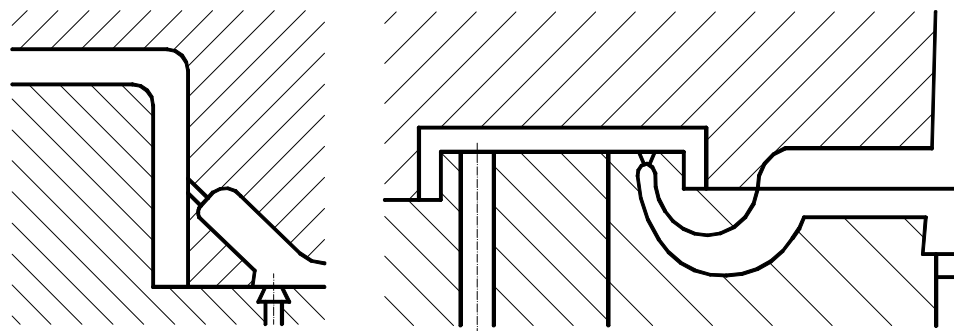
Nejznámější typ zúženého vtokového ústí zpravidla kruhového průřezu, který leží mimo nebo i v dělicí rovině. Může vycházet přímo z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Vyžaduje systém třídeskových forem. U tohoto systému musí být zajištěno, aby nejprve došlo k odtržení vtokového systému a teprve potom k otevření formy v dělicí rovině s tvarovou dutinou. Velikost průřezu vtokového ústí se volí v závislosti na hmotnosti výstřiku a na tekutosti plastu. U méně tekutých polymerů a plněných polymerů pro větší výstřiky, se použití bodových ústí vtoků nedoporučuje. [1, 9]



Obr. 4. Bodové ústí vtoku. [1, 9]

Tunelový vtok

Tunelové ústí vtoku je zvláštním případem zúženého vtokového ústí. Svým umístěním pod dělicí rovinu umožňuje snazší odvzdušnění dutiny formy a spolehlivé oddělení vtokového zbytku při otevření formy. Volba tunelových vtoků u výstřiku požaduje polymer s dostatečnou elasticitou. Vtoky jsou vhodné pro výrobu tenkostěnných výstřiků bez viditelné stopy po vtoku na jeho vzhledové části. Při konstrukci se nesmí zapomínat na přídržovač vtoku. Zvláštním typem tunelového vtoku je srpkovitý vtok, který umožňuje umístit vtokové ústí do části výstřiku, ve které nepůsobí rušivě. Takový vtok je vhodný jen pro polymery s vysokou elasticitou. [1, 9, 13]

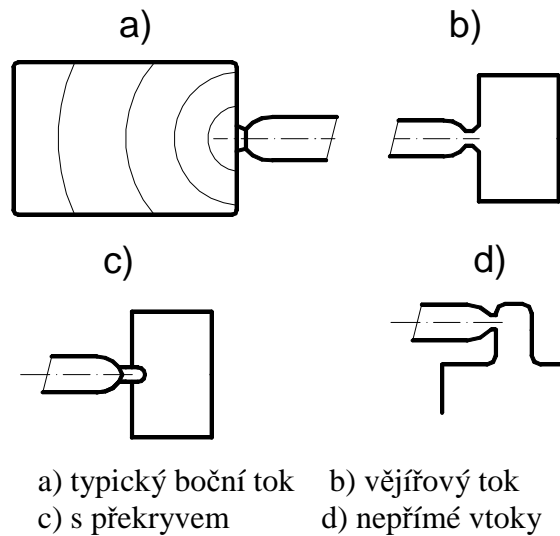


Obr. 5. Tunelový vtok, srpkovitý vtok. [9]

Boční vtok

Je také typem se zúženým vtokovým ústím, které leží v dělicí rovině. Je nejrozšířenějším a nejpoužívanějším vtokovým ústím. Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený. Vtokové ústí bývá napojeno na rozváděcí kanál zúžením průtokového průřezu. [1, 9]

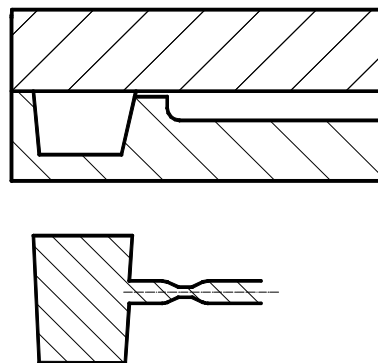
Pro zamezení volného vstřikování taveniny do dutiny formy je ústí upravováno do tvaru vějíře nebo se používá bočních vtoků s překrytím. [1, 19]



Obr. 6. Boční vtok. [1]

Filmový vtok

Je nejpoužívanější ze skupiny bočních vtokových ústí hlavně k plnění kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. K nim se ještě řadí vtoky diskové, prstencové, deštníkové a další. Od filmového vtoku se vyžaduje dodržení rovinnosti, přímosti a přesnosti tvaru výstřiku, malé vnitřní pnutí, odstranění studených spojů, vyvážení tlaku, zmenšení rychlosti taveniny vstupující do dutiny formy a zmenšení odporu vtokového systému. [1, 9]



Obr. 7. Filmový vtok. [1]

Rozvedení taveniny do jednotlivých míst filmového vtokového ústí není rovnoměrné. Tlak klesá s rostoucí vzdáleností od rozváděcího kanálu. To se řeší proměnou tloušťkou ústí nebo rozváděcími kanály. [1]

Plnění dutiny více vtoky

Pro výstřik je účelné naplnit dutinu formy taveninou jedním vtokem. Neumožňuje-li to tvarová dutina, použije se více vtoků. Před použitím je nutné zvážit jejich vliv na uzavírání vzduchu a vzniku studených spojů při setkání proudů taveniny z jednotlivých vtoků. [1]

1.7.3 Temperační systém

Temperování formy na požadovanou teplotu záleží na energetické bilanci formy i okolního prostředí. Teplo se z formy odvádí především temperačním systémem. Formy na polymery, které se zpracovávají při vyšší teplotě, je třeba naopak ohřívat. [2]

Temperační systém formy je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými proudí temperační kapalina, která udržuje teplotu temperovaných částí na požadované výši. S ohledem na vlastnosti výrobku se požaduje, aby se hmota ochlazovala ve všech místech stejnou rychlostí. Důsledky nerovnoměrného ochlazování se projevují např. tím, že výrobek obsahuje vnitřní pnutí, deformuje se nebo vzniknou trhliny. Temperační systém bývá rozdělen do dvou dílčích okruhů, a to na okruh pro pevnou neboli vtokovou část formy a na okruh pro pohyblivou část. Každý z okruhů se může dále dělit na podokruhy, které se řeší podle způsobu zaformování výstřiku ve formě a podle polohy dělící roviny. Rozmístění temperačních kanálů a jejich rozměry je nutno navrhnout s přihlédnutím k celkovému řešení formy, ale i k požadavku na těsnost temperačního okruhu. Celková délka kanálů má být taková, aby rozdíl teplot temperační kapaliny na vstupu a výstupu byl max. 3 až 5 °C. [2, 14]

1.7.4 Vyhazovací systém

Vyhazování výrobku z formy je činnost, kdy se z dutiny formy vysune (vytlačí) výrobek. K vyhození slouží různé vyhazovací zařízení, které funguje automaticky nebo poloautomaticky. Při vyhazování se z formy odstraňuje výrobek včetně vtokového zbytku. [2]

Vyhazovací systém má dvě fáze [2]:

- Dopředný pohyb - tedy vlastní vyhazování
- Zpětný pohyb – návrat vyhazovacího zařízení do původní polohy

Zvolený vyhazovací systém by měl zajistit vyvození potřebné vyhazovací síly. Po otevření formy zůstává výrobek zpravidla na straně tvárníku. Základní podmínkou dobrého vyhazování výrobku je hladký povrch a úkosovitost stěn ve směru vyhazování. Nejrozšířeněj-

ším vyhazovacím systémem je mechanické vyhazování výrobků, které se provádí pomocí [2]:

- Vyhazovacích kolíků
- Stírací desky
- Šikmých vyhazovačů
- Vícestupňového vyhazování
- Speciálního vyhazování

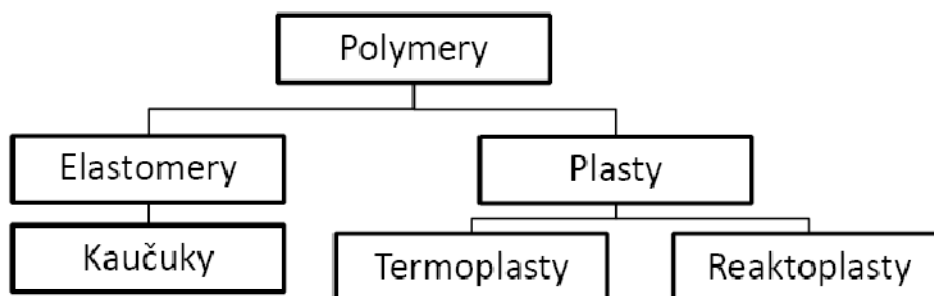
Kromě mechanického způsobu vyhazování výrobků se používá také pneumatický a hydraulický způsob vyhazování. Pneumatický vyhazovací systém se používá především pro tenkostěnné výrobky větších rozměrů. Hydraulické vyhazování se používá k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. [2]

2 POLYMERY

Polymery jsou přírodní nebo syntetické sloučeniny, v jejichž makromolekule se jako články řetězu mnohokrát opakuje základní monomerní jednotka. Ve svých molekulách většinou obsahují atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků. Polymery jsou ve formě výrobku prakticky v tuhém stavu, ale v určitém stádiu zpracování ve stavu v podstatě kapalném, dovolujícím většinou za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku nejrůznější tvar, podle předpokládaného použití. [3, 11]

2.1 Rozdělení polymerů

Na základě teplotního chování lze polymery rozdělit na elastomery a plasty, jak ukazuje obrázek (Obr. 8). [3]



Obr. 8. Rozdělení polymerů. [3]

Elastomer je vysoce elastický polymer, který můžeme za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná. Při první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. Nejpočetnější podmnožinou elastomerů jsou kaučuky, z nichž se vyrábí pryž. [3, 14]

Plasty jsou polymery za běžných podmínek většinou tvrdé, často i křehké. Při přechodu od polymeru k polymernímu materiálu, tedy plasty, se přidávají různé přísady. Mezi přísady patří především stabilizátory, změkčovadla, plniva, barviva, pigmenty a další látky usnadňující zpracování nebo ovlivňující vlastnosti a vzhled. Při zvýšené teplotě se plasty stávají plastickými a tvarovatelnými. Pokud je změna z plastického do tuhého stavu vratná (opakovatelná), nazýváme je termoplasty. Pokud jde o změnu nevratnou (neopakovatelnou, trvalou), protože výsledkem je chemická reakce – prostorové zesíťování, mluvíme o reak-

toplastech. Takovéto plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci). [3, 11, 14]

Plasty lze dále dělit i podle dalších hledisek: např. podle aplikace, nadmolekulární struktury, druhu přísad, polarity a dalších hledisek. [14]

2.2 Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní materiály, které při zahřívání přecházejí do plastického stavu, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. [14]

Z hlediska vnitřní struktury lze termoplasty dělit na [1]:

- Amorfni – řetězce jsou nepravidelně prostorově uspořádány
- Semikrystalické – podstatná část řetězců je pravidelně a těsně uspořádána a tvoří krystalické útvary, zbytek má amorfni uspořádání.

Semikrystalické termoplasty přecházejí do tuhého stavu ochlazením pod teplotu tání T_m . Amorfni termoplasty přecházejí do tuhého stavu ochlazením pod teplotu viskózního toku T_f . Protože při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí opakovat teoreticky bez omezení. Jedná se pouze o fyzikální proces. K termoplastům patří většina zpracovávaných hmot, jako je polyethylen, polypropylen, polystyren, polyvinylchlorid, polyamid atd. [14]

2.2.1 Struktura termoplastů

O technické využitelnosti a užitných vlastnostech termoplastů rozhoduje jejich složení a struktura. Ta má několik úrovní počínaje chemickou strukturou a molekulární strukturou až k nadmolekulárnímu uspořádání (morfologii). [11]

Chemickou strukturou se rozumí, z jakých prvků se skládají monomery a jak jsou tyto prvky mezi sebou vázány. Vyjadřuje se chemickým vzorcem. Termoplasty se skládají jen z několika málo prvků: uhlík, vodík a kyslík, v některých případech také dusík, chlór, fluor nebo síra. [11]

Molekulární struktura zahrnuje především výstavbu makromolekulárního řetězce z monomerů, tedy především linearitu, větvení a síťování makromolekul a molární hmotnost. Pro termoplasty jsou typické rozvětvené makromolekuly. [11, 14]

Nadmolekulární strukturu (stupeň uspořádanosti makromolekul) lze rozdělit na amorfnní a krystalickou. Rozvětvené makromolekuly mají narozdíl od lineárních makromolekul méně uspořádanější nadmolekulární strukturu a termoplasty tak mohou mít amorfnní nebo semi-krystalickou strukturu, jak bylo uvedeno výše. [14]

Pro zlepšení výsledných fyzikálních a mechanických vlastností se do termoplastů přidávají různé přísady jako např. stabilizátory, změkčovadla, plniva, barviva a další látky. [11]

2.2.2 Odolnost termoplastů vůči chemikáliím

Odolnost termoplastů vůči organickým rozpouštědlům závisí na polaritě polymeru a rozpouštědla a na fázovém stavu polymeru. Nepolární termoplasty, jako je třeba polystyren, botnají nebo se rozpouštějí v nepolárních rozpouštědlech jako je např. benzin, benzen nebo tetrachlormethan, odolávají však polárním rozpouštědlům jako je např. voda nebo alkoholy. Naopak polární termoplasty, jako je třeba polyvinylchlorid nebo polyamid, odolávají dobře nepolárním rozpouštědlům, ale botnají nebo se rozpouštějí v polárních rozpouštědlech. [11]

2.3 Polyamidy

Polyamidy patří mezi tzv. konstrukční plasty, používané k výrobě namáhaných technických součástí. Vynikají vysokou mechanickou pevností při statickém a dynamickém namáhání, nízkým tečením i při dlouhodobém zatížení a použitelností v širokém rozsahu teplot. [13]

Polyamidy jsou semikrystalické termoplasty, v přírodním stavu jsou mléčně zakalené, houževnaté, s dobrými kluznými vlastnostmi a odolné opotřebení. Dobře tlumí nárazy a chvění. [4]

2.3.1 Odolnost vůči chemikáliím

Polyamidy prakticky neodolávají kyselému prostředí. Pod hodnotou $\text{pH} = 4$ je jejich odolnost omezena. Je také nutno brát v úvahu absorpci vody, a to již při obvyklé teplotě, poněvadž přítomnost vody ovlivňuje do velké míry mechanické vlastnosti polyamidu (houževnatost, schopnost orientace apod.). Přítomnost vody způsobuje zvýšení krystalinity a také botnání, takže dochází k objemovým změnám, které mohou vyvolat vnitřní pnutí. Tím může při styku s vodou výrobek náhle prasknout, proto je nutné silnostěnné výrobky temperovat při zvýšené teplotě a klimatizovat při příslušné vlhkosti. Jsou velmi odolné vůči orga-

nickým rozpouštědlem, rozpouštějí se jen v silně polárních rozpouštědlech, např. ve fenolech, chlorovaných fenolech, koncentrované kyselině mravenčí a dimethylformamidu. [11]

2.3.2 Odolnost vůči teple

V chování polyamidů vůči teple jsou zásadní rozdíly závislé na původu polyamidů. V nepřítomnosti kyslíku jsou destrukčními produkty amoniak, oxid uhličitý, voda a další látky podle složení výchozího polyamidu. V přítomnosti kyslíku probíhá degradace polyamidů již při nižších teplotách a projevuje se zhoršením mechanických vlastností. Pokles pevnosti je způsoben trháním řetězců. [12]

2.3.3 Odolnost vůči světlu a povětrnostnímu stárnutí

Polyamidy jsou polymery dosti citlivé vůči povětrnostnímu stárnutí. Společný účinek světla, kyslíku, vlhkosti a kyselých reagujících látek obsažených v atmosféře způsobuje výrazné zhoršení mechanických vlastností a změnu jejich barvy. Zvláště citlivé jsou na fotooxidační degradaci, která je jedním z nejdůležitějších faktorů jejich povětrnostního stárnutí. Degradaci vyvolávají také záření o vlnových délkách 250 až 290 nm. [12]

2.3.4 Použití polyamidu

Z polyamidů se vyrábějí kluzná ložiska a ozubená kola pro provoz bez mazání (výhodné v textilním a potravinářském průmyslu, kde by mazivo znečišťovalo výrobky), šrouby, pojistné matice, řemenice, kladky, kluzná obložení rukojetí, kliky, závěsy. Vysokou pevnost a dobrou rozměrovou stabilitu má polyamid plněný skleněnými vlákny (dá se vstříkovat, ale nesmí se obrábět, protože by přeřezaná skleněná vlákna způsobovala velký otěr při provozu součásti). Hodí se na kryty ručních elektrických vrtaček, rotory ventilátorů apod. PA plněné skleněnými vlákny se používají na tepelně a mechanicky namáhané vnější součásti automobilových motorů a další součásti pod kapotou. Rozšířené použití polyamidů je na vlákna – od jemných textilií (silon, nylon) a rybářských vlasců až po struny. Vyrábějí se z nich textilie všeho druhu (i míchané s přírodními vlákny), lana, vyztužující kordy do pneumatik, fólie, hnací řemeny a dopravní pásy. [4]

3 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ A DĚLENÍ PLASTŮ

U řady výrobků připravených běžnými zpracovatelskými technologiemi (např. lisováním, vstřikováním) je nutné dodatečné opracování, jako je odstranění přetoků v místech dělicích rovin formy nebo vtokových kanálů, udělení přesného rozměru nebo změna vnějšího vzhledu. Toto dodatečné opracování se zajišťuje mechanickým obráběním. Mechanické obrábění lze také použít k dělení materiálů. [12]

3.1 Obrábění plastů

Mechanickým obráběním se rozumí pochod, při kterém se vytváří požadovaný tvar obrobku o předepsaných rozměrech a o požadované jakosti obrobených ploch. Při obrábění se břitem nástroje odebírá část materiálu ve formě třísky. Způsoby obrábění se liší používanými nástroji i charakterem pohybů nástroje a obrobku. [12]

Síly při obrábění polymerů jsou řádově nižší než při obrábění kovů. Obráběný materiál je však ve srovnání s kovy pružnější, což zhoršuje přesnost obrábění. Pro dosažení dobré kvality se musí používat jen ostré nástroje. Povolné opotřebení řezné hrany je podstatně menší než u kovů. Aby se zajistilo nízké opotřebení řezné hrany, zhotovují se nástroje ze speciálních rychlořezných ocelí. [12]

Aby byl vývoj tepla co nejmenší, musí mít nástroje velmi ostré břity. Tím se zajistí snadné řezání. Vzhledem k tepelným vlastnostem je výhodné při obrábění chladit vodou nebo olejem. Některé plastické hmoty však při delším styku s těmito kapalinami botnají. Je proto výhodnější použít k chlazení tlakového vzduchu nebo olejové mlhy. Mezi základní technologie mechanického obrábění patří soustružení, frézování, broušení a vrtání. [12]

3.1.1 Soustružení

Soustružení je způsob obrábění, jehož podstatou je, že obrobek upnutý ve sklíčidle nebo mezi hroty vykonává hlavní rotační pohyb a nástroj upnutý v nožové hlavě vykonává přímočarý vedlejší pohyb. Obráběcími stroji jsou soustruhy různých konstrukčních provedení. Řezná rychlost, posuv a geometrie řezu určují kvalitu obráběného povrchu. Nástroje pro obrábění plastů jsou zpravidla z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů nebo i diamantu. [4]

3.1.2 Frézování

Frézování je obrábění, při kterém koná rotační hlavní pohyb nástroj – fréza a vedlejší pohyby pak předmět. Fréza je vícebřítý nástroj, který mívá ostří na obvodu i na čele. Frézováním se obrábějí především rovinné plochy. Při obvodovém frézování může smysl posuvu souhlasit se smyslem řezné rychlosti nebo může být orientován proti němu. Hovoříme potom o sousledném nebo nesousledném frézování. Pro frézování se uplatňují čelní, válcové a profilované frézky všech typů, běžné pro obrábění kovů. [4]

3.1.3 Vrtání

Vrtání je obrábění, při kterém nástroj koná současně hlavní i vedlejší pohyb. Nástrojem je šroubovitý vrták. Oba břity vrtáku při vrtání vnikají do materiálu a odebírají přitom třísku. Tloušťka třísky je dána polovinou stoupání, protože vrták má dvě souměrná ostří. Vrták se musí často z díry vysouvat, aby se předešlo pálení nebo měknutí vrtaného materiálu. [4]

3.1.4 Broušení

Broušení je obrábění mnohobřítým nástrojem, který koná hlavní rotační pohyb. Obrobek koná pohyb vedlejší. Broušení se používá pro obrábění ploch rovinných, válcových i profilových. Nástroj je tvořen brusnými zrnny, které jsou spojena příslušným tmelem. Broušení se používá k ostření nástrojů, broušení polotovarů, odstraňování přetoků apod. [4]

3.2 Dělení materiálů

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. [7]

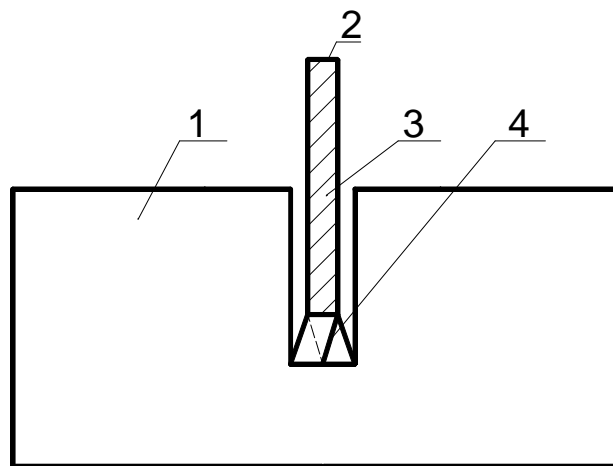
U tyčového materiálu lze tyč dělit na části požadované délky pomocí řezání různými druhy pil, stříháním, rozbrušováním, sekáním, upichováním na soustruhu, či frézováním kotoučovou frézou. [10]

Z desek a pásů se polotovary vyřezávají pomocí pil, laserem, vodním paprskem, nebo se stříhají a vystřihují na lisech pomocí lisovacích nástrojů. Lze použít také operaci sekání a vysekávání. [10]

3.2.1 Řezání

Řezání je nejpoužívanější způsob dělení materiálu. Řezání pilou je operace, při které se materiál odebírá břitými nástroji a odebíraný materiál odchází ve tvaru třísek. Princip řezání materiálu pilami spočívá ve vnikání břitů nástroje (pily) do materiálu obrobku, kdy nástroj koná přímočarý vratný, plynulý přímočarý nebo otáčivý pohyb a obrobek koná přímočarý posuvný pohyb. U rámových pil koná přísuv nástroj a obrobek je nehybný. Na rozdíl od frézování je hloubka řezu podstatně větší než šířka řezu. [10]

Jako nástroje pro dělení materiálu řezáním se používají pilové listy, pilové kotouče a pilové pásy. Stroje jsou pak rámové, kotoučové a pásové pily. [10]



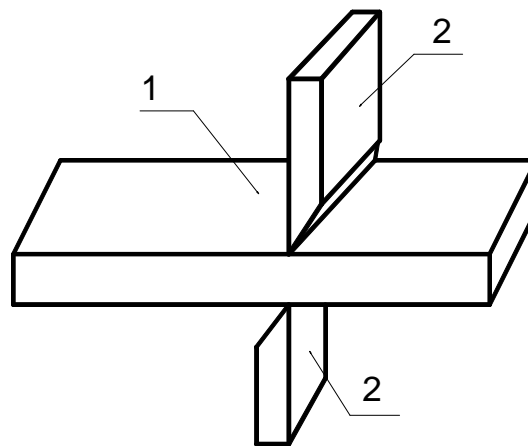
- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1- obrobek | 2- pilový list |
| 3- tělo pilového listu | 4- zuby pilového listu |

Obr. 9. Pilový list v řezu. [10]

3.2.2 Stříhání a prostříhování

Stříhání je technologie dělení materiálu působením dvou břitů pohybujících se proti sobě. Při stříhání nevznikají žádné třísky. Podstatou metody je, že břity nástroje působící na materiál vyvolávají v rovině stříhu smyková napětí větší než je pevnost ve smyku stříhaného materiálu, čímž dojde k jeho porušení a přestřižení. [10]

Nástroj je tvořen dvěma noži, které jsou vyrobeny z nástrojové nebo rychlořezné oceli. Pro stříhání materiálu do tloušťky 3 mm se používají ruční pákové nůžky. Při stříhání materiálu větší tloušťky se používají tabulové nůžky s hydraulickým nebo mechanickým pohonem. [10]

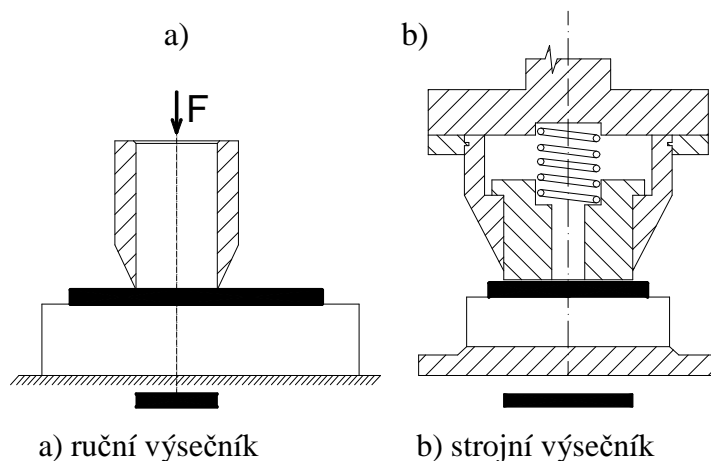


1- obrobek 2- nástroj

Obr. 10. Nástroj na stříhání. [10]

3.2.3 Sekání a vysekávání

Sekání a vysekávání je dělení materiálu přímočarým vratným pohybem proti pevné podložce. Při pronikání nože do materiálu se narušují okrajové oblasti a řezný odpor nejdříve roste. Po překročení jeho maximální hodnoty odpor začne klesat. Křehké materiály při vysekávání je vhodné předehtřívát. Této technologii se používá k dělení plošných materiálů. Lze využít mechanických nebo hydraulických lisů, které musí být vybaveny odpovídajícími nástroji – sekacími nebo vysekávacími noži. [5, 7]



Obr. 11. Výsečníky pro nekovové materiály. [5]

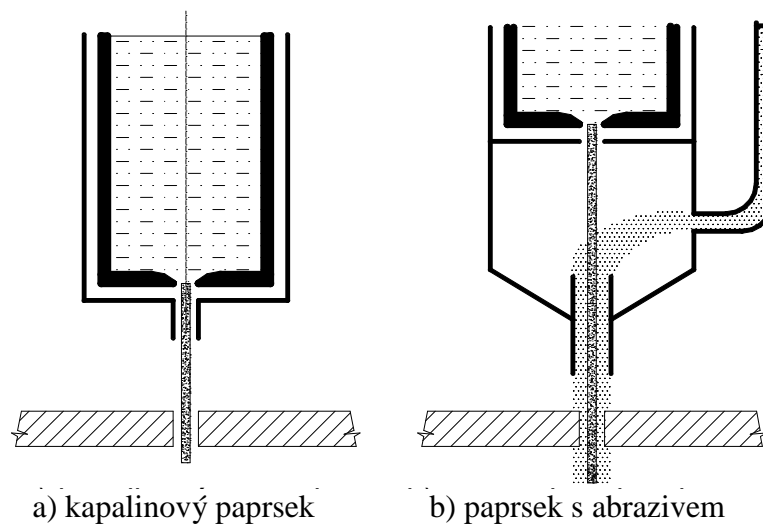
3.2.4 Řezání vodním paprskem

Je to metoda přesného tvarového řezání. Princip spočívá v tom, že vysokotlaké čerpadlo se speciálním zesilovačem tlaku (tzv. generátor vodního tlaku) dodává vysokotlakým potrubím vodu do řezací hlavy. Ta je opatřena tryskou, jejíž průměr díry je (0,1–0,4)mm a prou-

dí z ní vodní paprsek pod tlakem až 410 MPa výtokovou rychlostí větší než trojnásobek rychlosti zvuku. Povrch řezu je hladký i na vláknitých materiálech. [5]

Druhou alternativou používanou nejčastěji je cca (0,8 – 1,5)mm široký hydroabrazivní paprsek s příměsí brusného prášku. Abrazivní prostředek se k vodě přidává ve speciálně upravené řezací hlavě. Hydroabrazivní paprsek je díky své vysoké energii schopný řezat materiály v tloušťkách 100 mm i více. [5, 15]

Hlavními výhodami této technologie jsou tenký řez, minimální odpad materiálu a především nevzniká oteplení v místě řezu, takže materiál nevykazuje fyzikální, chemické ani mechanické změny a tím ani žádné deformace. To je výhoda oproti řezání běžnými metodami, kde dochází ke změnám v důsledku přehřátí. [5, 15]



Obr. 12. Řezání vodním paprskem. [5]

3.2.5 Řezání laserem

Podstata řezání spočívá ve spalování nebo protavování řezného materiálu. Základem každého systému je zdroj laserového svazku tzv. rezonátor. Paprsek je z rezonátoru systémem zrcadel doveden až k řezací hlavě. V řezné hlavě je laserový paprsek zaostřen do místa řezání (ohniska) o průměru (0,02 – 0,25)mm a tam ohříván na příslušnou teplotu. [5, 15]

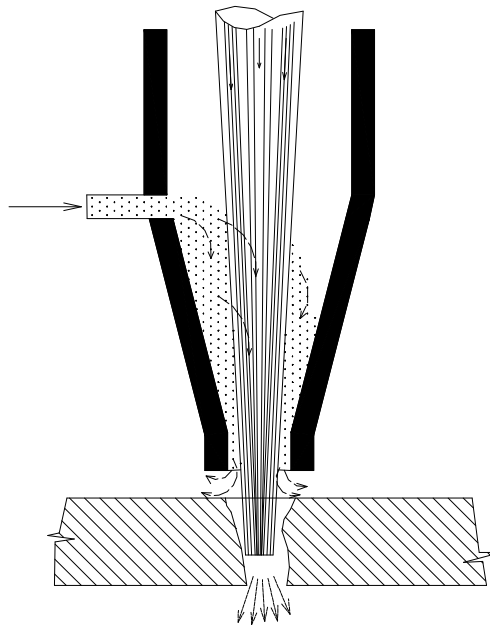
Při oxidačním řezání je ohřev řezaného materiálu uskutečněn laserovým paprskem a vlastní řezání je důsledkem reakce řezaného materiálu s kyslíkem přivedeným do místa řezu. Řezy po oxidačním řezání mají patrnou stopu oxidace. [5, 15]

Při tavném řezání je roztavený materiál z řezné spáry vyfukován neutrálním řezným plynem. U nekovových materiálů, které se snadno spalují (např. termoplasty) se používá řezný plyn na bázi dusíku. Tato metoda zajišťuje čisté nezoxidované lesklé řezy. [5, 15]

Při řezání sublimačním dochází k tavení materiálu a odpařování. Tato metoda se používá nejméně. [15]

U všech metod se docilují řezy s paralelními řeznými plochami v poměru asi 1:100 (poměr šířky spáry k tloušťce řezaného materiálu). Dociluje se tak velké rozměrové i tvarové přesnosti a dobré jakosti řezaných ploch. Především u menších tlouštěk materiálu se dosahuje velice kvalitního hladkého řezu téměř bez otřepů a stop tepelného zpracování. Další výhodou je možnost řezání velmi tvrdých a naopak velmi měkkých materiálů. Laserem lze řezat jak rovinné tak prostorové tvary. [5, 15]

Nevýhodou je, že dělení materiálu laserem je metodou, při které dochází i ke vzniku a přenosu tepla, které může negativně ovlivnit některé dílce. Především u větších tlouštěk materiálů jsou na řezu patrné stopy natavení. Některé dílce mohou být i celkově teplem deformovány. Teplotně ovlivněná zóna je také méně vhodná k jemnějšímu obrábění. [15]



Obr. 13. Řezání laserem. [5]

4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Mechanické vlastnosti materiálu zjišťujeme pomocí zkoušek. Těmito zkouškami získáváme údaje nutné pro návrh tvaru, rozměrů a materiálů součástí. [4]

Z hlediska působení síly na zkušební těleso rozdělujeme mechanické zkoušky takto [4]:

- Statické zkoušky, při nichž je zatížení zvětšováno pozvolna.
- Dynamické zkoušky rázové a cyklické, při kterých působí síla nárazově krátkou dobu. Při cyklických zkouškách (tzv. zkoušky na únavu materiálu) se proměnné zatížení opakuje i mnoha cykly za sekundu.
- Zvláštní technické zkoušky. Z těchto zkoušek jsou nejdůležitější zkoušky tvrdosti.

4.1 Statické zkoušky

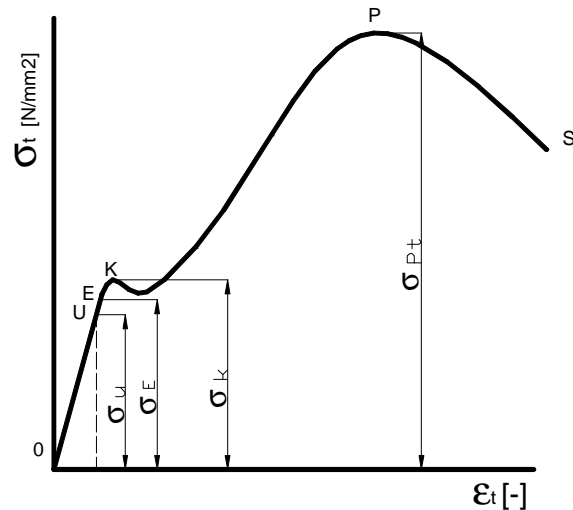
4.1.1 Tahová zkouška

Zkouška tahem je nejrozšířenější statickou zkouškou. Materiál je deformován jednosměrným tahem, až dojde k jeho porušení. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože jí získáváme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. [4]

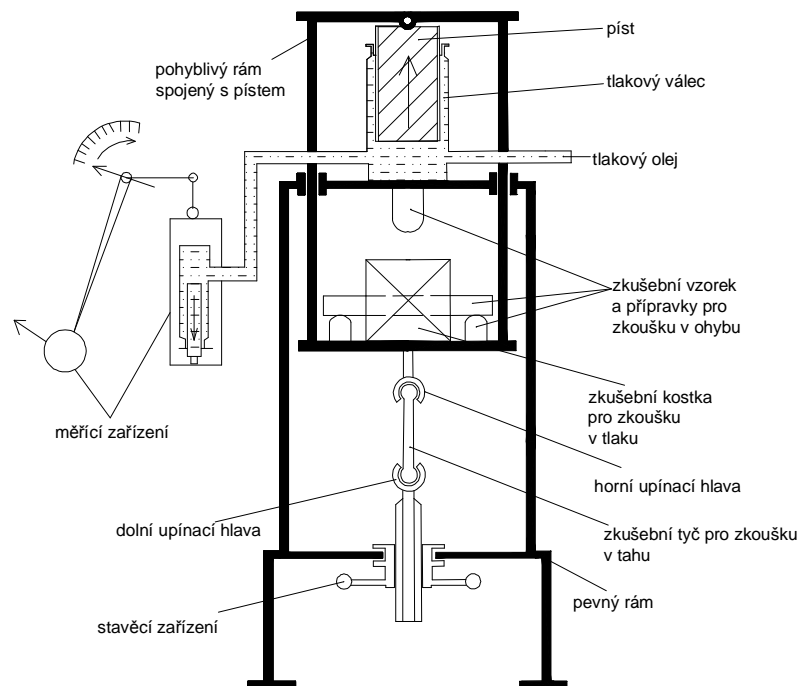
Z tahové zkoušky lze vyčíst tyto vlastnosti materiálu [4]:

- σ_U – mez úměrnosti. Mezní napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (Hookeův zákon).
- σ_E – mez pružnosti. Mezní napětí, které po odtížení nevyvolává trvalé deformace.
- σ_K – mez kluzu. Nejmenší napětí, při němž nastávají podstatné deformace.
- σ_{Pt} – mez pevnosti v tahu. Maximální dosažené napětí.

Zkoušky tahem se provádějí na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány. K provádění tahových zkoušek se používá univerzálních trhacích strojů, na nichž se mohou provádět jak tahové, tak i tlakové a ohybové zkoušky. Tahová zkouška se provádí dle normy ČSN EN ISO 527-1, ČSN EN ISO 527-2. [4]



Obr. 14. Tahová křivka. [4]

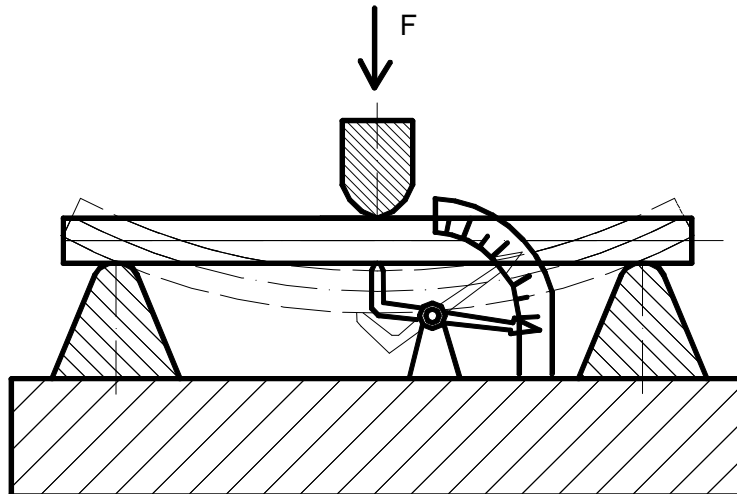


Obr. 15. Univerzální trhací stroj. [4]

4.1.2 Ohybová zkouška

Tuto zkoušku používáme především u křehkých materiálů. U houževnatých materiálů nedojde k porušení zkušební tyče. Zkušební tyč je uložena na podpěrách a uprostřed tyče působí zatěžující síla. Napětí v průřezu je rozděleno nerovnoměrně, tj. od nulové hodnoty v neutrální ose roste do maxima v povrchových vláknech. Při postupném rostoucím zatížení se odměřuje průhyb až do okamžiku, kdy se tyč přelomí nebo se trvale prohne. Také ohy-

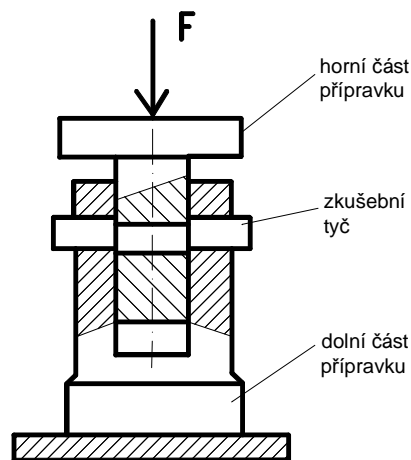
bová zkouška je normována - ČSN EN ISO 178. Výsledkem ohybové zkoušky je stanovení pevnosti v ohybu. Během zkoušky se zkracuje horní strana zkušební tyče, zatímco spodní strana se prodlužuje. Tyč je tedy asi do poloviny namáhána tlakem a v druhé polovině tahem. [4]



Obr. 16. Princip zkoušky ohybem. [4]

4.1.3 Zkouška stříhem

Obvykle se zkouší v přípravcích vkládaných do univerzálních zkušebních strojů. Zkušební tyč se zasune do děr ve spodní a horní části přípravku. Na horní část se působí postupně zvyšovanou tlakovou silou. Ze zatížení, při kterém se zkušební tyč poruší, dostáváme mez pevnosti ve stříhu. Stříhová zkouška se provádí dle normy ČSN EN 2377. [4]

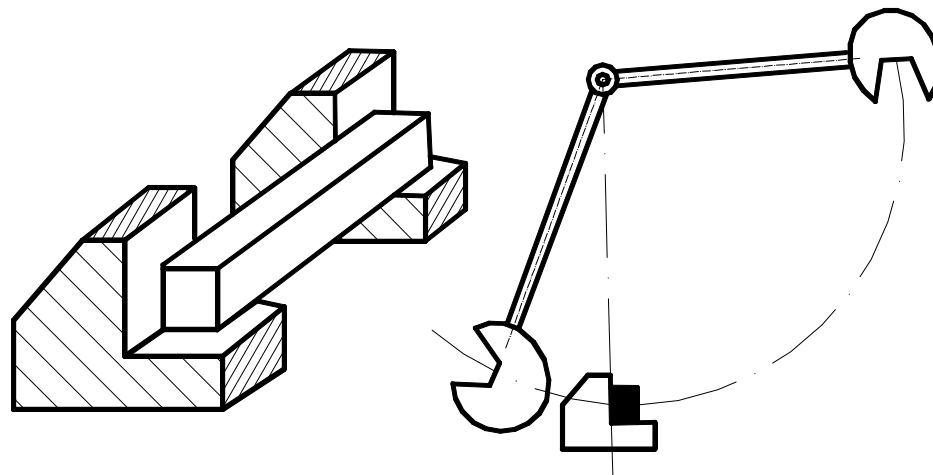


Obr. 17. Zkouška stříhem. [4]

4.2 Dynamické zkoušky

4.2.1 Rázová zkouška v ohybu

Zkouška rázem v ohybu je velmi dobrým ukazatelem houževnatosti nebo křehkosti materiálu. Nejběžnější je zkouška vrubové houževnatosti prováděná na Charpyho kyvadlovém kladivu. Těžké kladivo, otočné kolem své osy, se zdvihne a upevní v počáteční poloze. V nejnižší poloze kladiva se umístí ve stojanu zkušební tyč ze zkoušeného materiálu. Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje po kruhové dráze, narazí na zkušební tyč, přerazí ji a zbývající energie v kyvadlu způsobí výkyv na druhou stranu. Rázová zkouška v ohybu metodou Charpyho kladiva se řídí normou ČSN EN ISO 179-1. [4]



Obr. 18. Charpyho kladivo. [4]

4.3 Zkoušky tvrdosti

4.3.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella

Princip zkoušky tvrdosti podle Brinella spočívá ve vlačování vnikajícího tělesa do povrchu zkoušeného materiálu. Vlačovaným tělesem je kulička z kovu o tvrdosti do 650 HB. Kulička se vlačuje určitou silou tak hluboko do materiálu, až vznikne důlek. Po odtížení se provádí vyhodnocení zkoušky měřením průměru vtisku. Průměr vtisku se měří opticky. Tvrdost podle Brinella se značí HB a řídí se normou ČSN EN ISO 2039-1. [4]

4.3.2 Zkouška tvrdosti podle Rockwella

Princip zkoušky tvrdosti podle Rockwella spočívá v postupném vlačování vnikajícího tělesa do povrchu zkoušeného materiálu a měření hloubky vtisku. Vnikajícím tělesem je

diamantový kužel o vrcholovém úhlu 120° (Rockwellova metoda HRC). Pro měkké materiály se využívá ocelové kuličky o průměru 1,59 mm (Rockwellova metoda HRB). Rozdíl vzhledem k Brinellově zkoušce je ten, že se pracuje s předběžným zatížením a hloubka vtisku je odměřena jako rozdíl mezi dvěma zatíženími. Nejdříve se vyvodí předpětí, potom se vyvodí přídatné zatížení. Po ustálení odečteme z přístroje hodnotu zatížení a změříme hloubku vtisku. Rockwellova tvrdost je přibližně 1/10 Brinellovy tvrdosti. Rockwellova metoda se řídí normou ČSN EN ISO 2039-2. [4]

4.3.3 Zkouška tvrdosti podle Vickerse

Zkouška spočívá ve vlačování diamantového tělesa do zkoušeného materiálu pod zatěžující silou po stanovenou dobu. Poté se měří úhlopříčky vtisku, který zůstane po odlehčení zatížení. Vnikajícím tělesem je diamantový čtyřboký jehlan o vrcholovém úhlu 136° . Zkušební zatížení se volí dle tabulek. Vickersova metoda se řídí normou ČSN EN ISO 6507-1, ČSN EN ISO 6507-2. [4]

5 ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části se tato práce zaměřuje na technologii vstřikování, polymery, technologii obrábění, dělení plastů a mechanické zkoušky materiálu. V kapitole technologie vstřikování je práce zaměřena na podstatu této technologie od přípravy materiálu, až po konečný výrobek, včetně popisu vstřikovacího stroje a vstřikovací formy. U polymerů je popsáno základní rozdělení polymerních materiálů se zaměřením na vlastnosti termoplastů a polyamidu. Kapitola technologie obrábění a dělení plastů přibližuje principy obrábění a základní způsoby dělení polymerních materiálů. U mechanických zkoušek je popsáno základní rozdělení těchto zkoušek a principy nejčastěji používaných a prováděných zkoušek.

Z prostudované literatury je zřejmé, že umístění vtoku bude mít vliv na mechanické vlastnosti vzorku. Špatná volba umístění vtokového ústí se projevuje u výrobku jak vzhledovými tak i kvalitativními nedostatky. Nevhodné umístění vtokového ústí se může projevit zhoršením mechanických vlastností výrobku.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

Cílem bakalářské práce je určit vliv umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti polymerního dílu z polyamidu. Polymerní díl je vyroben technologií vstřikování, přičemž každá destička bude vstřikována vždy z odlišného vtokového ústí. Z polymerních dílců se vhodnou technologií zhotoví zkušební tělíška. Na těchto tělíškách se provede vybraná mechanická zkouška tahem, kde se bude se zjišťovat vliv umístění vtokových ústí na jejich mechanické vlastnosti. Získané výsledky budou statisticky vyhodnoceny.

Postup řešení:

- Výroba dílců vstřikováním z odlišných vtokových ústí
- Nachystání zkušebních tělísek a provedení mechanických zkoušek
- Vyhodnocení zjištěných výsledků

7 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

7.1 Materiál vzorků

K výrobě zkušebních vzorků byl použit materiál PA 66 řady Ultramid od firmy BASF s různým stupněm plnění skleněnými vlákny. Polyamid 66 má vysokou tuhost, pevnost, odolnost proti oděru a tepelnou stabilitu. Je jedním z preferovaných materiálů pro součásti podléhající mechanickému a tepelnému zatížení v elektrotechnickém, strojírenském, automobilovém a chemickém průmyslu. Použitím skleněných vláken dochází k vylepšení těchto vlastností, především mechanické pevnosti, tuhosti a tvrdosti. Přehled použitých materiálů se stupněm plnění je uveden v následující tabulce (Tab. 1). [16]

Tab. 1. Použité materiály.

Označení materiálu	Stupeň plnění skla
A3W	0 % skla
A3WG3	15 % skla
A3WG5	25 % skla
A3WG6	30 % skla
A3WG7	35 % skla
A3WG10	50 % skla

Materiál A3W

Jedná se o materiál obsahující 0 % skla, s teplotou tavení 260 °C a modulem pružnosti v tahu 3000 MPa. Volně tekoucí, odolný proti stárnutí a snadno zpracovatelný pro technické díly podléhající vysokým napětím, především ložiska a klece ložisek. [16]

Materiál A3WG3

Tento typ polyamidu obsahuje 15 % skla, teplota tavení je 260 °C, modul pružnosti v tahu 4500 MPa. Má zvýšenou odolnost proti stárnutí, používá se pro vstřikované díly částí strojů a pouzdra se střední tuhostí. [16]

Materiál A3WG5

Jedná se o materiál obsahující 25 % skla, s teplotou tavení 260 °C a modulem pružnosti v tahu 6500 MPa. Používá se pro vstřikované díly částí strojů, pouzdra s vysokou tuhostí a součásti, u kterých se požaduje rozměrová stabilita. [16]

Materiál A3WG6

Tento typ polyamidu obsahuje 30 % skla, teplota tavení je 260 °C a modulem pružnosti v tahu 7200 MPa. Používá se pro vstřikované díly částí strojů, pouzdra s vysokou tuhostí a součásti, u kterých se požaduje rozměrová stabilita např. ventilátory, izolační profily pro hliníková okna a objímky krytů lamp. [16]

Materiál A3WG7

Jedná se o materiál obsahující 35 % skla, s teplotou tavení 260 °C a modulem pružnosti v tahu 8500 MPa. Používá se pro vstřikované díly technických součástí např. ozubená kola, kabelové kontakty a komponenty pro automobilový průmysl. [16]

Materiál A3WG10

Tento typ polyamidu obsahuje 50 % skla, teplota tavení je 260 °C a modulem pružnosti v tahu 12 500 MPa. Používá se pro vstřikované díly, u nichž je požadována velmi vysoká tuhost. [16]

7.2 Příprava zkušebních vzorků

7.2.1 Vstřikování

První fází výroby zkušebních vzorků byla technologie vstřikování. K výrobě zkušebních vzorků byl použit vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420 C, který má uzavírací sílu 100 tun a průměr šneku v plastikační jednotce 40 mm.



Obr. 19. Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420C.

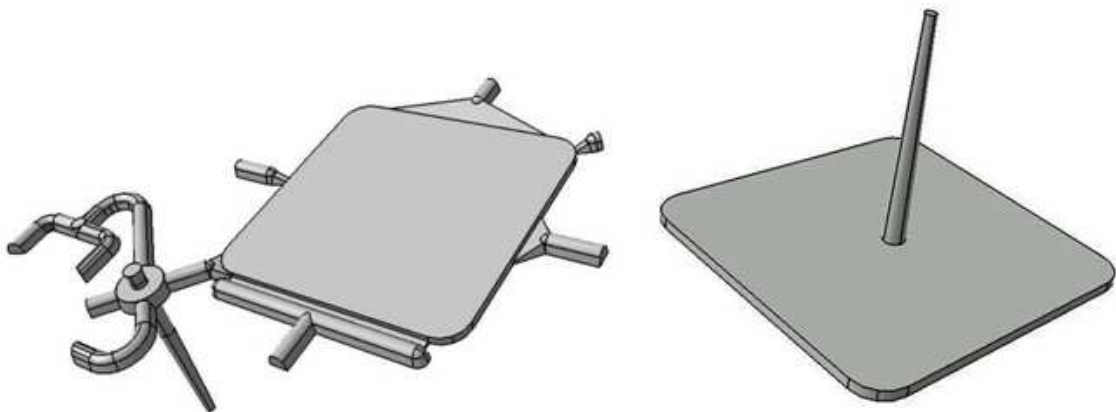
Při vstřikování byla použita vstřikovací forma s univerzálním rámem a výměnnými částmi, které umožnili vstřikování z různých vtokových ústí. Vstřikování bylo prováděno ze dvou vtokových ústí, jejich označení a značení vzorků je uvedeno v kapitole 7.2.3.

Při vstřikování všech typů plnění polymeru PA 66 řady Ultramid od firmy BASF byly dodržovány doporučené procesní podmínky z materiálových listů. Vybrané podmínky pro všechny typy plnění a oba typy vtoků shrnuje tabulka (Tab. 2).

Tab. 2. Vybrané procesní podmínky vstřikování [16]

Procesní podmínky vstřikování	
Teplota taveniny [°C]	300 - 305
Teplota formy [°C]	60 - 80
Vstřikovací tlak [MPa]	60 - 80
Doba chlazení [s]	20 - 25
Délka vstřikovacího cyklu [s]	30 - 35

Po dokončení vstřikovací vstřikovacího cyklu byly ze vstřikovací formy vyjmuty destičky s vtokovými zbytky, které bylo potřeba v další operaci odstranit. Výrobky vzniklé vstřikováním jsou znázorněny na obrázku (Obr. 20).

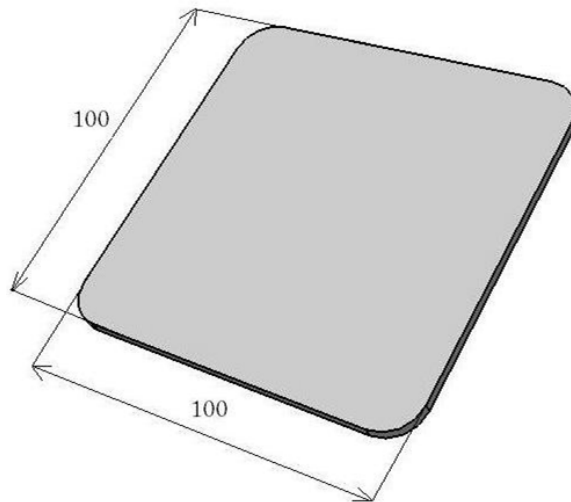


Obr. 20. Výrobky vzniklé vstřikováním.

7.2.2 Řezání vzorků

Další operací následující po vstřikování bylo odstranění vtokových zbytků. V případě výrobku s kuželovým vtokem probíhalo odstranění pomocí ruční pilky. V případě druhého výrobku se vtokové zbytky odstranily pomocí ručních pákových nůžek. Řez po odstřížení byl čistý a bez otřepů, proto nevyžadoval další úpravy.

Odstraněním vtokových zbytků bylo umožněno upnutí výrobků na obráběcí stroj a nařezání destiček na potřebné rozměry. Destičky zbavené vtokových zbytků měly rozměry 100 x 100 x 3 mm.



Obr. 21. Destička zbavená vtokových zbytků

Ke zhotovení zkušebních vzorků z destiček byla použita univerzální frézka FHV – 50PD.



Obr. 22. Frézka FHV – 50PD.

U jednotlivých vtoků bylo nutné nařezat vzorky v jednotlivých směrech podle předem stanovených schémat tak, aby odpovídaly směru toku taveniny. Tyto schémata jsou popsána v následující kapitole.

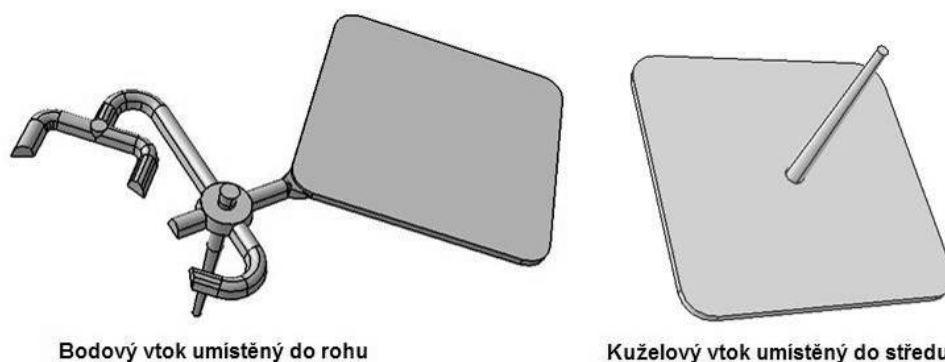
Řezání probíhalo při daných řezných podmínkách zobrazených v tabulce (Tab. 3). Při odřezávání vzorků bylo použito chlazení vzduchem tak, aby došlo k minimálnímu teplotnímu ovlivnění řezaných vzorků. Takto nařezané vzorky byly dále ručně zbaveny otřepů a nečistot a byly tak připraveny k provádění zkoušek.

Tab. 3. Procesní podmínky řezání

Procesní podmínky řezání	
Otáčky [min^{-1}]	300
Posuv [mm/min]	100
Chlazení	Tlakový vzduch

7.2.3 Značení vzorků

Vstřikování bylo prováděno ze dvou vtokových ústí, které jsou znázorněny na obrázku (Obr. 23). Značení vzorků bylo provedeno podle použitého vtokového ústí a směru toku taveniny. Bodový vtok umístěný do rohu označíme písmenem B, kuželový vtok umístěný do středu pak písmenem C. Písmenem L je označen směr odebírání vzorků ve směru toku taveniny, tzv. longitudinální = podélný. Písmenem T pak směr odebírání vzorků kolmo na směr toku taveniny, tzv. transversální = příčný.

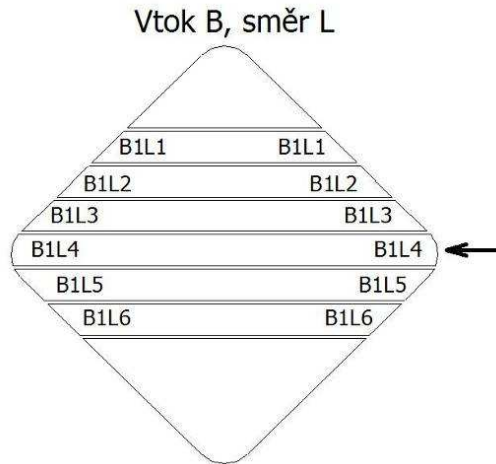


Obr. 23. Použité vtokové ústí.

Dále jsou popsány směry řezu u jednotlivých vtoků a také popis vzorků, které jsou používány při práci s výsledky.

Vtok B, směr L

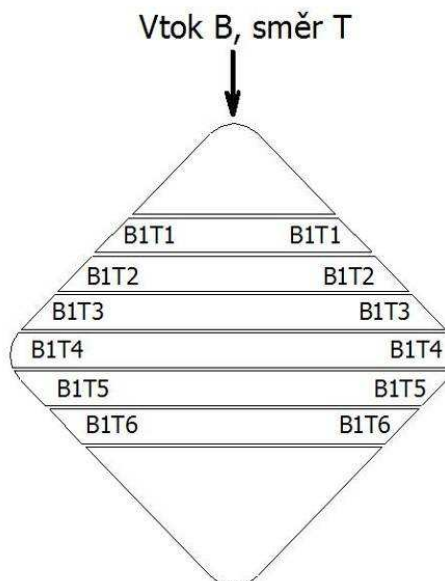
Vzorky byly vstříkovány z vtokového ústí B umístěného v rohu a řezány ve směru L, tedy ve směru toku taveniny. Vtokové ústí je znázorněno šipkou. Směr řezání vzorků a jejich označování, je zobrazen na obrázku (Obr. 24).



Obr. 24. Směr řezání vzorků.

Vtok B, směr T

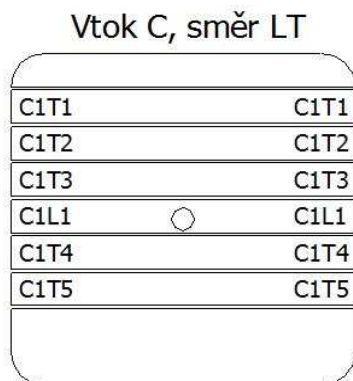
Vzorky byly vstříkovány z vtokového ústí B umístěného v rohu a řezány ve směru T, tedy ve směru kolmém na směr toku taveniny. Vtokové ústí je znázorněno šipkou. Směr řezání a jejich označování, je zobrazen na obrázku (Obr. 25).



Obr. 25. Směr řezání vzorků.

Vtok C, směr LT

Vzorky byly vstříkovány z vtokového ústí C umístěného do středu a řezány ve směru L i T. Vtokové ústí je znázorněno kružnicí. Směr řezání a jejich označování, je zobrazen na obrázku (Obr. 26).



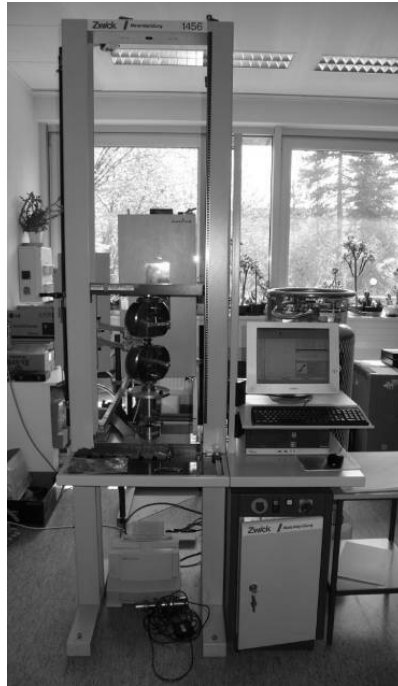
Obr. 26. Směr řezání vzorků.

7.3 Zkoušky materiálu

Ke zjišťování mechanických vlastností materiálu se používají různé typy zkoušek. Pomocí těchto zkoušek se získávají údaje nutné pro návrh tvaru, rozměry a materiál součástí. [4]

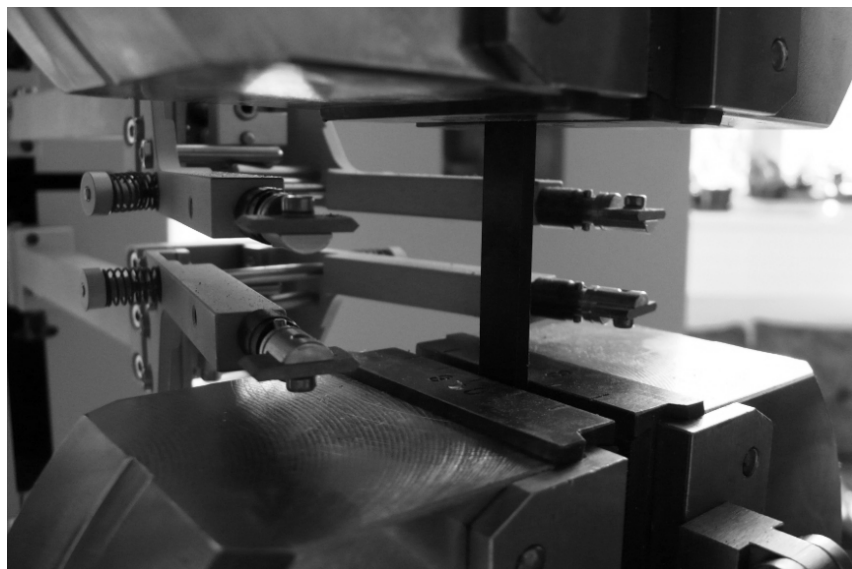
Ze širokého výběru možných zkoušek byla pro tuto práci a získání materiálových vlastností, vybrána zkouška tahem. Jedná se o nejrozšířenější statickou zkoušku, která je nutná téměř u všech technických materiálů, protože s její pomocí získáváme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků. Tahová zkouška se provádí dle normy ČSN EN ISO 527-1, ČSN EN ISO 527-2 na univerzálních trhacích testovacích strojích. [4]

Tahová zkouška byla provedena na univerzálním testovacím stroji ZWICK 1456, při předzatížení 5 N a testovací rychlosti 5 mm/min. Vzdálenost mezi upínacími hlavami byla 50 mm.



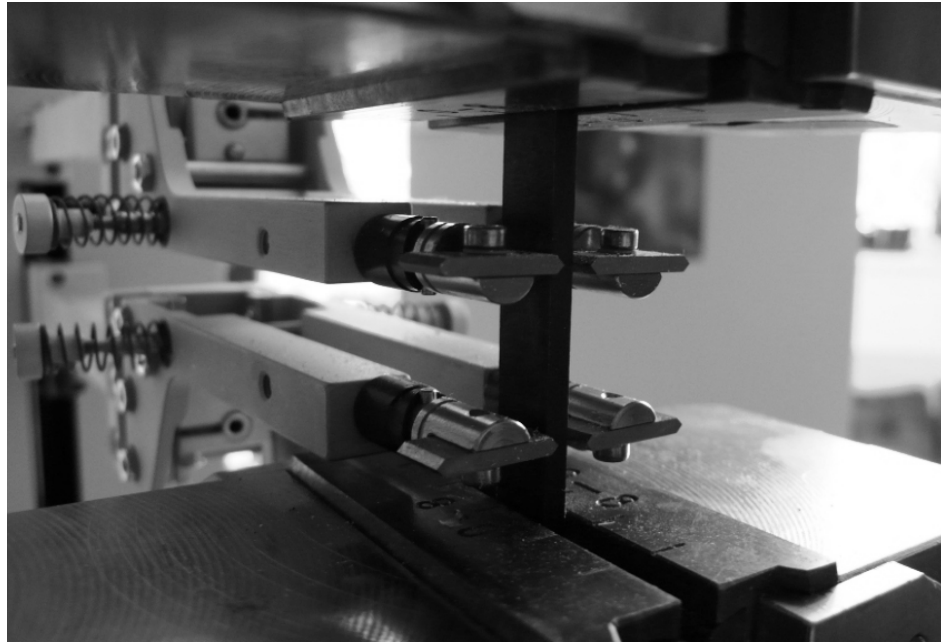
Obr. 27. Univerzální testovací stroj ZWICK 1456.

Po spuštění softwaru testXpert v7.11, sloužícího k ovládání a nastavení univerzálního testovacího stroje, bylo možno začít s měřením. Nejprve se každý vzorek změřil pomocí posuvného měřidla a naměřené hodnoty se vložily do softwaru. Poté se upnul zkušební vzorek mezi horní pohyblivou a dolní pevnou čelist.



Obr. 28. Uchycení zkušebního vzorku mezi čelistmi.

Po spuštění programu došlo k automatickému najetí ramen extenzometru na zkoušený vzorek, po kterém následovalo postupné zatěžování zkoušeného vzorku jednoosým tahem až do přetržení. Po přetržení se čelisti extenzometru vrátily do původní polohy.



Obr. 29. Uchycení vzorku čelistmi extenzometru.

Vyjmutím roztrženého vzorku z čelistí a najetím horní čelisti do nulové polohy byl stroj opět připraven ke zkoušení dalších vzorků. Po celou dobu zkoušky software zaznamenával hodnoty do tabulky a vykresloval tahovou křivku.



Obr. 30. Přetržené zkušební vzorky.

7.4 Vyhodnocení výsledků

Statistické vyhodnocení experimentálně získaných hodnot z trhačského stroje bylo provedeno v programu Excel, patřícího do balíku Microsoft Office 2007.

Při statistickém vyhodnocení byly použity následující vztahy:

Aritmetický průměr: „ \bar{x} “ vyjadřuje typickou hodnotu pro daný soubor hodnot a je dán vztahem:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Směrodatná odchylka: „ s “ vyjadřuje, jak se hodnoty liší od průměrné hodnoty (střední hodnoty) a je dána vztahem:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Směrodatná chyba: „ s_n “ vyjadřuje velikost náhodné chyby a je dána vztahem:

$$s_n = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Tato kapitola obsahuje experimentálně naměřené hodnoty provedené tahové zkoušky. Z naměřených hodnot byly podle výše popsaných vzorců vypočítány aritmetický průměr, směrodatná odchylka a směrodatná chyba, na jejich základě byly sestrojeny grafy pro snazší vyhodnocení dosažených výsledků.

Naměřené hodnoty použité k výpočtům se nacházejí v příloze. U všech vtoků je vyhodnocována mez pevnosti R_m , modul pružnosti E , prodloužení ε a síla na mezi pevnosti F_m .

8.1 Tah - vtok B, směr L

Z naměřených hodnot umístěných v příloze P I a P II vyplývá, že při použití vtokového ústí B ve směru L, tedy ve směru toku taveniny, vykazují zkušební vzorky umístěné přímo u vtoku vyšší hodnoty meze pevnosti R_m vůči ostatním zkušebním vzorkům umístěných dále od vtokového ústí. Nejvyšší hodnoty pevnosti dosahuje vzorek umístění přímo proti vtokovému ústí, což je způsobeno orientací skleněných vláken, která by měla být v tomto místě nejlepší. Nejnižší hodnotu pak vykazuje vzorek umístěný nejdále od vtokového ústí.

V případě hodnot modulu pružnosti E lze říci, že zkušební vzorky umístěné nejdále od vtokového ústí vykazují v případě materiálů plněných skleněnými vlákny výrazně vyšší hodnoty modulu pružnosti. To může být způsobeno orientací a hustotou vláken v tomto místě. Hustota vláken v tomto místě je nižší než uprostřed destičky, čímž se snížila pevnost a důsledkem pak je zvýšení pružnosti. U neplněných materiálů je hodnota modulu pružnosti u vzorků nejbližší vtokovému ústí vyšší než v ostatních místech a nejnižší je naopak nejdále od vtokového ústí.

Při měření prodloužení ε bylo zjištěno, že vzorky umístěné nejdále od vtokového ústí vykazují výrazně nižší hodnoty než ostatní vzorky umístěné blíže vtokovému ústí. Největší rozdíly pak byly naměřeny u neplněných materiálů.

V případě naměřených hodnot síly na mezi pevnosti F_m lze říci, že s rostoucí vzdáleností od vtokového ústí hodnoty síly na mezi pevnosti F_m klesají. Tato situace je stejná jako v případě hodnot meze pevnosti R_m , jelikož síla na mezi pevnosti F_m s mezí pevností R_m úzce souvisí.

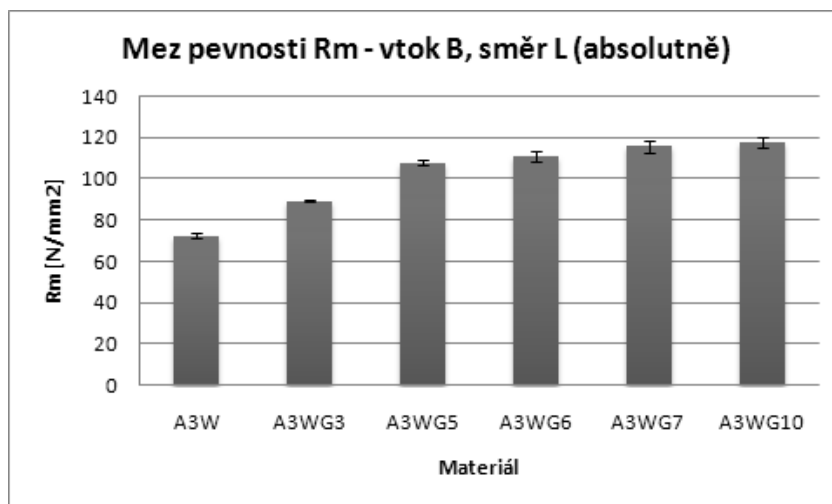
Shrnutím lze tedy říci, že při použití vtoku B, směr L vykazují vzorky umístěné nejbližší vtokovému ústí vyšší hodnoty meze pevnosti R_m , prodloužení ε a síly na mezi pevnosti

F_m a v případě modulu pružnosti E nižší hodnoty, než ostatní vzorky umístěné dále od toho vtoku. Největší vliv na naměřené hodnoty má směr toku taveniny a v případě materiálů plněných skleněnými vlákny orientace těchto vláken. Nejlepší tok taveniny a orientace vláken je dosažena ve středu destičky, proto v tomto místě vykazují vzorky nejlepší vlastnosti. V okrajových vzorcích dochází ke snížení pevnosti a materiál je v tomto místě více pružný a vykazuje tím vyšší modul pružnosti.

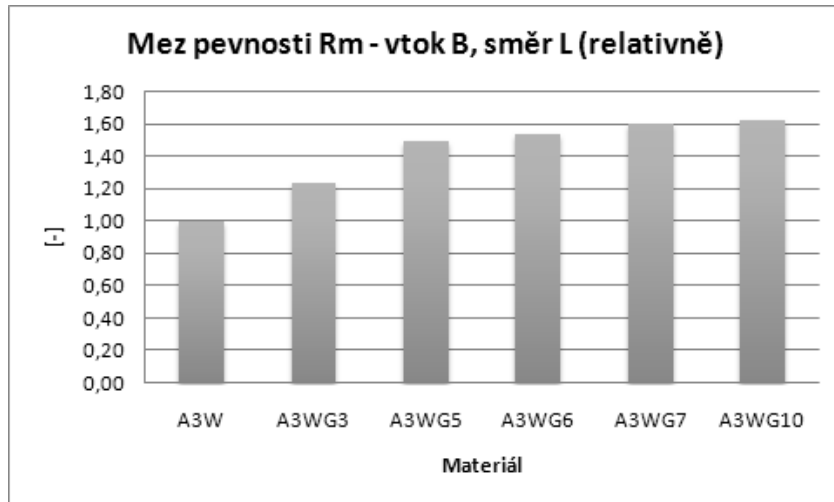
8.1.1 Mez pevnosti R_m – vtok B, směr L

Tab. 4. Mez pevnosti R_m – vtok B, směr L.

MEZ PEVNOSTI R _m				
Materiál	ϕ R _m [N/mm ²]	[-]	Sm. odchylka	Sm. Chyba
A3W	72,44	1,00	4,10	1,18
A3WG3	89,48	1,24	1,40	0,40
A3WG5	108,04	1,49	5,66	1,63
A3WG6	111,26	1,54	8,27	2,39
A3WG7	115,92	1,60	9,91	2,86
A3WG10	117,50	1,62	8,98	2,59



Obr. 31. Graf meze pevnosti R_m – vtok B, L (absolutně).



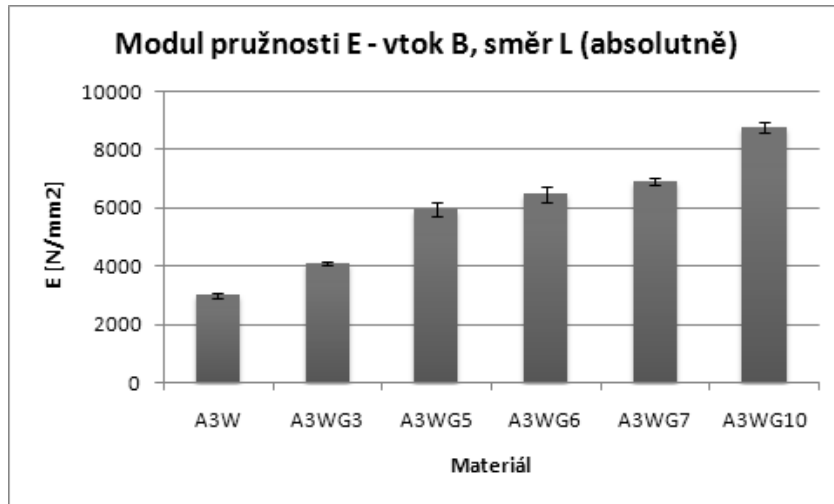
Obr. 32. Graf meze pevnosti Rm – vtok B, směr L (relativně).

Z naměřených hodnot meze pevnosti Rm vtoku B, směr L lze říci, že s rostoucí vzdáleností od vtokového ústí hodnoty meze pevnosti Rm klesají. Nejvyšší hodnoty pevnosti dosahuje vzorek umístění přímo proti vtokovému ústí, což je způsobeno orientací skleněných vláken, která by měla být v tomto místě nejlepší. Nejnížší hodnotu pak vykazuje vzorek umístěný nejdále od vtokového ústí.

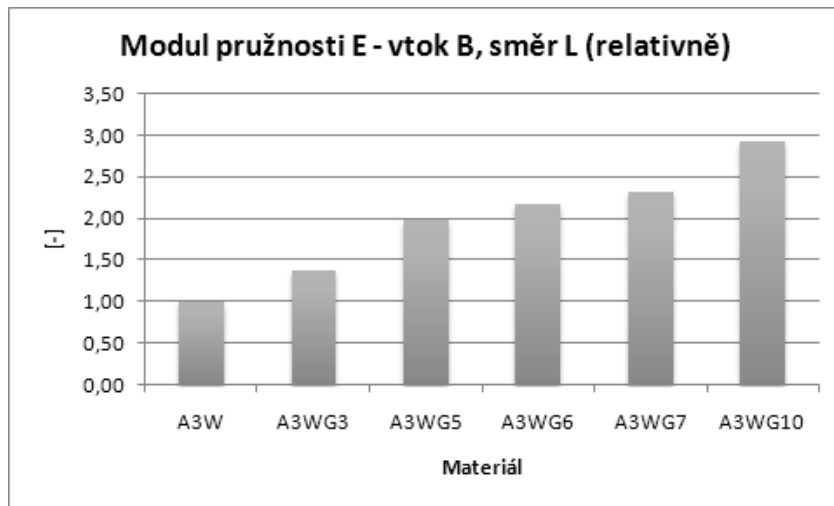
8.1.2 Modul pružnosti E – vtok B, směr L

Tab. 5. Modul pružnosti E – vtok B, směr L.

MODUL PRUŽNOSTI E				
Materiál	ϕE [N/mm ²]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	2996,57	1,00	242,98	70,14
A3WG3	4090,99	1,37	168,24	48,57
A3WG5	5966,85	1,99	900,09	259,83
A3WG6	6483,97	2,16	894,19	258,13
A3WG7	6912,69	2,31	428,42	123,67
A3WG10	8763,38	2,92	655,33	189,18



Obr. 33. Graf modulu pružnosti E – vtok B, směr L (absolutně).

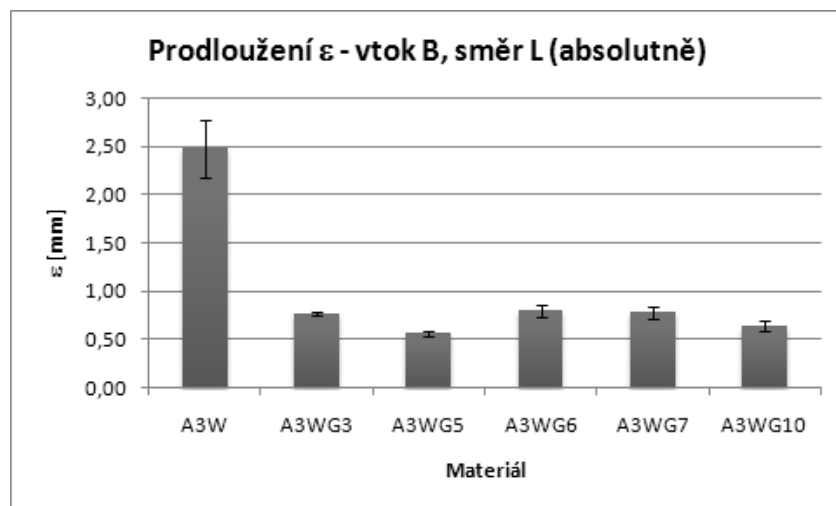
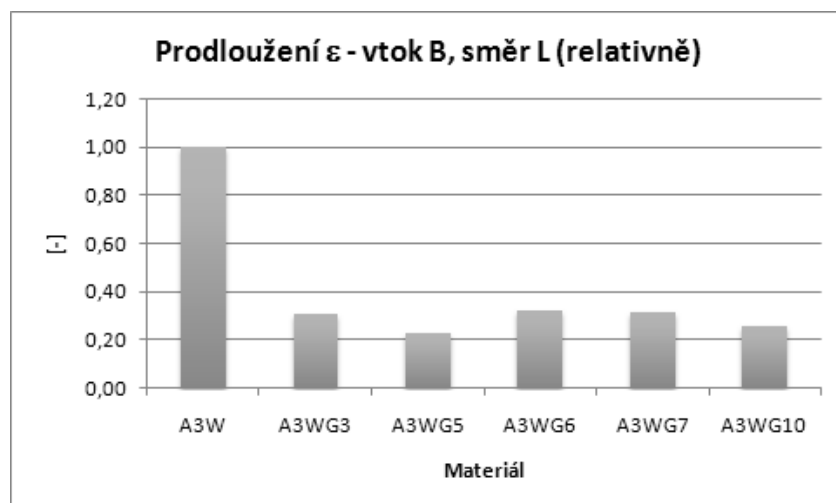


Obr. 34. Graf modulu pružnosti E – vtok B, směr L (relativně).

Z naměřených hodnot modulu pružnosti E vtoku B, směr L lze říci, že zkušební vzorky umístěné nejdále od vtokového ústí vykazují v případě materiálů plněných skleněnými vlákny výrazně vyšší hodnoty modulu pružnosti. To může být způsobeno orientací a hustotou vláken v tomto místě. Hustota vláken v tomto místě je nižší než ve středu destičky, čímž se snížila pevnost a důsledkem pak je zvýšení pružnosti. U neplněných materiálů je hodnota modulu pružnosti u vzorků nejbližší vtokovému ústí vyšší než v ostatních místech a nejnižší je naopak nejdále od vtokového ústí.

8.1.3 Prodloužení ε – vtok B, směr LTab. 6. Prodloužení ε – vtok B, směr L.

PRODLOUŽENÍ ε				
Materiál	$\phi \varepsilon$ [mm]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	2,48	1,00	1,05	0,30
A3WG3	0,76	0,31	0,06	0,02
A3WG5	0,56	0,23	0,09	0,03
A3WG6	0,80	0,32	0,23	0,06
A3WG7	0,78	0,31	0,22	0,06
A3WG10	0,64	0,26	0,17	0,05

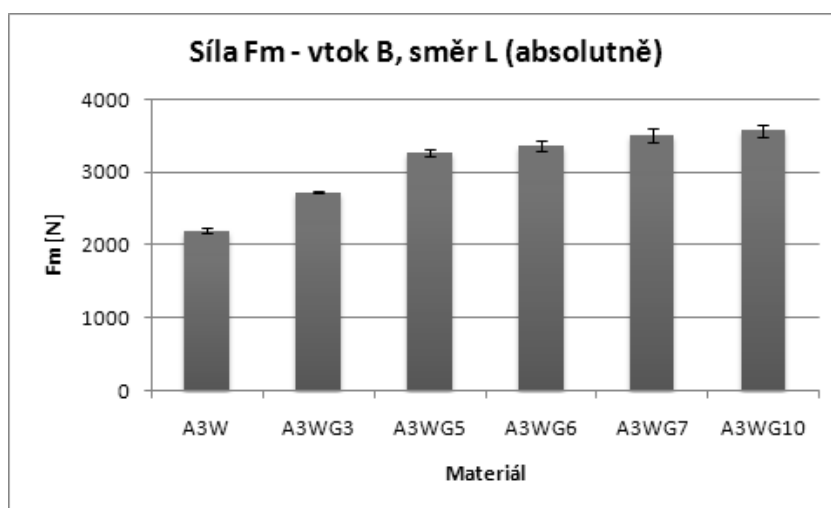
Obr. 35. Graf prodloužení ε – vtok B, směr L (absolutně).Obr. 36. Graf prodloužení ε – vtok B, směr L (relativně).

Při hodnocení prodloužení ε je třeba brát v úvahu, že první zkušební vzorek z destičky byl kratší než by měl být, a tudíž mohou být výsledky prodloužení zkresleny. Při měření prodloužení ε bylo zjištěno, že vzorky umístěné nejdále od vtokového ústí vykazují výrazně nižší hodnoty než ostatní vzorky umístěné blíže vtokovému ústí. Největší rozdíly pak byly naměřeny u neplněných materiálů. U plněných materiálů nebyly rozdíly již tak veliké. Tato skutečnost je opět způsobená orientací vláken v destičce. Ve většině případů dosahují nejvyšších hodnot prodloužení vzorky umístěné uprostřed destičky přímo proti vtokovému ústí.

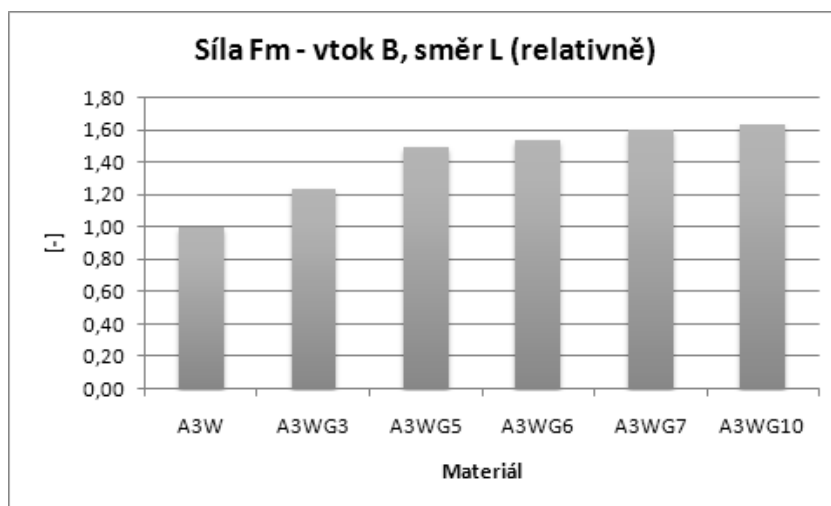
8.1.4 Síla F_m – vtok B, směr L

Tab. 7. Síla F_m – vtok B, směr L.

SÍLA F_m				
Materiál	ϕF_m [N]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	2195,08	1,00	124,06	35,81
A3WG3	2720,09	1,24	43,89	12,67
A3WG5	3273,56	1,49	171,45	49,49
A3WG6	3376,60	1,54	247,25	71,37
A3WG7	3512,39	1,60	300,14	86,64
A3WG10	3574,78	1,63	273,58	78,97



Obr. 37. Graf síly F_m – vtok B, směr L (absolutně).



Obr. 38. Graf síly Fm – vtok B, směr L (relativně).

Z naměřených hodnot meze pevnosti vtoku B, směru L lze říci, že s rostoucí vzdáleností od vtokového ústí hodnoty síly na mezi pevnosti Fm klesají. Tato situace je stejná jako v případě hodnot mezí pevnosti Rm, jelikož síla na mezi pevnosti Fm s mezí pevností Rm úzce souvisí.

8.2 Tah - vtok B, směr T

Z naměřených hodnot umístěných v příloze P III a P IV vyplývá, že při použití vtokového ústí B, směr T, tedy ve směru kolmém ke směru toku taveniny, s rostoucí vzdáleností od vtokového ústí hodnoty meze pevnosti Rm rostou. Nejvyšší hodnoty pevnosti dosahuje vzorek umístění ve středu destičky, oddalováním od středu pak hodnoty zase klesají, což je způsobeno tokem taveniny, který by měl být ve středu destičky nejlepší.

Hodnocením hodnot modulu pružnosti přijdeme k závěru, že hodnoty jsou celkem rovnoměrně rozptýleny a krajní vzorky se od ostatních výrazněji neliší.

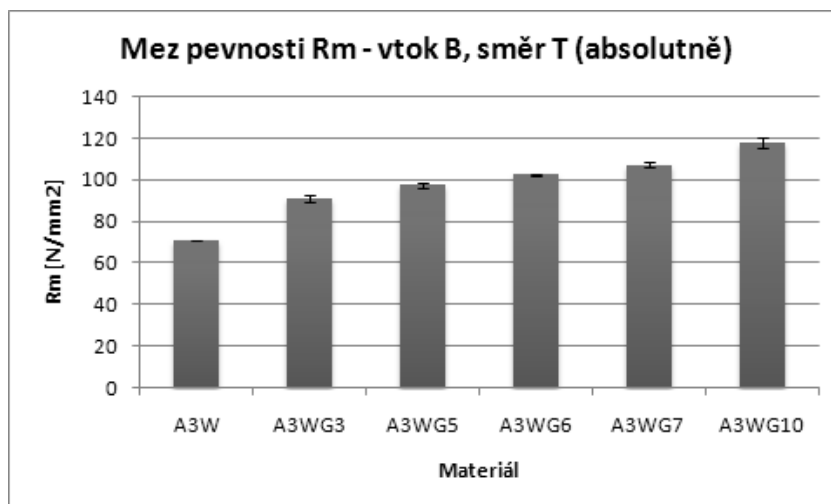
Při hodnocení prodloužení ε je třeba brát v úvahu, že první zkušební vzorek z destičky byl kratší než by měl být, a tudíž mohou být výsledky prodloužení zkresleny. To se zřejmě projevilo u neplněného materiálu A3W, u kterého vždy první vzorek z destičky vykazuje velmi odlišné hodnoty prodloužení vůči ostatním. U plněných materiálů jsou již rozdíly mnohem menší a lze je považovat za správné. Ve většině případů dosahují nejvyšších hodnot prodloužení vzorky umístěné ve středu destičky. Z vyhodnocení velikosti síly Fm na mezi pevnosti vyplývá, že hodnoty naměřené u zkušebních vzorků umístěných na okraji destičky vykazují nižší hodnoty síly Fm oproti ostatním vzorkům. Nejvyšší hodnoty pak dosahují vzorky umístěné ve středu destičky.

Shrnutím lze tedy říci, při použití vtoku B, směr T vykazují okrajové vzorky nižší hodnoty meze pevnosti R_m , prodloužení ε a síly F_m . Nejvyšších hodnot meze pevnosti, prodloužení a síly na mezi pevnosti je dosaženo ve středu destičky. Největší vliv na naměřené hodnoty má směr toku taveniny a v případě materiálů plněných skleněnými vlákny orientace těchto vláken. Nejlepší směr toku taveniny a orientace vláken je ve středu destičky, proto v tomto místě vykazují vzorky nejlepší vlastnosti. V případě modulu pružnosti se okrajové vzorky od ostatních téměř neliší.

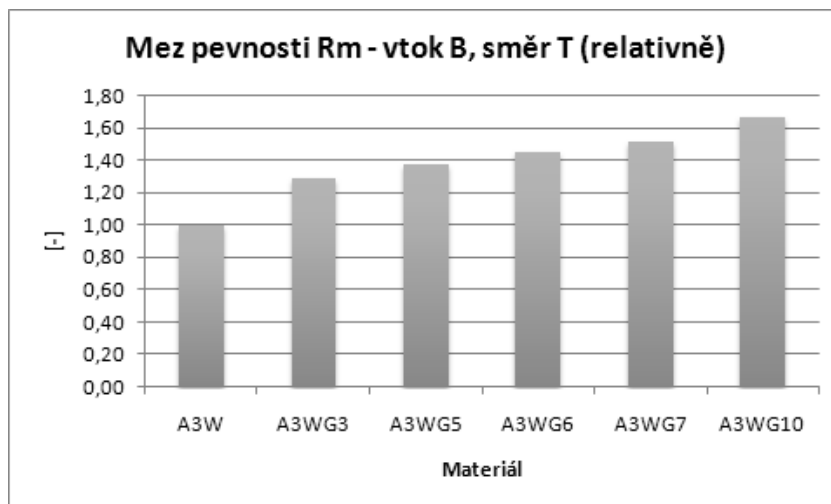
8.2.1 Mez pevnosti R_m – vtok B, směr T

Tab. 8. Mez pevnosti R_m – vtok B, směr T.

MEZ PEVNOSTI R_m				
Materiál	ϕR_m [N/mm ²]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	70,81	1,00	1,27	0,37
A3WG3	91,09	1,29	4,96	1,43
A3WG5	97,28	1,37	4,61	1,33
A3WG6	102,36	1,45	2,10	0,61
A3WG7	107,09	1,51	4,36	1,26
A3WG10	117,74	1,66	8,79	2,54



Obr. 39. Graf meze pevnosti R_m – vtok B, směr T (absolutně).



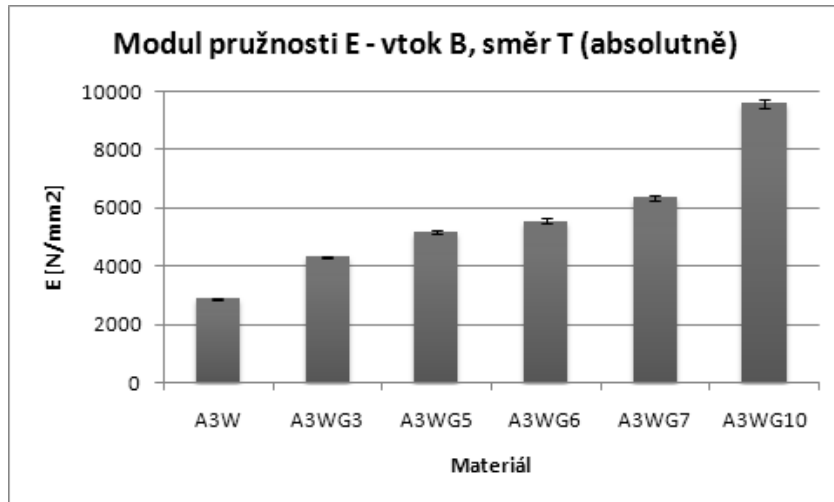
Obr. 40. Graf meze pevnosti Rm – vtok B, směr T (relativně).

Z naměřených hodnot meze pevnosti Rm vtoku B, směr T lze říci, že s rostoucí vzdáleností od vtokového ústí hodnoty meze pevnosti Rm rostou. Nejvyšší hodnoty pevnosti dosahuje vzorek umístění ve středu destičky, oddalováním od středu pak hodnoty zase klesají, což je způsobeno tokem taveniny, který by měl být uprostřed nejlepší.

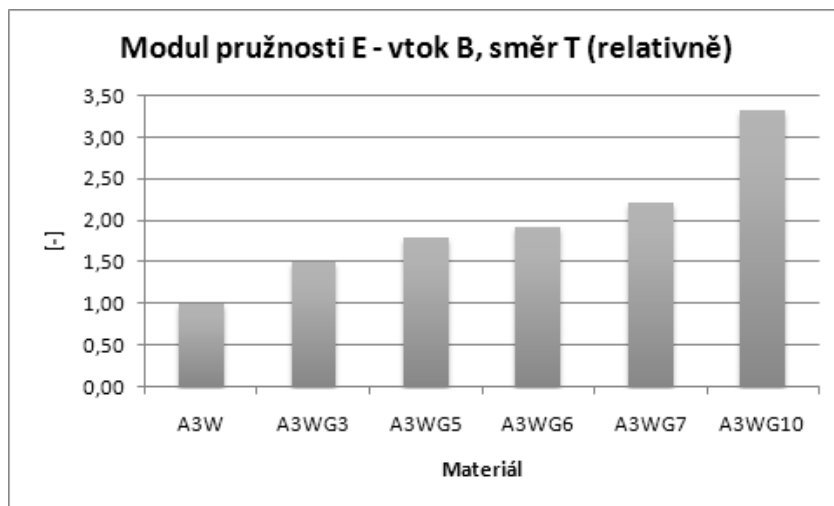
8.2.2 Modul pružnosti E – vtok B, směr T

Tab. 9. Modul pružnosti E – vtok B, směr T.

MODUL PRUŽNOSTI E				
Materiál	ϕE [N/mm ²]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	2884,36	1,00	120,44	34,77
A3WG3	4324,47	1,50	135,84	39,21
A3WG5	5171,51	1,79	180,99	52,25
A3WG6	5553,71	1,93	288,49	83,28
A3WG7	6353,39	2,20	261,34	75,44
A3WG10	9588,71	3,32	536,96	155,01



Obr. 41. Graf modulu pružnosti E – vtok B, směr T (absolutně).

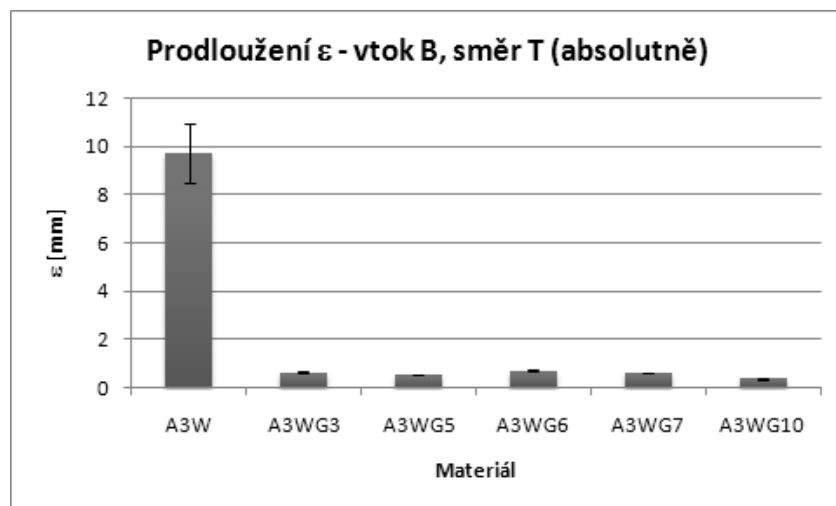
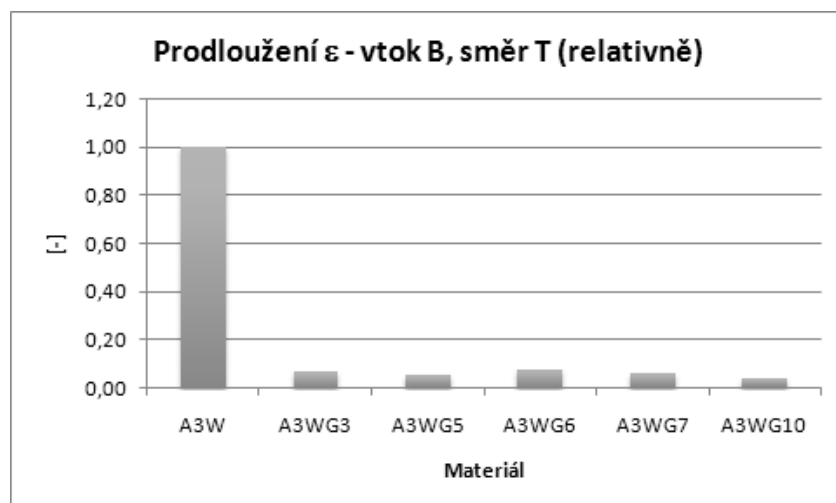


Obr. 42. Graf modulu pružnosti E – vtok B, směr T (relativně).

Naměřené hodnoty modulu pružnosti E jsou velmi rovnoměrně rozptýleny a výrazněji se neliší. U neplněného materiálu a materiálů s nižším stupněm plnění vykazují okrajové vzorky mírně nižší hodnoty modulu pružnosti než vzorky umístěné ve středu destičky. Se zvyšujícím se stupněm plnění pak okrajové vzorky vykazují mírně vyšší hodnoty než vzorky ze středu destičky.

8.2.3 Prodloužení ε – vtok B, směr TTab. 10. Prodloužení ε – vtok B, směr T.

PRODLOUŽENÍ ε				
Materiál	$\phi \varepsilon$ [mm]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	9,73	1,00	4,22	1,22
A3WG3	0,63	0,06	0,08	0,02
A3WG5	0,52	0,05	0,04	0,01
A3WG6	0,71	0,07	0,09	0,03
A3WG7	0,61	0,06	0,09	0,03
A3WG10	0,36	0,04	0,06	0,02

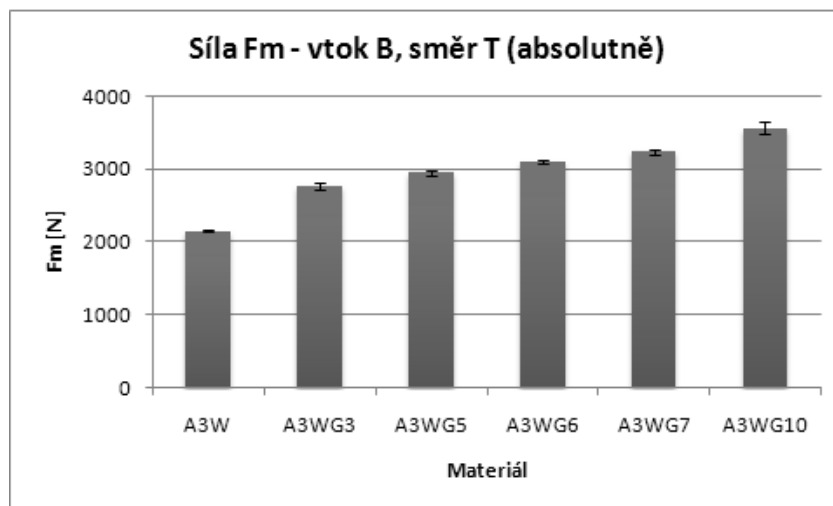
Obr. 43. Graf prodloužení ε – vtok B, směr T (absolutně).Obr. 44. Graf prodloužení ε – vtok B, směr T (relativně).

Při hodnocení prodloužení ε je třeba brát v úvahu, že první zkušební vzorek z destičky byl kratší než by měl být, a tudíž mohou být výsledky prodloužení zkresleny. To se zřejmě projevilo u neplněného materiálu A3W, u kterého vždy první vzorek z destičky vykazuje velmi odlišné hodnoty prodloužení vůči ostatním vzorkům. U plněných materiálů jsou již rozdíly mnohem menší a lze je považovat za správné. Ve většině případů dosahují nejvyšších hodnot prodloužení vzorky umístěné ve středu destičky. Nejnižších hodnot dosahují pak vzorky umístěné na okrajích destiček.

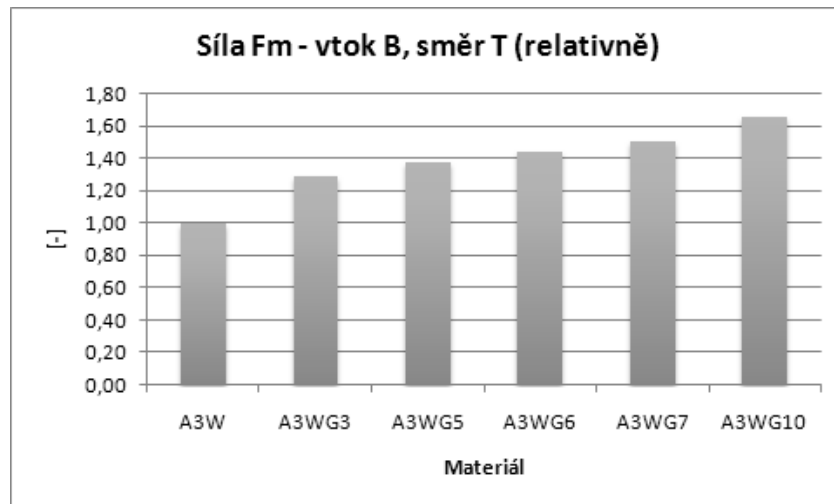
8.2.4 Síla F_m – vtok B, směr T

Tab. 11. Síla F_m – vtok B, směr T.

SÍLA F_m				
Materiál	ϕF_m [N]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	2150,81	1,00	40,03	11,56
A3WG3	2760,14	1,28	150,41	43,42
A3WG5	2947,67	1,37	139,69	40,32
A3WG6	3101,37	1,44	63,52	18,34
A3WG7	3244,66	1,51	132,10	38,14
A3WG10	3567,61	1,66	266,44	76,91



Obr. 45. Graf síly F_m – vtok B, směr T (absolutně).



Obr. 46. Graf síly Fm – vtok B, směr T (relativně).

Z vyhodnocení velikosti síly Fm na mezi pevnosti vyplývá, že hodnoty naměřené u zkušebních vzorků umístěných na okraji destičky vykazují nižší hodnoty síly Fm oproti ostatním vzorkům. Nejvyšší hodnoty pak dosahují vzorky umístěné ve středu destičky.

8.3 Tah - vtok C, směr LT

Z naměřených hodnot umístěných v příloze P V a P VI vyplývá, že při použití vtokového ústí C, směr LT vykazují zkušební vzorky se vzrůstající vzdáleností od vtokového ústí nižších hodnot meze pevnosti Rm, než ostatní vzorky u materiálu A3W, který není plněný skleněnými vlákny. U tohoto materiálu dosahují nejvyšších hodnot meze pevnosti vzorky umístěné přímo u vtokového ústí. To je zřejmě způsobeno tím, že vzorek u vtokového ústí obsahuje stopu po vtokovém zbytku a dochází tím ke zpevnění. V případě materiálů plněných skleněnými vlákny je tomu naopak. V okrajových vzorcích dosahují nejvyšší pevnosti a přímo u vtoku dosahují hodnot nejnižších, což je způsobeno orientací skleněných vláken.

Při hodnocení modulu pružnosti přijdeme k závěru, že u neplněného materiálu A3W dosahují nejvyšších hodnot vzorky nejbliže vtoku, u materiálů plněných skleněnými vlákny dosahují nejvyšších hodnot vzorky nejdále od vtoku.

Z vyhodnocení naměřených hodnot prodloužení ε vyplývá, že u neplněného materiálu A3W dosáhly nejvyšších hodnot prodloužení vzorky umístěné nejdále od vtokového ústí. Naopak vzorek umístěný nejbliže vtokovému ústí vykazoval hodnoty prodloužení výrazně nižší. U materiálů plněných skleněnými vlákny bylo nejvyšších hodnot prodloužení dosaženo u vzorků, které byly nejbliže vtoku.

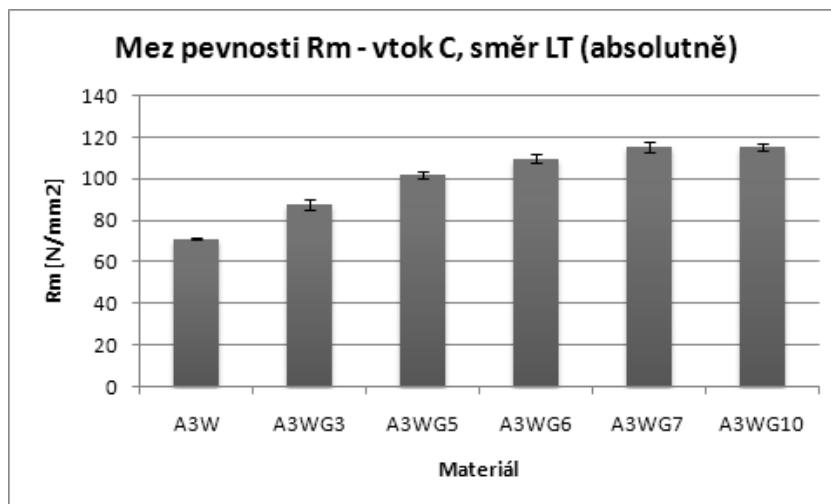
Při hodnocení síly na mezi pevnosti F_m bylo zjištěno, že u materiálu A3W neplněného skleněnými vlákny platí, že se zvyšující se vzdáleností od vtokového ústí klesá hodnota síly na mezi pevnosti. U materiálů plněných skleněnými vlákny je to naopak, se zvyšující se vzdáleností od vtokové hodnoty síly roste. Maximálních hodnot bylo dosaženo u vzorků, které byly nejdále od vtokového ústí.

Shrnutím lze tedy říci, že při použití tohoto typu vtokového ústí bylo dosaženo u neplněných materiálů se vzrůstající vzdáleností od vtokového ústí růstu hodnot prodloužení ϵ a poklesu hodnot meze pevnosti R_m , modulu pružnosti E a síly na mezi pevnosti F_m , což je způsobeno stopou po odstraněném vtokovém ústí, která způsobila zpevnění materiálu a tím zlepšení vlastností. U materiálů plněných skleněnými vlákny byla situace opačná. S vzrůstající vzdáleností od vtokového ústí rostly hodnoty R_m , E a F_m . Hodnoty prodloužení byly nejvyšší u vtokového ústí. U materiálů plněných skleněnými vlákny je tato situace způsobena orientací skleněných vláken u vtokového ústí.

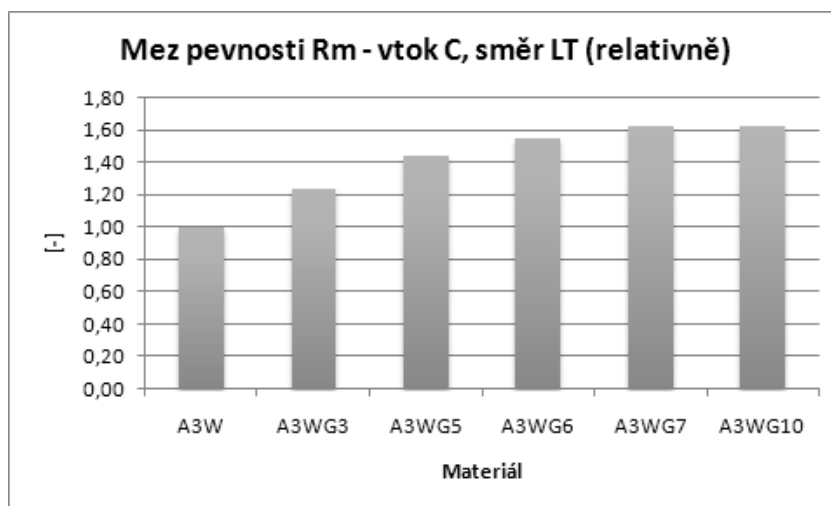
8.3.1 Mez pevnosti R_m – vtok C, směr LT

Tab. 12. Mez pevnosti R_m – vtok C, směr LT.

MEZ PEVNOSTI R_m				
Materiál	ϕR_m [N/mm ²]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	71,05	1,00	1,70	0,49
A3WG3	87,61	1,23	8,17	2,36
A3WG5	101,98	1,44	6,56	1,89
A3WG6	109,68	1,54	7,27	2,10
A3WG7	115,30	1,62	8,52	2,46
A3WG10	115,61	1,63	5,40	1,56



Obr. 47. Graf meze pevnosti R_m – vtok C, směr LT (absolutně).



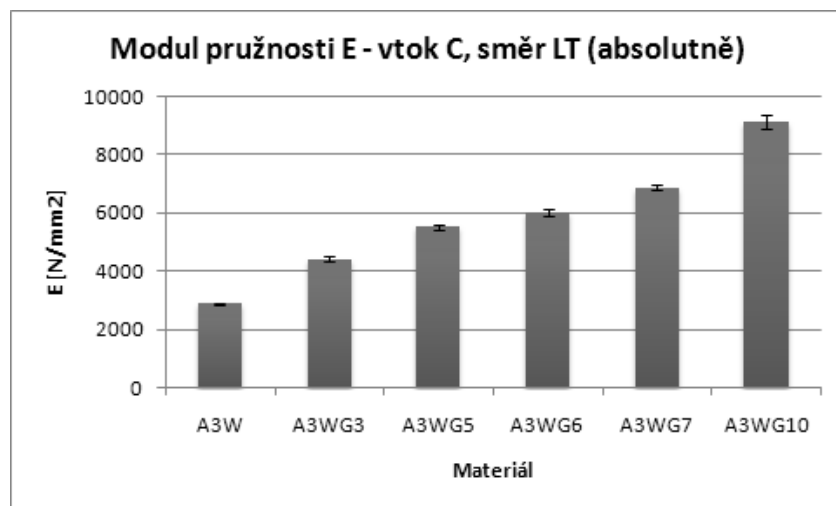
Obr. 48. Graf meze pevnosti R_m – vtok C, směr LT (relativně).

Z naměřených hodnot meze pevnosti R_m vyplývá, že při použití vtokového ústí C, směr LT, vykazují zkušební vzorky se vzrůstající vzdáleností od vtokového ústí nižších hodnot meze pevnosti R_m , než ostatní vzorky u materiálu A3W, který není plněný skleněnými vlákny. U tohoto materiálu dosahují nejvyšších hodnot meze pevnosti vzorky umístěné přímo u vtokového ústí. To je zřejmě způsobeno tím, že destička obsahuje stopu po vtokovém zbytku a dochází tím ke zpevnění. V případě materiálů plněných skleněnými vlákny je tomu naopak. V okrajových vzorcích dosahují nejvyšší pevnosti a přímo u vtoku dosahují hodnot nejnižších. Značnou roli zde hraje orientace vláken, která tím snižuje pevnost u vtoku.

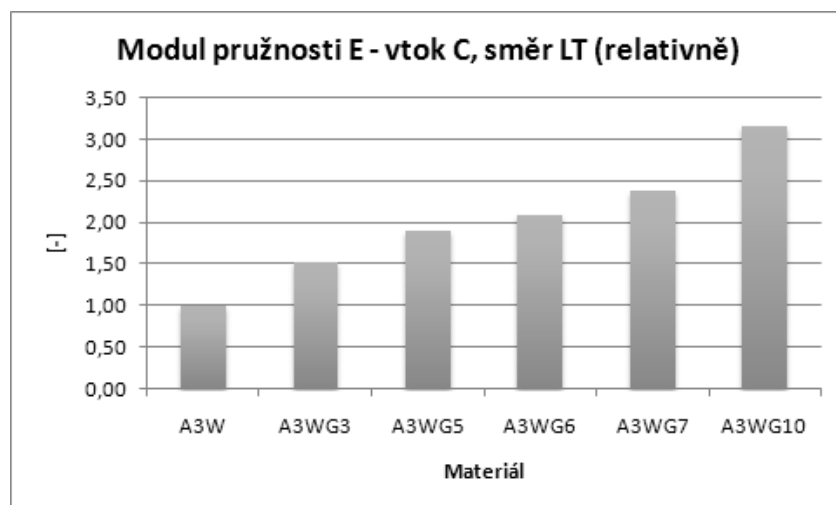
8.3.2 Modul pružnosti E – vtok C, směr LT

Tab. 13. Modul pružnosti E – vtok C, směr LT.

MODUL PRUŽNOSTI E				
Materiál	ϕE [N/mm ²]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	2893,82	1,00	114,58	33,08
A3WG3	4420,51	1,53	309,66	89,39
A3WG5	5513,59	1,91	349,51	100,89
A3WG6	6028,12	2,08	412,45	119,06
A3WG7	6885,78	2,38	390,03	112,59
A3WG10	9123,13	3,15	798,54	230,52



Obr. 49. Graf modulu pružnosti – vtok C, směr LT (absolutně).



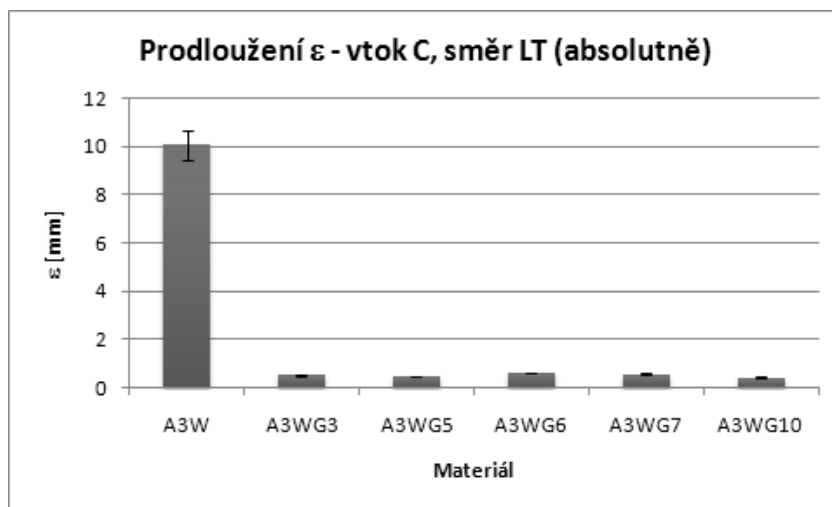
Obr. 50. Graf modulu pružnosti – vtok C, směr LT (relativně).

Při hodnocení modulu pružnosti přijdeme k závěru, že u neplněného materiálu dosahují nejvyšších hodnot vzorky nejbliže vtoku, u materiálů plněných skleněnými vlákny dosahují nejvyšších hodnot vzorky nejdále od vtoku. U neplněného materiálu je příčinou zpevnění vzniklé stopou po vtoku, u plněných materiálů je to pak způsobeno orientací vláken.

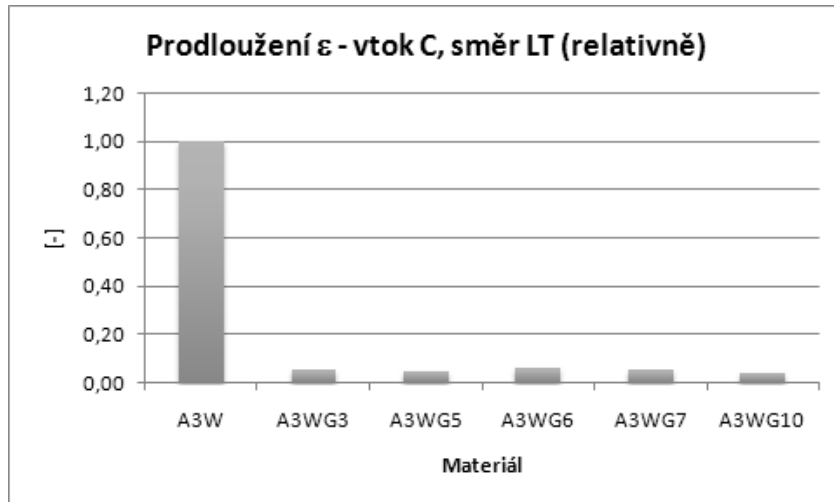
8.3.3 Prodloužení ε – vtok C, směr LT

Tab. 14. Prodloužení ε – vtok C, směr LT.

PRODLOUŽENÍ ε				
Materiál	$\phi \varepsilon$ [mm]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	10,06	1,00	2,20	0,64
A3WG3	0,51	0,05	0,05	0,02
A3WG5	0,47	0,05	0,04	0,01
A3WG6	0,60	0,06	0,06	0,02
A3WG7	0,57	0,06	0,06	0,02
A3WG10	0,41	0,04	0,08	0,02



Obr. 51. Graf prodloužení ε – vtok C, směr LT (absolutně).



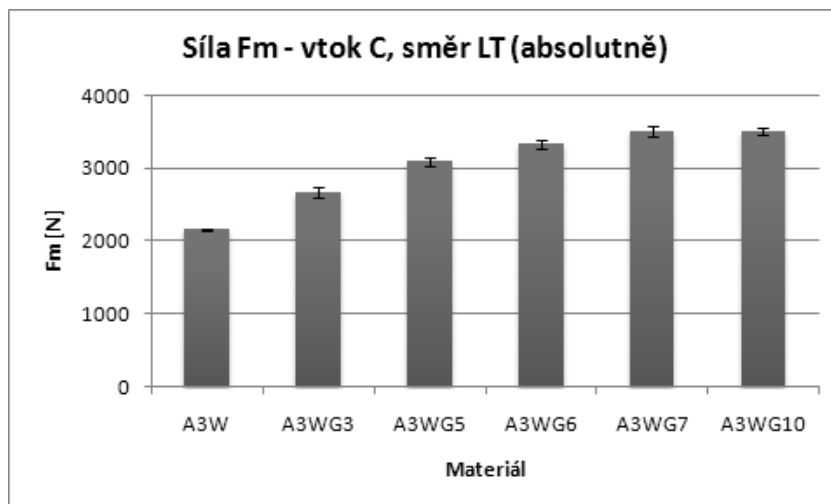
Obr. 52. Graf prodloužení ε – vtok C, směr LT (relativně).

Z vyhodnocení naměřených hodnot prodloužení ε vyplývá, že u neplněného materiálu A3W dosáhly nejvyšších hodnot prodloužení vzorky umístěné nejdále od vtokového ústí. Naopak vzorek umístěný nejbližší vtokovému ústí vykazoval hodnoty prodloužení výrazně nižší. U materiálů plněných skleněnými vlákny bylo nejvyšších hodnot prodloužení dosaženo u vzorků, které byly nejbližší vtoku.

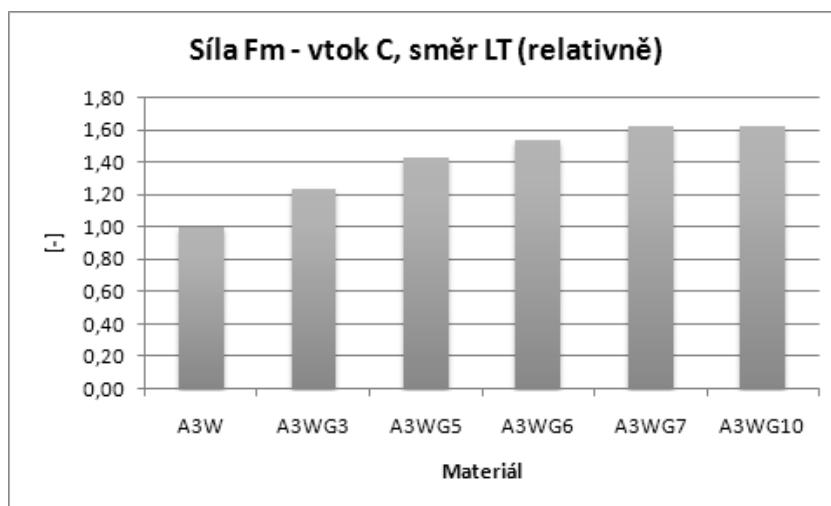
8.3.4 Síla F_m – vtok C, směr LT

Tab. 15. Síla F_m – vtok C, směr LT.

SÍLA F_m				
Materiál	ϕF_m [N]	[-]	Sm. odchylka	Sm. chyba
A3W	2165,03	1,00	44,15	12,74
A3WG3	2664,00	1,23	254,46	73,45
A3WG5	3095,33	1,43	205,63	59,36
A3WG6	3331,65	1,54	222,32	64,18
A3WG7	3505,90	1,62	270,18	77,99
A3WG10	3502,98	1,62	163,52	47,20



Obr. 53. Graf síly F_m – vtok C, směr LT (absolutně).



Obr. 54. Graf síly F_m – vtok C, směr LT (relativně).

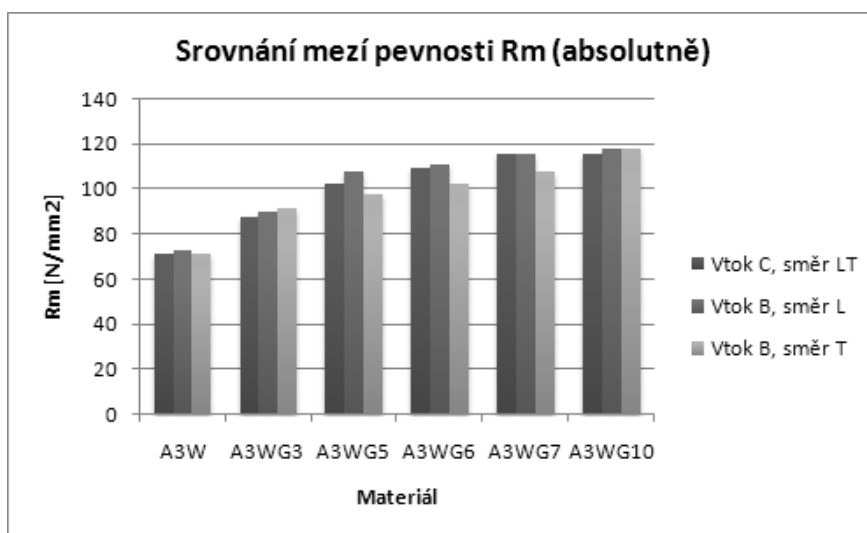
Při hodnocení síly na mezi pevnosti F_m bylo zjištěno, že u materiálu A3W neplněného skleněnými vlákny platí, že se zvyšující se vzdáleností od vtokového ústí klesá hodnota síly na mezi pevnosti. To je způsobeno stopou po vtoku, který způsobil zpevnění materiálu v tomto místě. U materiálů plněných skleněnými vlákny je to naopak, se zvyšující se vzdáleností od vtoku hodnota síly roste. Maximálních hodnot bylo dosaženo u vzorků, které byly nejdále od vtokového ústí. U plněných materiálů je to způsobeno orientací skleněných vláken.

8.4 Srovnání hodnot pro jednotlivé vtoky

8.4.1 Srovnání meze pevnosti R_m pro jednotlivé vtoky

Tab. 16. Srovnání mezí pevnosti R_m

MEZ PEVNOSTI R_m			
	Vtok C, směr LT	Vtok B, směr L	Vtok B, směr T
Materiál	ϕR_m [N/mm ²]	ϕR_m [N/mm ²]	ϕR_m [N/mm ²]
A3W	71,05	72,44	70,81
A3WG3	87,61	89,48	91,09
A3WG5	101,98	108,04	97,28
A3WG6	109,68	111,26	102,36
A3WG7	115,3	115,92	107,9
A3WG10	115,61	117,5	117,74



Obr. 55. Graf srovnání mezí pevností R_m .

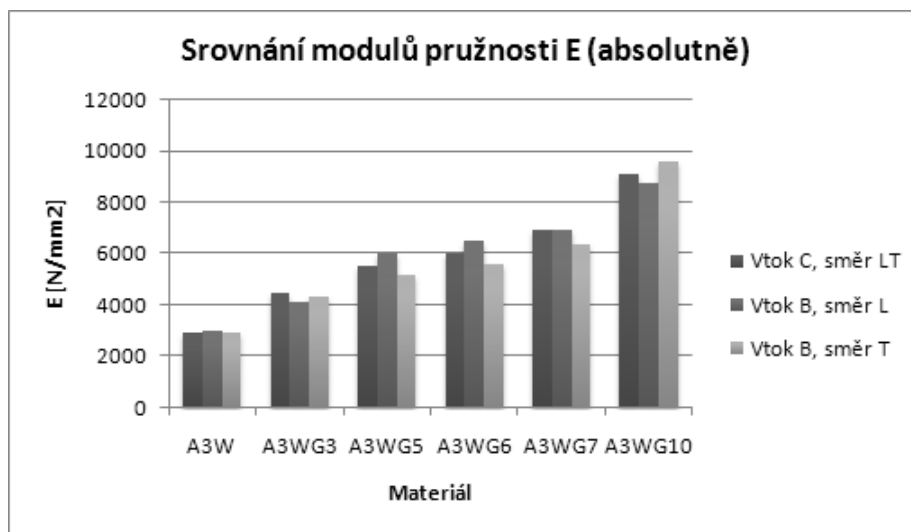
Při srovnání dosažených mezí pevnosti R_m pro jednotlivé vtokové ústí je z tabulky (Tab. 14) a obrázku (Obr. 49) patrné, že nejnižších hodnot mezí pevnosti dosahuje materiál vstřikovaný z vtoku B, směr T, tedy kolmo na směr toku taveniny. V případě materiálu A3W, který není plněný skleněnými vlákny a materiálu A3WG3 s 15 % skleněných vláken jsou hodnoty srovnatelné u všech vtokových ústí. Se vzrůstajícími procenty plnění materiálu skleněnými vlákny dochází ke zvyšování rozdílů mezi jednotlivými vtoky. Při porovnání hodnot vtoku C, směr LT a hodnot vtoku B, směr L se hodnoty se liší jen velmi málo a lze tudíž říct, že jsou téměř shodné. Oproti tomu materiál vstřikovaný z vtoku B, směr T, tedy

kolmo na tok taveniny, vykazuje ve srovnání s dalšími dvěma vtoky nižší naměřené hodnoty meze pevnosti R_m . V případě materiálu A3WG10, který je plněný 50 % skleněných vláken, jsou hodnoty opět téměř totožné.

8.4.2 Srovnání modulu pružnosti E pro jednotlivé vtoky

Tab. 17. Srovnání modulů pružnosti E.

MODUL PRUŽNOSTI E			
	Vtok C, směr LT	Vtok B, směr L	Vtok B, směr T
Materiál	ϕE [N/mm ²]	ϕE [N/mm ²]	ϕE [N/mm ²]
A3W	2893,82	2996,57	2884,36
A3WG3	4420,51	4090,94	4323,47
A3WG5	5513,59	5966,85	5171,51
A3WG6	6028,12	6483,97	5553,71
A3WG7	6885,75	6912,69	6353,39
A3WG10	9123,13	8763,38	9588,71



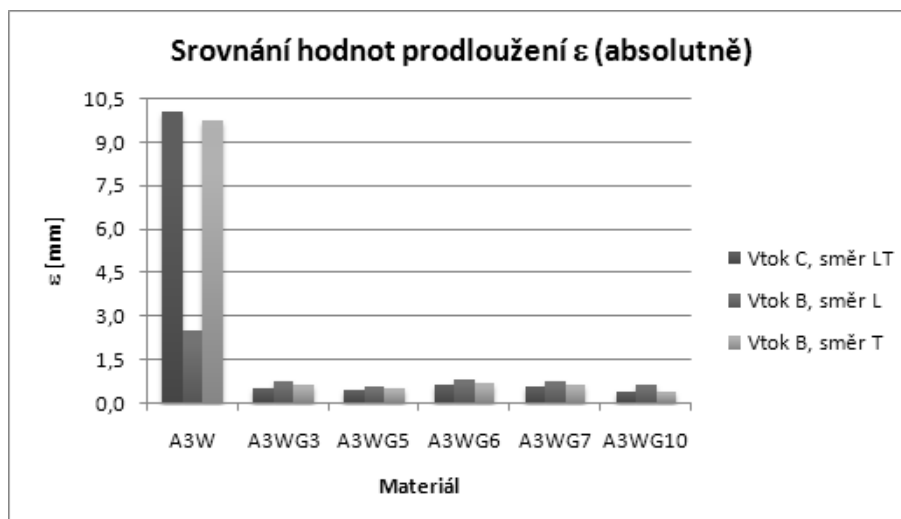
Obr. 56. Graf srovnání modulů pružnosti E.

Při srovnání hodnot modulů pružnosti pro jednotlivé vtoky je z obrázku (Obr. 50) patrné, že pro materiál A3W a materiál A3WG3, tedy materiály bez skleněných vláken a s 15 % skleněných vláken, nedosahují hodnoty modulu pružnosti větších rozdílů. Se zvyšujícím se stupněm plnění skleněnými vlákny materiály vstříkované z vtoku B, směr T dosahují nejvyšších hodnot modulu pružnosti z těchto vtoků. Ovšem v případě materiálu A3WG10, plněného 50 % skleněných vláken, dosahují hodnot nejvyšších.

8.4.3 Srovnání prodloužení ε pro jednotlivé vtoky

Tab. 18. Srovnání prodloužení ε .

PRODLOUŽENÍ ε			
	Vtok C, směr LT	Vtok B, směr L	Vtok B, směr T
Materiál	$\phi \varepsilon$ [mm]	$\phi \varepsilon$ [mm]	$\phi \varepsilon$ [mm]
A3W	10,06	2,48	9,73
A3WG3	0,51	0,76	0,63
A3WG5	0,47	0,56	0,52
A3WG6	0,60	0,80	0,71
A3WG7	0,57	0,78	0,61
A3WG10	0,41	0,64	0,36

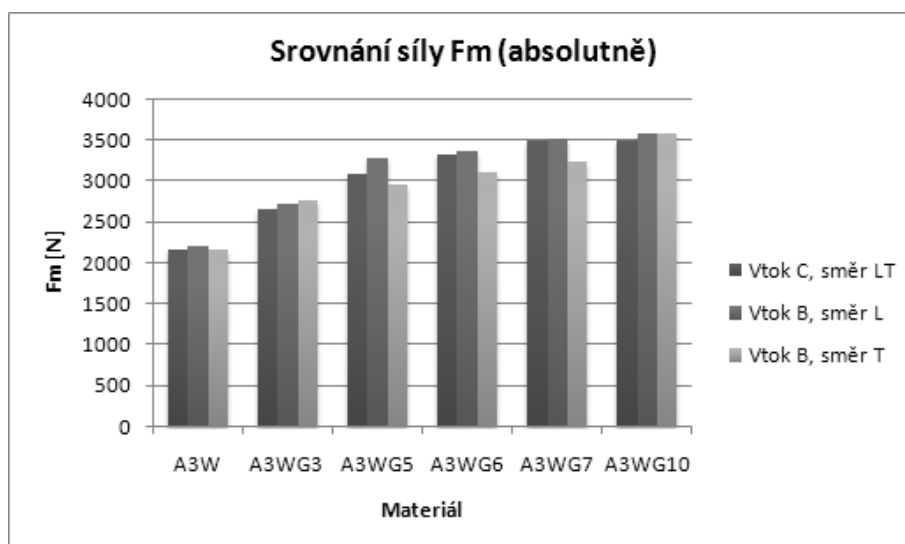


Obr. 57. Graf srovnání prodloužení ε .

Při porovnání hodnot prodloužení ε je na první pohled patrné, že sklem neplněný materiál A3W má prodloužení výrazně větší než ostatní sklem plněné materiály. Velké rozdíly jsou také při použití různých vtokových ústí. Materiál A3W vstříkovaný z vtoku B ve směru toku taveniny L má téměř 5 krát menší hodnotu prodloužení ve srovnání s vtokem C, směr LT a vtokem B, směr T. Ovšem v případě plněných materiálů, tedy A3WG3 až A3WG10, dosahuje ve všech případech největších prodloužení. U materiálů plněných skleněnými vlákny dosahují nejnižších hodnot prodloužení materiály vstříkované z vtoku C, směr LT.

8.4.4 Srovnání síly F_m na mezi pevnostiTab. 19. Srovnání síly F_m .

SÍLA F_m			
	Vtok C, směr LT	Vtok B, směr L	Vtok B, směr T
Materiál	ϕF_m [N]	ϕF_m [N]	ϕF_m [N]
A3W	2165,03	2195,08	2150,81
A3WG3	2664,00	2720,09	2760,14
A3WG5	3095,33	3273,56	2947,67
A3WG6	3331,65	3376,60	3101,37
A3WG7	3505,40	3512,39	3244,66
A3WG10	3502,98	3574,78	3576,61

Obr. 58. Graf srovnání síly F_m .

Při porovnání hodnot síly na mezi pevnosti F_m podle obrázku (Obr. 59) a tabulky (Tab. 17) je patrné, že v případě neplněného materiálu A3W a plněného materiálu A3WG10 jsou hodnoty síly na mezi pevnosti F_m pro všechna vtoková ústí téměř shodné. Nejnižších hodnot při plnění materiálu skleněnými vlákny v rozmezí 25 – 35 % dosahují materiály vstříkované z vtoků B, směr T. Nejvyšších hodnot síly na mezi pevnosti R_m dosahuje materiál vstříkovaný z vtokového ústí B, směr L, tedy ve směru toku taveniny.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjištění vlivu umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti dílu z polyamidu. Z experimentálně naměřených hodnot tahové zkoušky a následného statického vyhodnocení bylo zjištěno, že při použití vtoků B, směr L i směr T vykazovaly okrajové vzorky destiček nižší hodnoty meze pevnosti R_m , prodloužení ε a síly F_m , než tomu bylo u vzorků ze středu destičky, což bylo způsobeno směrem toku taveniny a orientací vláken. Modul pružnosti E v případě směru L vykazoval nejvyšší hodnoty u vzorků umístěných nejdále od vtokového ústí. Hodnoty modulu pružnosti E , směr T se od krajních vzorků téměř nelišily. U vtoků typu B nehrálo téměř žádnou roli, zda byl materiál plněný nebo neplněný skleněnými vlákny.

V případě použití vtokového ústí C, směr LT bylo dosaženo rozdílných výsledků pro materiál plněný skleněnými vlákny a materiál neplněný. U neplněných materiálů se vzrůstající vzdáleností od vtokového ústí docházelo k růstu hodnot prodloužení ε a k poklesu hodnot meze pevnosti R_m , modulu pružnosti E a síly na mezi pevnosti F_m , což bylo způsobeno stopou po vtokovém zbytku, která způsobila zpevnění materiálu. U materiálů plněných skleněnými vlákny byla situace opačná. S vzrůstající vzdáleností od vtokového ústí rostly hodnoty R_m , E a F_m , což bylo způsobeno orientací vláken u vtokového ústí. Hodnoty prodloužení byly nejvyšší u vtokového ústí.

Při srovnávání hodnot dosažených měřeními jednotlivých vlastností bylo zjištěno, že v případě neplněných materiálů téměř nezáleží na umístění vtokového ústí, jelikož hodnoty měřených veličin se téměř nelišily. Pouze v případě prodloužení ε u vtoků B, směr L se hodnota výrazně lišila od ostatních vtoků. V případě plněných materiálů lze říci, že z celkového hlediska je zřejmě nejvhodnější pro namáhání na tah použití vtokového ústí B, směr L, tedy podél směru toku taveniny. Nejhorší mechanické vlastnosti pak vykazovalo použití vtokového ústí B, směr T, který je kolmý ke směru toku taveniny.

Z celkového hlediska hodnocení vlivu umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti lze říci, že umístění vtokového ústí nehraje u provedené zkoušky tahem významnou roli, jelikož rozdíly v hodnotách jednotlivých veličin se až na výjimku pohybovali do 10 %. Tuto výjimku tvořilo již výše zmíněné prodloužení ε u vtoků B, směr L. Pro lepší zhodnocení a posouzení vlivu umístění vtokového ústí by bylo potřeba provést další zkoušky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie

- [1] BOBČÍK, Ladislav a kol. Formy pro zpracování plastů I.díl - Vstřikování termoplastů. 2. opravené vyd. Brno : UNIPLAST , 1999. 134 s.
- [2] BOBČÍK, Ladislav a kol. Formy pro zpracování plastů II.díl - Vstřikování termoplastů. 1. vyd. Brno : UNIPLAST , 1999. 214 s.
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery - Výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 1. vyd. Praha : VŠCHT Praha, 2005. 354 s. ISBN 80-7080-617-6
- [4] HLUCHÝ , M., KOLOUCH , J. Strojírenská technologie 1 - Nauka o materiálu 1.díl. 3. přeprac. vyd. Praha : Scientia, 2002. 266 s. ISBN 80-7183-262-6
- [5] HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J., PAŇÁK, R. Strojírenská technologie 2 - Polotovary a jejich technologičnost 1.díl. 2. upr. vyd. Praha : Scientia, 2001. 316 s. ISBN 80-7183-244-8.
- [6] MAŇAS, Miroslav, HELŠTÝN, Josef. Výrobní stroje a zařízení - Gumárenské a plastikářské stroje II. 1. vyd. Brno : VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [7] MAŇAS, Miroslav, TOMIS, František. Výrobní stroje a zařízení - Gumárenské a plastikářské stroje I. 1. vyd. [s.l.] : VUT Brno, 1987. 253 s.
- [8] MAŇAS, M., VLČEK, J. Aplikovaná reologie. 1. vyd. Zlín : UTB, 2001. 144 s. ISBN 80-7318-039-1.
- [9] REES, Herbert. Mold Engineering. 2nd edition. Munich : Hanser, 2002. 688 s. ISBN 3-446-21659-6.
- [10] ŘASA, J., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3 - Metody, stroje a nástroje pro obrábění 1.díl. 2. vyd. Praha : Scientia, 2005. 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
- [11] SOVA, M., KREBS, J., a kol. Termoplasty v praxi . Svazek 1. Praha : Verlag DASHÖFER, 2001. Nestránkováno.
- [12] ŠTĚPEK, Jiří, ZELINGER, Jiří, KUTA, Antonín. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha : SNTL, 1989. 638 s.
- [13] TOMIS, F., HELŠTÝN, J. Formy a přípravky. 2. přeprac. vyd. Praha : SNTL, 1985. 374 s.

Elektronické zdroje

- [14] LENFELD, Petr Zpracování plastů, Technická univerzita Liberec, http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm
- [15] CHPS s.r.o. Řezání materiálů vodním paprskem a laserem [online]. [cit. 2008-11-29]. Dostupný z www: <<http://www.chps.cz/>>.
- [16] BASF Plastics Portal : Global Homepage [online]. 2001-2009 [cit. 2009-05-12]. Dostupný z WWW: <http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/portal/show/content/products/engineering_plastics/ultramid>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ε	Prodloužení [mm]
σ_E	Mez pružnosti [MPa]
σ_K	Mez kluzu [MPa]
σ_{Pt}	Mez pevnosti [MPa]
σ_u	Mez úměrnosti [MPa]
E	Modul pružnosti [N/mm ²]
F _m	Síla na mezi pevnosti [N/mm ²]
HB	Tvrдость podle Brinella [-]
HRB	Tvrдость podle Rockwella [-]
HRC	Tvrдость podle Rockwella [-]
PA	Polyamid
PA 66	Polyamid 66
pH	Kyselost
R _m	Mez pevnosti v tahu [N/mm ²]
s	Směrodatná odchylka
s _n	Směrodatná chyba
T _f	Teplota viskózního toku [°C]
T _m	Teplota tání [°C]
\bar{x}	Aritmetický průměr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vstřikovací cyklus [1]	13
Obr. 2. Vstřikovací forma [1]	17
Obr. 3. Plnění dutiny formy taveninou [14].....	18
Obr. 4. Bodové ústí vtoku [1, 9]	20
Obr. 5. Tunelový vtok, srpkovitý vtok [9].....	20
Obr. 6. Boční vtok [1]	21
Obr. 7. Filmový vtok [1]	21
Obr. 8. Rozdělení polymerů [3]	24
Obr. 9. Pilový list v řezu [10]	30
Obr. 10. Nástroj na stříhání [10]	31
Obr. 11. Výsečníky pro nekovové materiály [5]	31
Obr. 12. Řezání vodním paprskem [5].....	32
Obr. 13. Řezání laserem [5]	33
Obr. 14. Tahová křivka [4]	35
Obr. 15. Univerzální trhací stroj [4]	35
Obr. 16. Princip zkoušky ohybem [4].....	36
Obr. 17. Zkouška stříhem [4].....	36
Obr. 18. Charpyho kladivo [4].....	37
Obr. 19. Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420C.....	43
Obr. 20. Výrobky vzniklé vstřikováním	44
Obr. 21. Destička zbavená vtokových zbytků	45
Obr. 22. Frézka FHV – 50PD	45
Obr. 23. Použité vtokové ústí.....	46
Obr. 24. Směr řezání vzorků	47
Obr. 25. Směr řezání vzorků	47

Obr. 26. Směr řezání vzorků	48
Obr. 27. Univerzální testovací stroj ZWICK 1456	49
Obr. 28. Uchycení zkoušeného vzorku mezi čelistmi	49
Obr. 29. Uchycení vzorku čelistmi extenzometru	50
Obr. 30. Přetržené zkušební vzorky	50
Obr. 31. Graf meze pevnosti R_m – vtok B, L (absolutně)	53
Obr. 32. Graf meze pevnosti R_m – vtok B, směr L (relativně)	54
Obr. 33. Graf modulu pružnosti E – vtok B, směr L (absolutně)	55
Obr. 34. Graf modulu pružnosti E – vtok B, směr L (relativně)	55
Obr. 35. Graf prodloužení ϵ – vtok B, směr L (absolutně)	56
Obr. 36. Graf prodloužení ϵ – vtok B, směr L (relativně)	56
Obr. 37. Graf síly F_m – vtok B, směr L (absolutně)	57
Obr. 38. Graf síly F_m – vtok B, směr L (relativně)	58
Obr. 39. Graf meze pevnosti R_m – vtok B, směr T (absolutně)	59
Obr. 40. Graf meze pevnosti R_m – vtok B, směr T (relativně)	60
Obr. 41. Graf modulu pružnosti E – vtok B, směr T (absolutně)	61
Obr. 42. Graf modulu pružnosti E – vtok B, směr T (relativně)	61
Obr. 43. Graf prodloužení ϵ – vtok B, směr T (absolutně)	62
Obr. 44. Graf prodloužení ϵ – vtok B, směr T (relativně)	62
Obr. 45. Graf síly F_m – vtok B, směr T (absolutně)	63
Obr. 46. Graf síly F_m – vtok B, směr T (relativně)	64
Obr. 47. Graf meze pevnosti R_m – vtok C, směr LT (absolutně)	66
Obr. 48. Graf meze pevnosti R_m – vtok C, směr LT (relativně)	66
Obr. 49. Graf modulu pružnosti – vtok C, směr LT (absolutně)	67
Obr. 50. Graf modulu pružnosti – vtok C, směr LT (relativně)	67
Obr. 51. Graf prodloužení ϵ – vtok C, směr LT (absolutně)	68

Obr. 52. Graf prodloužení ε – vtok C, směr LT (relativně).....	69
Obr. 53. Graf síly F_m – vtok C, směr LT (absolutně).	70
Obr. 54. Graf síly F_m – vtok C, směr LT (relativně).....	70
Obr. 55. Graf srovnání mezí pevností R_m	71
Obr. 56. Graf srovnání modulů pružnosti E	72
Obr. 57. Graf srovnání prodloužení ε	73
Obr. 58. Graf srovnání síly F_m	74

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Použité materiály	42
Tab. 2. Vybrané procesní podmínky vstřikování [16]	44
Tab. 3. Procesní podmínky řezání	46
Tab. 4. Mez pevnosti R_m – vtok B, směr L.....	53
Tab. 5. Modul pružnosti E – vtok B, směr L..	54
Tab. 6. Prodloužení ε – vtok B, směr L	56
Tab. 7. Síla F_m – vtok B, směr L.....	57
Tab. 8. Mez pevnosti R_m – vtok B, směr T.....	59
Tab. 9. Modul pružnosti E – vtok B, směr T	60
Tab. 10. Prodloužení ε – vtok B, směr T.	62
Tab. 11. Síla F_m – vtok B, směr T.....	63
Tab. 12. Mez pevnosti R_m – vtok C, směr LT.	65
Tab. 13. Modul pružnosti E – vtok C, směr LT.....	67
Tab. 14. Prodloužení ε – vtok C, směr LT.....	68
Tab. 15. Síla F_m – vtok C, směr LT.	69
Tab. 16. Srovnání mezí pevnosti R_m	71
Tab. 17. Srovnání modulů pružnosti E	72
Tab. 18. Srovnání prodloužení ε	73
Tab. 19. Srovnání síly F_m	74

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Naměřené hodnoty vtok B, směr L
- P II Naměřené hodnoty vtok B, směr L
- P III Naměřené hodnoty vtok B, směr T
- P IV Naměřené hodnoty vtok B, směr T
- P V Naměřené hodnoty vtok C, směr LT
- P VI Naměřené hodnoty vtok C, směr LT
- P VII CD disk

PŘÍLOHA P I: NAMĚŘENÉ HODNOTY VTOK B, SMĚR L

TAH - vtok B, směr L												
A3W - 0% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
1	3	10,1	62,18	42,07	2349,54	5,52	2,86	2,05	0,57	0,41	1884,18	
2	3	10,1	74,39	26,49	2795,38	12,44	15,09	15,56	3,02	3,11	2253,95	
3	3	10,1	73,85	30,81	3049,11	11,6	13,02	13,66	2,61	2,73	2237,77	
4	3	10,1	74,59	29,88	3151,33	10,36	12,04	12,66	2,41	2,53	2260,09	
5	3	10,1	74,34	26,58	3170,32	10,59	12,15	12,21	2,43	2,44	2252,43	
6	3	10,1	73,65	30,97	3040,17	12,51	16,92	17,98	3,38	3,6	2231,63	
7	3	10,1	65,5	31,3	3002,91	6,02	3,37	2,06	0,67	0,41	1984,76	
8	3	10,1	73,7	31,08	3115,27	12,01	14,13	15,38	2,83	3,08	2233,07	
9	3	10,1	73,85	42,42	3264,45	11,54	12,16	13,08	2,43	2,62	2237,71	
10	3	10,1	74,06	25,75	3102,74	10,37	10,98	10,88	2,2	2,18	2244,02	
11	3	10,1	74,59	38,13	3084,3	10,83	14,77	15,99	2,95	3,2	2259,95	
12	3	10,1	74,63	29,07	2833,27	11,81	15,83	17,17	3,17	3,43	2261,36	

A3WG3 - 15% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
13	3	10,2	89,92	89,92	4455,94	5,53	3,5	3,5	0,7	0,7	2751,49	
14	3	10,1	91,42	91,42	4098,73	4,48	4	4	0,8	0,8	2769,92	
15	3	10,1	90,08	90,08	4108,98	4,53	4,12	4,12	0,82	0,82	2729,39	
16	3	10,1	88,06	88,06	3962,37	4,24	3,99	3,99	0,8	0,8	2668,17	
17	3	10,1	89,59	89,59	4078,53	4,29	4,11	4,11	0,82	0,82	2714,5	
18	3	10,2	90,59	89,56	4121,35	4,41	3,92	3,94	0,78	0,79	2772,19	
19	3	10,2	88,18	88,18	4210,76	4,78	3,15	3,15	0,63	0,63	2698,2	
20	3	10,2	88,9	88,9	3962,96	4,31	3,69	3,69	0,74	0,74	2720,47	
21	3	10,1	89,41	89,41	4139,63	4,43	3,88	3,88	0,78	0,78	2709,08	
22	3	10,1	86,88	86,88	3785,68	4,02	3,52	3,52	0,71	0,71	2632,61	
23	3	10,1	89	89	4213,37	4,26	3,91	3,91	0,78	0,78	2696,75	
24	3	10,1	91,7	91,7	3953,62	4,41	4,02	4,02	0,8	0,8	2778,36	

A3WG5 - 25% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
25	3	10,1	97,21	97,21	6610,7	4,35	2,03	2,03	0,4	0,4	2945,5	
26	3	10,1	109,19	109,19	5785,96	3,99	2,72	2,72	0,54	0,54	3308,48	
27	3	10,1	111,33	111,33	5415,09	4,08	3,04	3,04	0,61	0,61	3373,42	
28	3	10,1	106,01	106,01	5674,27	3,58	2,67	2,67	0,53	0,53	3212,22	
29	3	10,1	111,73	111,73	5593,16	4,04	3,24	3,24	0,65	0,65	3385,56	
30	3	10,1	109,94	109,94	5573,47	4,02	3,01	3,01	0,6	0,6	3331,27	
31	3	10,1	95,7	95,7	8637,23	4,45	1,79	1,79	0,36	0,36	2899,68	
32	3	10,1	111,49	111,49	5598,45	4,15	3,06	3,06	0,61	0,61	3378,01	
33	3	10,1	110,05	110,05	5506,96	4,06	3,11	3,11	0,62	0,62	3334,5	
34	3	10,1	112,12	112,12	5699,69	4	3,15	3,15	0,63	0,63	3397,1	
35	3	10,1	111,5	111,5	6017,71	3,94	2,94	2,94	0,59	0,59	3378,39	
36	3	10,1	110,19	110,19	5489,47	4,01	2,87	2,87	0,58	0,58	3338,62	

PŘÍLOHA P II: NAMĚŘENÉ HODNOTY VTOK B, SMĚR L

TAH - vtok B, směr L												
A3WG6 - 30% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	37	3	10,2	98,28	98,24	6154,67	4,85	2,29	2,29	0,46	0,46	3007,3
	38	3	10,2	112,54	112,08	6227,01	4,64	3,39	3,47	0,68	0,69	3443,84
	39	3	10,1	114,49	113,14	6104,86	4,65	4,08	5,12	0,82	1,03	3469,06
	40	3	10,1	115,83	115,33	6295,08	4,63	4,25	4,58	0,85	0,92	3509,8
	41	3	10,1	116,26	114,62	6399,22	4,61	4,11	4,93	0,82	0,99	3522,67
	42	3	10,1	114,47	113,67	6144	4,65	3,83	4,32	0,77	0,87	3468,48
	43	3	10,1	90,08	89,86	9292,95	4,59	1,59	1,58	0,32	0,32	2729,36
	44	3	10,1	112,1	111,98	6166,08	4,48	3,34	3,36	0,67	0,67	3396,51
	45	3	10,1	114,3	113,06	6118,64	4,63	4,11	5,06	0,82	1,01	3463,3
	46	3	10,1	115,87	113,74	6135,69	4,61	3,93	4,68	0,78	0,93	3510,96
	47	3	10,1	116,06	115,29	6547,21	4,65	4,06	4,57	0,81	0,91	3516,73
48	3	10,1	114,89	114,41	6222,28	4,66	3,64	3,83	0,73	0,77	3481,21	

A3WG7 - 35% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	49	3	10,1	92,76	91,34	7411,6	4,48	1,71	1,7	0,34	0,34	2810,76
	50	3	10,1	117,49	117,06	6727,49	4,66	3,53	3,63	0,7	0,72	3559,87
	51	3	10,1	120,26	119,18	7118	4,62	4,01	4,98	0,8	1	3643,85
	52	3	10,1	120,57	119,99	7204,33	4,58	3,85	4,03	0,77	0,8	3653,28
	53	3	10,1	122,2	120,41	7245,79	4,54	3,85	3,93	0,77	0,79	3702,8
	54	3	10,1	120,04	118,77	7036,88	4,85	3,86	4,39	0,77	0,88	3637,19
	55	3	10,1	97,22	97,18	5767,84	4,65	2,09	2,09	0,42	0,42	2945,7
	56	3	10,1	117,85	116,08	6823,51	4,64	3,26	3,33	0,66	0,67	3570,71
	57	3	10,1	120,73	119,22	6635,31	4,66	3,85	4,5	0,77	0,9	3658,12
	58	3	10,1	120,22	119,35	7070,68	4,65	4,17	4,65	0,83	0,93	3642,54
	59	3	10,1	120,8	119,52	7125,73	4,62	4,25	5,17	0,85	1,04	3660,18
60	3	10,1	120,91	120,12	6785,07	4,88	3,87	4,29	0,77	0,86	3663,65	

A3WG10 - 50% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	61	3	10,1	92,3	89,84	10484,73	3,84	1,31	1,28	0,26	0,26	2796,66
	62	3	10,1	123,12	122,46	8726,14	4,83	3,34	3,37	0,67	0,68	3730,57
	63	3	10,1	122,51	119,6	8232,63	4,66	3,73	3,84	0,75	0,77	3711,93
	64	3	10,1	122,33	121,74	8731,55	4,35	3,56	3,63	0,71	0,72	3706,51
	65	3	10,1	120,54	120,35	8642,45	4,28	3,58	3,6	0,72	0,72	3652,25
	66	3	10,2	119,02	118,92	8347,62	4,46	3,32	3,35	0,66	0,67	3641,89
	67	3	10,2	107,16	106,95	9169,26	4,51	1,85	1,86	0,37	0,37	3279,18
	68	3	10,2	122,71	122,33	9382,97	4,66	2,84	2,86	0,57	0,57	3754,83
	69	3	10,2	119,43	119,26	8324,07	4,68	3,44	3,47	0,69	0,7	3654,45
	70	3	10,2	120,21	115,41	8439,33	4,44	4,1	4,17	0,82	0,84	3678,58
	71	3	10,1	120,41	119,72	8544,91	4,29	3,46	3,54	0,69	0,71	3648,48
72	3	10,1	120,2	119,72	8134,84	4,51	3,52	3,55	0,7	0,71	3642,06	

PŘÍLOHA P III: NAMĚŘENÉ HODNOTY VTOK B, SMĚR T

TAH - vtok B, směr T												
A3W - 0% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	1	3	10,1	67,68	36,81	2784,99	7,24	6,58	7,25	1,32	1,45	2050,64
2	3	10,1	71,68	34,41	2856,62	13,73	23,95	56,51	4,79	11,3	2172,03	
3	3	10,1	70,99	34,11	2919,38	15,15	24,05	60,46	4,81	12,09	2151,05	
4	3	10,2	70,48	34,95	2827,93	15,16	23,24	63,43	4,65	12,69	2156,61	
5	3	10,2	71,32	35,72	2903,03	15,16	23,33	64,23	4,67	12,85	2182,43	
6	3	10,2	70,93	34,9	2794,71	16,17	24,38	56,33	4,88	11,27	2170,55	
7	3	10,1	69,05	13,81	3233,47	9,6	11,22	9,46	2,24	1,89	2092,24	
8	3	10,1	71,91	30,19	2842,08	13,94	23,61	52,27	4,72	10,45	2178,93	
9	3	10,1	71,01	37,54	2907,67	15,19	24,33	52,37	4,87	10,47	2151,74	
10	3	10,1	71,07	31,85	2832,13	14,95	23,74	55,97	4,75	11,19	2153,45	
11	3	10,1	72,2	36,87	2916,26	14,73	22,21	32,73	4,44	6,55	2187,61	
12	3	10,1	71,37	33,63	2794,05	16,38	24,73	72,74	4,95	14,55	2162,45	

A3WG3 - 15% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	13	3	10,1	79,79	79,79	4239,83	4,68	2,28	2,28	0,46	0,46	2417,76
14	3	10,1	95,39	95,39	4326,25	4,49	3,55	3,55	0,71	0,71	2890,21	
15	3	10,1	93,65	93,65	4376,8	4,2	3,17	3,17	0,64	0,64	2837,62	
16	3	10,1	93,26	93,26	4275,46	4,17	3,35	3,35	0,67	0,67	2825,77	
17	3	10,1	93,53	93,53	4431,05	4,12	3,28	3,28	0,66	0,66	2833,98	
18	3	10,1	88,29	88,29	4226,74	4,19	3,01	3,01	0,6	0,6	2675,13	
19	3	10,1	83,39	83,39	4643,81	4,95	2,46	2,46	0,49	0,49	2526,62	
20	3	10,1	93,76	93,76	4240,14	4,38	3,4	3,4	0,68	0,68	2840,81	
21	3	10,1	94,95	94,95	4404,3	4,31	3,39	3,39	0,68	0,68	2876,99	
22	3	10,1	94,4	94,4	4235,67	4,24	3,4	3,4	0,68	0,68	2860,38	
23	3	10,1	93,29	93,29	4377,87	4,2	3,3	3,3	0,66	0,66	2826,74	
24	3	10,1	89,43	89,43	4115,76	4,22	3,06	3,06	0,61	0,61	2709,7	

A3WG5 - 25% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	25	3	10,1	91,89	91,89	5063,21	4,61	2,39	2,39	0,48	0,48	2784,3
26	3	10,1	102,18	102,18	5239,33	4,09	2,79	2,79	0,56	0,56	3096,05	
27	3	10,1	100,91	100,91	4930,27	3,8	2,71	2,71	0,54	0,54	3057,47	
28	3	10,1	102,43	102,43	5319,08	3,89	2,79	2,79	0,56	0,56	3103,64	
29	3	10,1	97,36	97,36	5405,44	3,61	2,44	2,44	0,49	0,49	2949,88	
30	3	10,1	93,39	93,39	5222,65	3,76	2,44	2,44	0,49	0,49	2829,79	
31	3	10,1	88,29	88,29	5516,6	4,65	2,08	2,08	0,42	0,42	2675,17	
32	3	10,1	100,09	100,09	5135,53	3,94	2,74	2,74	0,55	0,55	3032,65	
33	3	10,1	100,9	100,9	5103,43	3,83	2,8	2,8	0,56	0,56	3057,36	
34	3	10,1	100,33	100,33	4982,76	3,76	2,75	2,75	0,55	0,55	3040,06	
35	3	10,1	95,96	95,96	5182,61	3,55	2,47	2,47	0,49	0,49	2907,48	
36	3	10,1	93,67	93,67	4957,21	3,74	2,43	2,43	0,49	0,49	2838,17	

PŘÍLOHA P IV: NAMĚŘENÉ HODNOTY VTOK B, SMĚR T

TAH - vtok B, směr T												
A3WG6 - 30% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	37	3	10,1	101,56	101,34	5815,4	5,3	3,12	3,14	0,62	0,63	3077,21
	38	3	10,1	103,02	102,48	5486,83	4,78	4,07	4,4	0,81	0,88	3121,39
	39	3	10,1	105,37	104,92	5511,56	4,6	3,76	3,98	0,75	0,8	3192,69
	40	3	10,1	104,25	104,07	5626,94	4,54	3,57	3,64	0,71	0,73	3158,84
	41	3	10,1	102,24	102,07	5592,64	4,46	3,3	3,34	0,66	0,67	3097,91
	42	3	10,1	98,68	96,31	5319,39	4,68	3,07	3,1	0,61	0,62	2989,94
	43	3	10,1	100,43	100,36	6296,61	5,17	2,96	2,98	0,59	0,59	3043,15
	44	3	10,1	103,18	102,54	5316,31	4,86	3,98	4,32	0,8	0,86	3126,23
45	3	10,1	104,16	103,98	5666,47	4,71	3,59	3,64	0,72	0,73	3155,99	
46	3	10,1	103,51	100,53	5240,34	4,47	3,55	3,59	0,71	0,72	3136,32	
47	3	10,1	102,94	102,37	5343,75	4,62	3,39	3,44	0,68	0,69	3119,23	
48	3	10,1	98,93	98,54	5428,23	4,77	3,1	3,15	0,62	0,63	2997,49	

A3WG7 - 35% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	49	3	10,1	108,05	107,88	6504,89	5,59	3,06	3,08	0,61	0,62	3273,85
	50	3	10,1	111,99	111,46	6298,63	4,82	3,76	3,96	0,75	0,79	3393,28
	51	3	10,1	109,89	109,81	6403,49	4,43	3,03	3,05	0,61	0,61	3329,77
	52	3	10,1	110,64	110,56	6615,05	4,27	2,85	2,86	0,57	0,57	3352,26
	53	3	10,1	102,71	102,69	6359,37	4,06	2,68	2,69	0,54	0,54	3112,16
	54	3	10,1	102,45	102,17	5985,16	4,74	2,72	2,74	0,55	0,55	3104,23
	55	3	10,1	102,28	102,02	6115,77	5,06	2,73	2,74	0,54	0,55	3098,94
	56	3	10,1	110,83	110,41	6198,98	4,83	3,67	3,81	0,73	0,76	3358,1
57	3	10,1	110,81	110,63	6818,81	4,48	2,88	2,91	0,57	0,58	3357,58	
58	3	10,1	110,55	110,42	6089,14	4,48	3,19	3,22	0,64	0,65	3349,79	
59	3	10,1	105,26	105,14	6691,68	4,32	2,87	2,88	0,57	0,58	3189,29	
60	3	10,1	99,56	99,27	6159,7	4,15	2,32	2,33	0,47	0,47	3016,72	

A3WG10 - 50% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	61	3	10,1	109,51	108,75	10738,37	4,55	1,35	1,35	0,27	0,27	3318,14
	62	3	10,1	123,68	123,56	9388,07	4,16	2,2	2,21	0,44	0,44	3747,54
	63	3	10,1	126,19	126,1	8807,79	3,87	1,78	1,79	0,36	0,36	3823,61
	64	3	10,1	123,6	123,42	10043,77	3,77	1,79	1,8	0,36	0,36	3744,96
	65	3	10,1	120,74	120,61	10016,33	3,74	1,82	1,82	0,37	0,37	3658,38
	66	3	10,1	117,7	117,62	8806,97	4,13	2,09	2,09	0,42	0,42	3566,31
	67	3	10,1	95,81	94,46	9758,45	4,23	1,27	1,26	0,25	0,25	2902,91
	68	3	10,1	129,1	128,82	9759,7	4,26	2,03	2,04	0,41	0,41	3911,67
69	3	10,1	118,24	117,96	9277,74	3,73	1,74	1,75	0,35	0,35	3582,61	
70	3	10,1	115,02	114,76	9394,81	3,64	1,77	1,77	0,35	0,35	3485,25	
71	3	10,1	119,19	119,13	9556,83	4,03	1,93	1,93	0,39	0,39	3611,42	
72	3	10,1	114,14	114,14	9515,67	3,55	1,86	1,86	0,37	0,37	3458,48	

PŘÍLOHA P V: NAMĚŘENÉ HODNOTY VTOK C, SMĚR LT

TAH - vtok C, směr LT												
A3W - 0% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
1	3	10,2	68,76	41,15	2907,44	16,64	24,82	63,74	4,96	12,75	2104,07	
2	3	10,2	68,77	45,53	2835,57	15,17	23,04	54,61	4,61	10,92	2104,28	
3	3	10,1	70,94	31,75	2685,18	14	23,4	49,56	4,68	9,91	2149,46	
4	3	10,1	73,29	33,61	3042,28	15,39	18,42	23,02	3,68	4,6	2220,78	
5	3	10,1	71,95	26,86	2903,05	14,02	23,04	45,66	4,61	9,13	2179,95	
6	3	10,2	71,77	30,65	2849,28	16,4	25,72	56,72	5,14	11,35	2196,12	
7	3	10,2	70,38	30,47	2841,18	16,4	24,69	55,81	4,94	11,16	2153,65	
8	3	10,2	69,93	31,46	2813,01	15,2	23	53,08	4,6	10,62	2139,85	
9	3	10,2	69,07	26,14	2866,11	13,73	23,32	59	4,66	11,8	2113,69	
10	3	10,1	73,66	43,08	3082,91	14,99	18,76	37,05	3,75	7,41	2231,83	
11	3	10,1	72,52	25,97	3052,57	14,67	22,91	49,32	4,58	9,86	2197,29	
12	3	10,2	71,55	34,41	2847,29	14,94	23,68	55,93	4,73	11,19	2189,36	

A3WG3 - 15% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
13	3	10,2	102,1	102,1	5010,82	4,22	2,94	2,94	0,59	0,59	3124,28	
14	3	10,2	90,25	90,25	4570,43	3,97	2,56	2,56	0,51	0,51	2761,71	
15	3	10,2	87,67	87,67	4235,06	4,17	2,8	2,8	0,56	0,56	2682,67	
16	3	10,1	77,64	77,64	4037,71	3,41	2,29	2,29	0,46	0,46	2352,62	
17	3	10,1	86,3	86,3	4325,78	3,98	2,7	2,7	0,54	0,54	2614,8	
18	3	10,1	88,64	88,64	4475,92	3,93	2,59	2,59	0,52	0,52	2685,9	
19	3	10,1	95,53	95,53	4874,72	3,69	2,49	2,49	0,5	0,5	2894,65	
20	3	10,2	90,55	90,55	4449,06	3,82	2,56	2,56	0,51	0,51	2770,91	
21	3	10,1	87,06	87,06	4385,84	4,07	2,7	2,7	0,54	0,54	2637,94	
22	3	10,1	69,36	69,36	3894,24	2,9	1,9	1,9	0,38	0,38	2101,67	
23	3	10,1	85,92	85,92	4438,59	3,89	2,59	2,59	0,52	0,52	2603,33	
24	3	10,1	90,35	90,35	4347,94	3,99	2,69	2,69	0,54	0,54	2737,54	

A3WG5 - 25% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
25	3	10,2	116,27	116,27	6085,49	3,92	2,51	2,51	0,5	0,5	3557,79	
26	3	10,2	101	101	5592,47	3,66	2,18	2,18	0,44	0,44	3090,64	
27	3	10,1	100,44	100,44	5460,56	3,82	2,46	2,46	0,49	0,49	3043,29	
28	3	10,1	97,09	97,09	5121,18	3,67	2,37	2,37	0,47	0,47	2941,86	
29	3	10,1	97,56	97,56	5151,15	3,69	2,36	2,36	0,47	0,47	2955,98	
30	3	10,1	97,97	97,97	5102,49	3,61	2,12	2,12	0,42	0,42	2968,61	
31	3	10,1	114,78	114,78	6132,52	3,81	2,29	2,29	0,46	0,46	3477,86	
32	3	10,1	98,78	98,78	5755,12	3,53	2	2	0,4	0,4	2993,16	
33	3	10,1	96,58	96,58	5381,3	3,58	2,32	2,32	0,46	0,46	2926,52	
34	3	10,1	101,42	101,42	5279,57	3,93	2,66	2,66	0,53	0,53	3072,92	
35	3	10,1	100,21	100,21	5686,31	3,85	2,27	2,27	0,46	0,46	3036,49	
36	3	10,1	101,61	101,61	5414,92	3,8	2,42	2,42	0,49	0,49	3078,86	

PŘÍLOHA P VI: NAMĚŘENÉ HODNOTY VTOK C, SMĚR LT

TAH - vtok C, směr LT												
A3WG6 - 30% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	37	3	10,2	120,28	120,28	6118,65	4,25	2,76	2,76	0,55	0,55	3680,46
	38	3	10,2	106,2	106	6160,66	4,4	2,54	2,57	0,51	0,51	3249,67
	39	3	10,1	104,84	104,45	5555,45	4,85	2,99	3,09	0,6	0,62	3208,06
	40	3	10,1	104,62	102,58	5450,43	4,8	3,28	3,31	0,66	0,66	3170,02
	41	3	10,1	103,84	103,68	5786,28	4,77	2,99	3,02	0,6	0,61	3146,5
	42	3	10,1	105,61	105,07	5713,38	4,64	2,55	2,59	0,51	0,52	3200,09
	43	3	10,1	127,96	127,92	6953,02	4,6	3,13	3,15	0,63	0,63	3877,11
	44	3	10,1	112,24	112,23	6290,11	4,66	2,77	2,78	0,56	0,56	3400,95
	45	3	10,1	108,23	107,99	6236,71	4,77	2,89	2,93	0,58	0,59	3279,35
	46	3	10,1	107,36	106,85	5803,81	4,84	3,38	3,48	0,68	0,7	3253,11
	47	3	10,1	107,5	107,01	5921,99	4,84	3,25	3,32	0,65	0,66	3257,36
	48	3	10,1	107,5	107,5	6346,97	4,5	2,64	2,64	0,53	0,53	3257,12

A3WG7 - 35% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	49	3	10,2	134,79	134,29	7335,05	4,61	2,97	3,01	0,59	0,6	4124,63
	50	3	10,1	113,67	113,48	6578,54	4,38	2,48	2,49	0,49	0,5	3444,11
	51	3	10,1	111,67	111,31	6792,57	4,64	2,82	2,87	0,56	0,57	3383,7
	52	3	10,1	110,81	110,63	6572,35	4,64	3,08	3,16	0,61	0,63	3357,53
	53	3	10,1	111,54	110,97	6750,87	4,72	3,1	3,15	0,62	0,63	3379,65
	54	3	10,1	113,95	113,77	7239,44	4,56	2,67	2,69	0,53	0,53	3452,82
	55	3	10,2	131,68	131,66	7777,23	4,4	2,84	2,85	0,57	0,57	4029,34
	56	3	10,2	111,52	111,44	6888,15	4,35	2,38	2,38	0,47	0,48	3412,45
	57	3	10,1	108,87	107,84	6800,21	4,63	2,59	2,67	0,52	0,53	3331,32
	58	3	10,1	112,9	112,89	6667,1	4,62	3,19	3,2	0,64	0,64	3420,95
	59	3	10,1	110,16	109,44	6359,73	4,76	3,11	3,19	0,62	0,64	3337,91
	60	3	10,1	112,09	111,7	6868,11	4,5	2,48	2,51	0,5	0,5	3396,43

A3WG10 - 50% skla		a0	b0	Rm	RB	E-Modulus	Nominal strain-Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Force-Rm
	Nr	mm	mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	%	%	Mm	mm	N
	61	3	10,1	128,51	128,27	10716,73	3,62	1,69	1,69	0,34	0,34	3893,95
	62	3	10,1	118,47	117,42	9196,45	4,19	1,74	1,75	0,35	0,35	3589,51
	63	3	10,1	110,8	109,34	9133,81	4,13	1,94	1,95	0,39	0,39	3357,32
	64	3	10,1	112,95	112,62	8269,2	4,38	2,53	2,54	0,51	0,51	3422,29
	65	3	10,1	115,38	115,18	8071,59	4,51	2,88	2,91	0,58	0,58	3495,87
	66	3	10,1	114,25	114,17	8658,46	4,19	1,89	1,89	0,38	0,38	3461,81
	67	3	10,1	122,23	122,17	10471,76	3,67	1,56	1,56	0,31	0,32	3703,54
	68	3	10,1	116,99	116,73	9532,56	3,9	1,8	1,8	0,36	0,36	3544,72
	69	3	10,1	111,82	111,03	8869,97	4,39	2,1	2,12	0,42	0,43	3388,26
	70	3	10,1	108,98	108,69	8594,87	3,89	2,26	2,27	0,45	0,46	3301,99
	71	3	10,1	113,01	112,71	8825,44	4,22	2,29	2,3	0,46	0,46	3424,35
	72	3	10,1	113,93	113,67	9136,7	4,33	1,93	1,93	0,39	0,39	3452,13