

# **Vliv umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti polymerního dílu**

Bc. Ondřej Petr

---

Diplomová práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej PETR**  
Osobní číslo: **T09698**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Vliv umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti polymerního dílu**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.**
- 2. Nachystejte zkušební tělesa.**
- 3. Provedte mechanické zkoušky.**
- 4. Vyhodnoťte zjištěné výsledky.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího diplomové práce.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Štěpán Šanda**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**14. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce:

**13. května 2011**

Ve Zlíně dne 4. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: PETR, ONDŘEJ Bc.

Obor: KTZ

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 2.5.2011

Petr Ondřej Bc.

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

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

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

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

<sup>21</sup> *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

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

<sup>22</sup> *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Tato práce je zaměřena na zkoumání vlivu umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti polymerního dílu. Polymerní díl byl vyroben technologií vstřikování. Jednotlivé polymerní díly byly vstřikovány z různých vtokových ústí. U zkušebních těles vyrobených z těchto dílů byla provedena zkouška tahem, ohybem a zkouška Charpy. Přitom bylo zjišťováno, jak se projeví umístění vtokového ústí na vlastnostech výrobku.

Klíčová slova: Vstřikování, Mechanické vlastnosti, Vtokový systém

## **ABSTRACT**

This work is aimed on a examining influence of gate location on mechanical properties of polymer part. Polymer part was made by injection molding technology. Each polymer parts were injected from different gates. For each test specimen made from this parts was performed a tensile test, a bend test and a Charpy test. It was found out what effect has a gate location on part properties.

Keywords: Injection molding, Mechanical properties, Runner system

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

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 VSTUPNÍ KONTROLA POLYMERŮ .....	12
1.2 PŘÍPRAVA POLYMERŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM .....	12
1.2.1 Sušení termoplastů .....	13
1.2.2 Využití recyklátu .....	13
1.3 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	14
1.4 ZÁKLADNÍ PŘEDPOKLADY PRO VSTŘIKOVÁNÍ DÍLU S DEFINOVANOU JAKOSTÍ .....	15
1.5 VSTŘIKOVACÍ STROJ .....	15
1.5.1 Vstřikovací jednotka .....	16
1.5.2 Uzavírací jednotka .....	16
1.5.3 Řídící a regulační jednotka.....	17
1.6 VSTŘIKOVACÍ FORMA .....	17
1.6.1 Tok taveniny ve formě .....	18
1.6.2 Vtokový systém.....	19
1.6.3 Temperační systém.....	25
1.6.4 Vyhazovací systém.....	26
<b>2 POLYMERY</b> .....	<b>27</b>
2.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ .....	27
2.2 TERMOPLASTY .....	28
2.3 POLYAMIDY .....	28
2.3.1 Odolnost polyamidů .....	29
2.3.2 Zpracování polyamidů .....	29
2.3.3 Použití jednotlivých druhů polyamidů .....	30
<b>3 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ A DĚLENÍ PLASTŮ</b> .....	<b>31</b>
3.1 OBRÁBĚNÍ PLASTŮ .....	31
3.2 DĚLENÍ MATERIÁLŮ .....	31
3.2.1 Dělení materiálu řezáním .....	32
3.2.2 Dělení materiálu rozbrušováním .....	32
3.2.3 Dělení materiálu stříháním .....	32
3.2.4 Dělení pomocí nekonvenčních technologií.....	33
<b>4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY</b> .....	<b>34</b>
4.1 STATICKÉ ZKOUŠKY .....	34
4.1.1 Tahová zkouška.....	34
4.1.2 Zkouška ohybem .....	35
4.2 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY .....	36
4.2.1 Metoda Charpy .....	36
<b>5 ZAVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>38</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>39</b>
<b>6 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE</b> .....	<b>40</b>
<b>7 ZKUŠEBNÍ TĚLESA</b> .....	<b>41</b>



7.1	MATERIÁL TĚLES .....	41
7.2	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	42
7.2.1	Vstříkování .....	42
7.2.2	Řezání zkušebních těles .....	43
7.2.3	Značení zkušebních těles.....	44
7.3	OKRAJOVÉ PODMÍNKY MECHANICKÝCH ZKOUŠEK .....	47
7.3.1	Tahová zkouška.....	47
7.3.2	Zkouška ohybem .....	49
7.3.3	Rázová houževnatost.....	50
<b>8</b>	<b>STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>51</b>
8.1	OPTICKÝ TEST ODLEHLÝCH HODNOT .....	51
8.2	BOX-PLOTOVÉ DIAGRAMY.....	52
8.3	TESTOVACÍ STATISTIKY .....	53
<b>9</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>55</b>
9.1	TAHOVÁ ZKOUŠKA .....	55
9.1.1	Modul pružnosti E.....	55
9.1.2	Mez pevnosti R <sub>m</sub> .....	57
9.1.3	Zhodnocení tahové zkoušky.....	58
9.2	OHYBOVÁ ZKOUŠKA.....	59
9.2.1	Modul pružnosti E.....	59
9.2.2	Mez pevnosti R <sub>m</sub> .....	60
9.2.3	Zhodnocení ohybové zkoušky.....	62
9.3	ZKOUŠKA CHARPY .....	63
9.3.1	Rázová houževnatost A <sub>m</sub> .....	63
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>73</b>

## ÚVOD

V současné době je na trhu s plasty několik tisíc různých druhů plastů. V technické praxi však má výrazné uplatnění jen několik desítek druhů plastů. Sortiment plastů se neustále zvětšuje, a to v podstatě dvěma směry, kdy jednou cestou je výroba stále nových polymerů a druhou cestou je modifikace dosavadních polymerů. Toto zvyšování počtu materiálů má své výhody pro konstrukci a výrobu dílů z plastů, aniž by došlo k výrazné změně ceny. [16]

Při výběru vhodného plastu je třeba vedle vlastností a ceny vzít v úvahu i jeho zpracovatelnost, která výrazně ovlivňuje mechanické i fyzikální vlastnosti konečného výrobku, ale i technologické podmínky, konstrukční řešení nástroje a volbu stroje. Vlastnosti a odolnost polymerů jsou v podstatě dány jejich chemickou a fyzikální strukturou, ale mohou být do značné míry ovlivněny i zpracovatelským procesem. Při výběr vhodného materiálu je třeba znát jeho materiálové charakteristiky. Tyto charakteristiky se stanovují pomocí nejrůznějších zkoušek materiálu. [16]

Ke zpracování polymerních materiálů se používá řada technologií. Jednou z nich je technologie vstřikování. Vstřikováním se vyrábí výrobky s charakterem konečného výrobku nebo polotovary pro další zkompletování samostatného celku. Výrobky zhotovené touto technologií se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. [16]

U většiny vstřikovaných výrobků je potřeba odstranit vtokový systém - nejčastěji obráběním. Stejným způsobem se některé vstřikované výrobky dělí na více kusů. Při obrábění plastů je nutné brát v úvahu jejich specifické vlastnosti. [9]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování patří k nejrozšířenějším a nejdůležitějším technologiím zpracování termoplastů. Jedná se o přetržitý, cyklický proces. Se vstřikovanými výrobky se setkáváme prakticky ve všech oblastech lidské činnosti. Výrobky mohou mít povahu samostatného dílce nebo po zkompletování se stávají součástí většího celku. [11]

Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Mezi výhody této technologie patří možnost výroby velmi složitých tvarových dílců a vysoké využití zpracovávaného materiálu. Mezi nevýhody této technologie lze zařadit vysokou cenu strojního zařízení a vstřikovací formy. Tato technologie je tudíž vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu. [11]

Technologií vstřikování lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů, v omezené míře se vstřikují některé reaktoplasty a elastomery. [11]

## 1.1 Vstupní kontrola polymerů

Polymery pro vstřikování se dodávají granulované v pytlích nebo jinak chráněné proti navlhnutí. Pro omezení zpracovatelských a aplikačních potíží je vhodné provádět výstupní kontrolu. [1]

Vstupní kontrola stanovuje [1]:

- chemicko-analytické složení
- mechanické vlastnosti
- fyzikální vlastnosti
- ostatní hodnocení

Některé veličiny, které jsou obtížně zjistitelné nebo vyžadují nákladné přístrojové vybavení, mohou stanovit specializovaná pracoviště. [1]

## 1.2 Příprava polymerů před vstřikováním

Před zpracováním polymerů vstřikováním se materiál upravuje v souladu s technologickým postupem, určeným na konkrétní výrobek. Obvykle to bývá sušení granulátu, mísení s přísadami, přidávkem recyklátu, barvení granulátu, míchání s nadouvadlem apod. [1]

### 1.2.1 Sušení termoplastů

Charakteristickou vlastností téměř všech termoplastů je větší nebo menší schopnost přijímat z okolního prostředí, ve kterém se nacházejí, nízkomolekulární látky nebo je do okolního prostředí uvolňovat. To se v největší míře týká vlhkosti, resp. obsahu vody v granulátu nebo výstřiku. [15]

Obsah vlhkosti v granulátu před zpracováním je při vstřikování velmi závažným problémem. Obsah vody způsobuje u výstřiků jak zhoršení mechanických vlastností, tak zejména povrchové vady na výstřiku. Mokrý materiál také může v plastikační komoře rychle degradovat. S obsahem vody ve výstřicích se mění jejich hmotnost a objem, čímž je nepříjemně ovlivňována jejich tvarová a rozměrová přesnost a stabilita rozměrů a tvarů. [15]

Z důvodů požadavků na jakost výstřiků se vlivu navlhavosti a nasákavosti před zpracováním granulátu bráníme jejich sušením. Materiály se dodávají v různých typech obalů - PE pytle, několikvrstvé papírové pytle, obaly s vrstvou nepropustnou pro vlhkost atd. [15]

Skutečný obsah vody v polymeru potom závisí na relativní vlhkosti a teplotě prostředí, v němž je materiál uskladněn. Je nutné dát pozor na teplotní změny při přemísťování granulátu. Při tomto přemístění obvykle dochází k vysrážení vlhkosti na povrchu granulátu. Tento jev závisí i na velikosti a tvaru granulátu. Materiály v práškové podobě navlhají mnohem více než granulát ve tvaru čoček, válečků apod. [15]

Někteří výrobci dodávají granuláty již vysušené, hermeticky uzavřené do příslušných obalů. V těchto případech, za předpokladu neporušenosti obalu, je možné materiály zpracovávat bez předsušení. [15]

K sušení granulátu před jejich zpracováním technologií vstřikování se používá celá řada více či méně vhodných postupů a zařízení, založených na sušení vzduchem. [15]

### 1.2.2 Využití recyklátu

Při vstřikování termoplastů lze vtokové systémy, vadné výstřiky a přetoky opětovně použít. V podstatě se jedná o termoplasty, které byly alespoň jednou podrobeny zpracovatelskému procesu. Většinou jde o materiál drcený (obvykle technologický odpad a vadné výstřiky) nebo drcený a regranulovaný materiál. [15]

Takto upravený materiál se smíchá s čistým granulátem a znovu se zpracuje. Přitom obvykle dochází ke snížení fyzikálních a mechanických vlastností. Míra snížení závisí na velikosti podílu drceného odpadu v původním granulátu. Pro transparentní a silně mecha-

nicky namáhané díly je použití recyklátu nevhodné. Při 15-30 % podílu recyklátu v granulátu mohou být vyráběny výstřiky bez podstatného vlivu na jeho vlastnosti. [1]

### 1.3 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus je tvořen sledem přesně specifikovaných úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož polymer prochází teplotním cyklem. [11]

Jednotlivé úseky vstřikovacího cyklu trvají různě dlouho a jsou mimo jiné ovlivněny např. geometrií výstřiku a technologickými podmínkami vstřikování. Za počátek vstřikovacího cyklu lze definovat okamžik odpovídající impulzu k uzavření vstřikovací formy. Po tomto impulzu se pohyblivá část formy přisune k pevné, forma se uzavře a uzamkne. [11]

Následuje přisun plastikační jednotky a začíná vstřikování taveniny do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává axiální pohyb a plní funkci pístu. Doba, během níž probíhá plnění dutiny formy, se nazývá doba plnění. Jakmile vstoupí tavenina do dutiny formy, začne ihned předávat teplo formě a chladne. [11]

Tento proces probíhá až do otevření dutiny formy a vyjmutí výstřiku. Během chlazení dochází ke smrštění a zmenšení objemu. Aby nedocházelo ke vzniku staženin je nutno zmenšování objemu kompenzovat dodatečným dotlačením taveniny formy do dutiny. Tento úsek cyklu se nazývá dotlak. Dotlak končí v době, kdy zatuhne vtokové ústí. [11]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus. [1]

Po ukončení dotlaku následuje odjezd plastikační jednotky a začíná doba plastikace nové dávky materiálu. Šnek se začne otáčet a pod násypkou nabírá novou dávku materiálu a plastikuje ji. [11]

Po dokončení chlazení se forma otevře a dojde k vyhození výstřiku. Poté následuje očištění formy a příprava formy na další cyklus. [11]

#### 1.4 Základní předpoklady pro vstřikování dílu s definovanou jakostí

Kvalita výstřiků z termoplastů je definována jejich stavem, v němž se nachází po vyhození z formy a relaxaci po dobu min. 16 hodin. [15]

Stav výstřiku je charakterizován [15]:

- stupněm a rozložením orientace makromolekul, u vyztužených materiálů i orientací vyztužujících plniv
- velikostí a rozložením vnitřního pnutí, jehož nejvýznamnější složku tvoří teplotní pnutí
- u částečně krystalických termoplastů obsahem krystalické fáze, velikostí a rozložením sférolitů

Stav výstřiku, resp. jeho jakost, závisí na všech faktorech, které se vstřikovacího procesu účastní. V první řadě to jsou [15]:

- vstřikovaný materiál (jeho typ, složení, aditivace, reologické vlastnosti atd.)
- vstřikovací stroj
- použitá periferní zařízení (sušení, doprava a dávkování materiálu, doprava a manipulace s výstřikem, temperace formy, ohřev horkých rozvodů atd.)
- tvar výstřiku a způsob jeho zaformování
- konstrukce a výroba formy
- technologické parametry vstřikování

#### 1.5 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj se skládá ze tří funkčních jednotek [11]:

- jednotka vstřikovací
- jednotka uzavírací
- jednotka řídicí a regulační

Nejdůležitější charakteristikou každého vstřikovacího stroje je vstřikovací kapacita a maximální uzavírací síla, a proto se uvádějí v označení typu stroje. [11]

### 1.5.1 Vstříkovací jednotka

Vstříkovací jednotky lze rozdělit podle způsobu plastikace [5]:

- bez předplastikace
- s předplastikací

Ve vstříkovací jednotce bez předplastikace probíhá plastikace v tavící komoře (pístová plastikace) nebo v pracovním válci (šneková plastikace). Použití pístových vstříkovacích strojů je v současné době zanedbatelné. Konstrukcí šnekových vstříkovacích strojů byly hlavní nedostatky strojů pístových vyřešeny. [5, 11]

Hlavním úkolem je zajistit přesné dávkování granulátu, jeho plastikaci, vstříknutí roztavené hmoty do dutiny formy, včetně zajištění optimálního dotlaku a dále zajistit veškeré mechanické pohyby související s těmito činnostmi. Jedná se o axiální pohyb šneku, rotační pohyb šneku, přisunutí a odsunutí tavící komory k formě a od ní. [11]

Posuv šneku, i celé jednotky se provádí pomocí hydraulického systému stroje. Velikost vstříkovacího tlaku a dopředná rychlost posuvu šneku při vstříkování se regulují množstvím a tlakem přiváděné hydraulické kapaliny. [11]

Vstříkovací jednotka je charakterizována vstříkovací a plastikační kapacitou. Vstříkovací kapacita představuje maximální objem taveniny (v  $\text{cm}^3$ ), kterou lze na daném stroji vstříknout z tavící komory do volného prostoru při jednom pracovním zdvihu. Plastikační kapacita je maximální množství taveniny v kilogramech, kterou je stroj schopen za jednu hodinu převést do plastického stavu. [11]

### 1.5.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zabezpečuje správnou činnost vstříkovací formy. Jedná se o dostatečně rychlé a přitom bezpečné zavření vstříkovací formy, zejména její pevné uzamknutí během vstříkování taveniny do dutiny formy, jakož i otevření formy a s tím spojené vyhození výstřiku z formy. [11]

Uzavírací jednotku charakterizuje maximální síla, kterou je zařízení schopno vyvinout na formu v uzamknutém stavu. Tato síla musí být větší než síla vyvolaná tlakem taveniny, jinak by během plnění formy v důsledku jejího pootevření vznikaly v dělicí rovině přetoky. [11]



V praxi se používají tyto uzavírací systémy [11]:

- hydraulický uzávěr
- hydraulický uzávěr s dvojitým ovládním a závorováním
- kloubové uzávěry
- kombinovaný uzávěr

### 1.5.3 Řídící a regulační jednotka

Řídící a regulační jednotka řídí poloautomatický nebo plně automatický provoz stroje a zajišťuje samočinné dodržování nastavených technologických parametrů, k nimž patří teplota taveniny, vstřikovací tlak, rychlost vstřikování, dotlak, teplota formy a časové rozčlenění vstřikovacího cyklu. [11]

Programovací část je umístěna v samostatné ovládací skříni, hydraulická část se nachází v loži stroje. Moderní stroje jsou běžně vybavovány počítači. Ty zaručují přesné dodržování nastavených technologických parametrů, které jsou zárukou minimálního kolísání vlastností výstřiků vyrobených v různých vstřikovacích cyklech. [11]

## 1.6 Vstřikovací forma

Hlavním úkolem vstřikovací formy je dát zpracovávanému polymeru požadovaný tvar a ochladit jej na takovou teplotu, při níž je výstřik již natolik tuhý, že může být bez nebezpečí deformace vyjmut z formy. [11]

Vstřikovací forma obsahuje díly vymežující tvarovou dutiny formy, temperační systém, vtokový systém, vyhazovací systém, vodící a upínací elementy. [11]

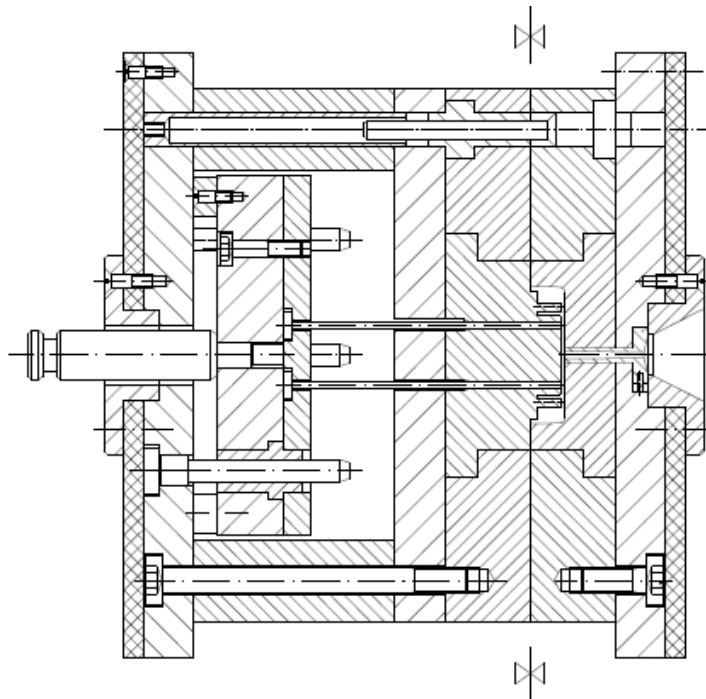
Mezi základní požadavky na vstřikovací formy patří: [11]

- vysoká přesnost a jakost funkčních ploch zhotovené dutiny a ostatních funkčních dílů
- maximální tuhost a pevnosti jednotlivých částí a celků, pro zachycení potřebných tlaků
- vhodné uspořádání vtokového, temperačního, vyhazovacího systému a také odvzdušnění apod.
- optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem a výrobou

Vstřikovací forma musí také splňovat požadavky: [1]

- Technické, zaručující její správnou funkci, při požadovaném počtu výstřiků, v náležité kvalitě a přesnosti.
- Ekonomické, které se vyznačují nízkou pořizovací cenou, snadnou a rychlou výrobou a vysokým využitím zpracovávaného polymeru.
- Společensko-estetické, splňující podmínku snadné obsluhy a manipulace, při splnění bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě i provozu.

Koncepce a uspořádání forem i způsob jejich výroby bývají rozdílné. Jsou vždy ovlivněny účelem a požadavky, kterým mají sloužit. [11]



Obr. 2. Vstřikovací forma. [1]

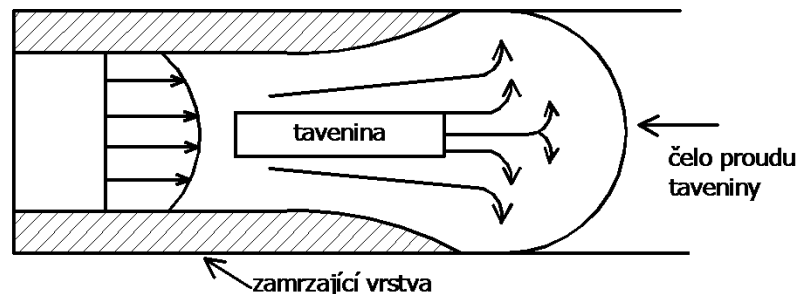
### 1.6.1 Tok taveniny ve formě

Určení tokových vlastností a znalost reologického chování je velmi důležité jak pro výrobce surovin, tak pro výrobce strojů a zpracovatele. [14]

Mechanismus toku polymerních tavenin je značně odlišný od toku nízkomolekulárních kapalin, které se chovají jako newtonské. Tok polymerních tavenin je neneutonský, pseudoplastický. K jeho popisu se používá empirických vztahů. Experimentálně se tokové vlastnosti konkrétních polymerů vyjadřují ve zpracovatelském rozsahu smykových napětí pomocí tokových křivek. [15]

Vtokový systém u vícenásobných forem musí být řešen tak, aby došlo k současnému zaplnění všech dutin formy. Vtokový systém musí být tzv. vyvážen. Při plnění dutiny formy nedochází ke skluzu taveniny po stěně, ale k tzv. valení taveniny. Příčinou tohoto jevu je nižší teplota dutiny formy a rozvodného systému vůči teplotě taveniny. Přitom dochází k tuhnutí taveniny na "studené" stěně. Pod tuhnoucí vrstvou směrem ke středu kanálu tavenina nadále teče. Takový tok nazýváme fontánovým tokem a je nejvhodnějším tokem pro plnění dutiny forem. [14, 15]

Toky taveniny ve složitých geometriích jsou velmi komplikovanou záležitostí. K řešení se používají simulační softwary, které umožňují řešit tyto problémy v předstihu. [14]



Obr. 3. Tok taveniny. [14]

### 1.6.2 Vtokový systém

Vtokový systém je systém, tvořený z vtokových a rozváděcích kanálů a vtokových ústí, které spojují tvarovou dutinu formy s plastikační jednotkou. Naplnění dutiny formy musí proběhnout v co nejkratším čase s minimálním odporem. [11]

Celkové uspořádání vtokového systému je dáno konstrukcí formy a její násobností. Při volbě vtokového systému se vychází z toho, že tavenina se vstříkuje velkou rychlostí do relativně studené dutiny formy a má ji bezpečně naplnit. Charakter výstřiku, způsob a ekonomika výroby určují, zda použít [11]:

- Studených vtokových systémů, vhodných pro jednodušší výstřiky a malosériovou výrobu.
- Horkých vtokových systémů, pro složitější výstřiky a hromadnou výrobu.

Funkční řešení vtokového systému má zabezpečit aby [11]:

- Dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší.

- Dráha toku ke všem tvářecím dutinám stejně dlouhá, a tím se zajistilo rovnovážné plnění.
- Průřez vtokových kanálů byl dostatečně velký. Vtokový kanál má mít při minimálním povrchu co největší průřez.
- Vyústění vtoku do dutiny, jeho průřez, poloha a počet, musí odpovídat účelnému naplnění a kvalitnímu spojení ochlazovaných proudů taveniny.
- U vícenásobných forem odstupňovat průřez kanálů, aby byla zachována stejná rychlost taveniny.

Zúžením rozváděcího kanálu se vytváří vtokové ústí. Výrobek musí vykazovat nejen požadované mechanické a fyzikální vlastnosti, ale nesmí obsahovat vysoká vnitřní pnutí, ani propadliny, deformace tvaru ani jiné povrchové vady. [11]

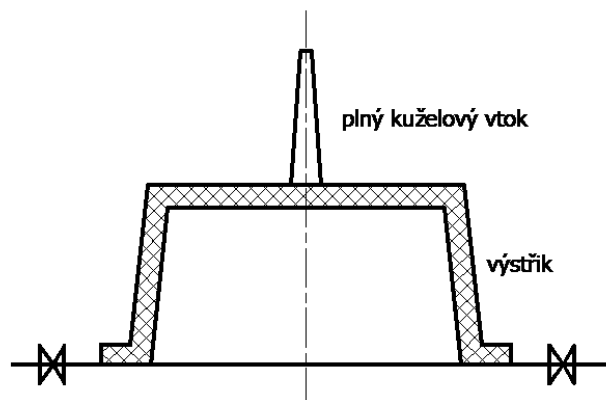
Správně navržené ústí vtoku musí zajistit [1, 11]:

- zvýšení rychlosti taveniny
- zajištění spolehlivého plnění dutiny formy
- umožnit působení dotlaku
- snadné oddělení vtoku od výstřiku
- zvýšení klesající teploty taveniny

Při navrhování vtokového systému lze vybírat z velkého počtu vtokových ústí podle požadavků na kvalitu a ekonomičnost výrobku. [6]

### Plný kuželový vtok

Jedná se o nejjednodušší a nejstarší typ vtokového ústí. Tento typ vtokového ústí má kruhový průřez, který se mírně rozšiřuje a největším průřezem je připojen k součásti. [6]



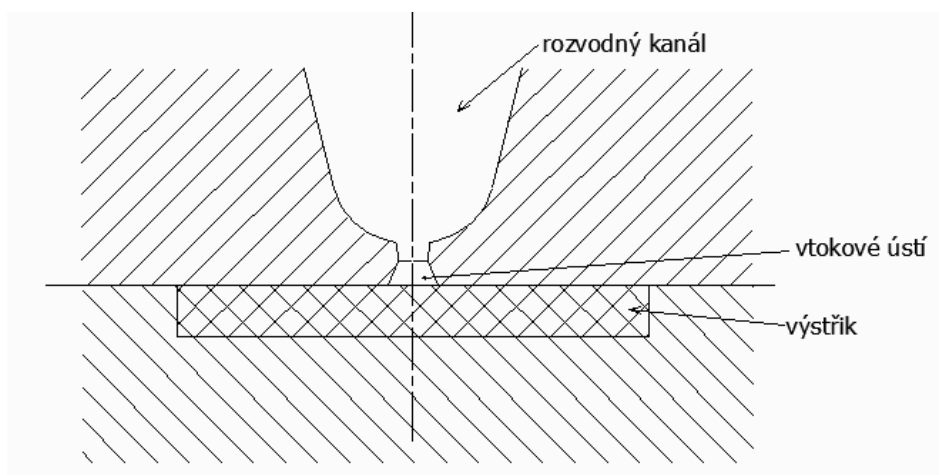
Obr. 4. Plný kuželový vtok. [6]

Plný kuželový vtok by měl být umístěn do největší tloušťky stěny výrobku. Za předpokladu správné velikosti je velmi účinný z hlediska působení dotlaku, protože vtok ve formě tuhne jako poslední. K nevýhodám patří velmi obtížné odstraňování vtokového zbytku, na výrobku zůstává viditelná stopa. [6]

### Bodový vtok

Tento typ vtokového ústí je nejznámějším typem zúženého vtokového ústí, bývá zpravidla kruhového průřezu. Může vycházet z vtokového kanálu, předkomůrky, nebo z rozváděcích kanálů. [11]

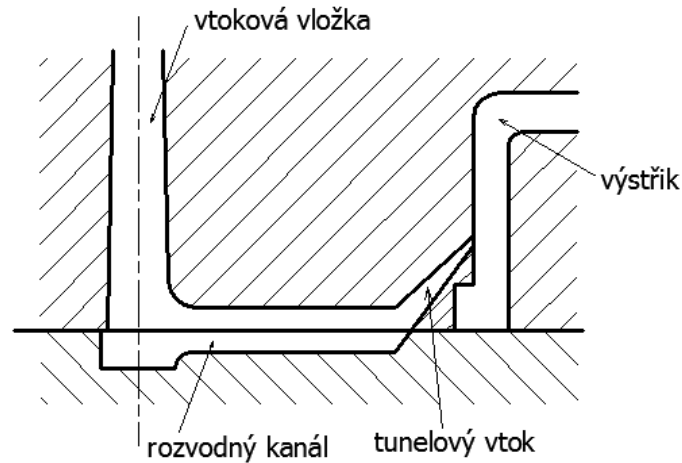
Bodový vtok umožňuje snadné oddělení vtokového zbytku přímo ve formě. Rozměry ústí bodového vtoku závisí na druhu vstřikovaného plastu a na tloušťce stěny výrobku. Tento vtok je vhodný i ze vzhledových důvodů, jelikož na výrobku zanechává jen nepatrnou stopu. Používá se především pro tenkostěnné výrobky. U méně tekoucích a plněných polymerů se pro větší výstřiky použití bodového vtoku nedoporučuje. [11]



Obr. 5. Bodový vtok v třídeskovém systému formy. [6]

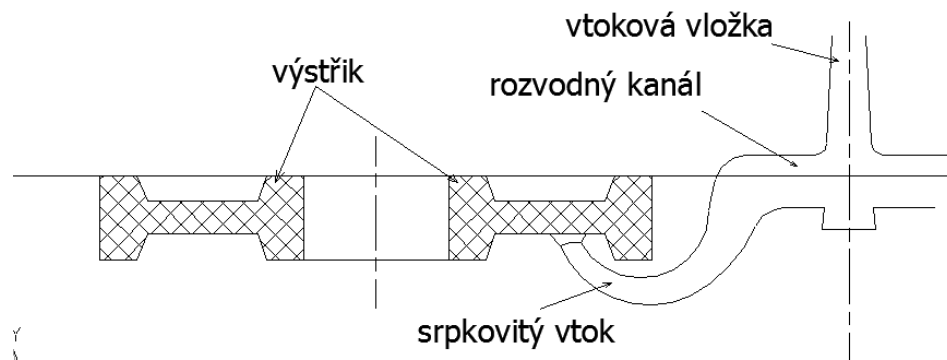
### Tunelový vtok

Tunelový vtok se používá především u mnohonásobných forem pro výrobu malých součástí a pro elastické materiály. Výstřik i vtokový systém leží ve stejné rovině, proto není nutné konstruovat složitou formu s více dělicími rovinami. Rozvodný kanál je spojen s dutinou formy pomocí kuželové díry - tunelového vtoku. Jedná se o zvláštní případ bodového vtoku. K výhodám tohoto typu ústí patří automatické odstranění vtokového ústí při otevírání formy. Nevýhodou tunelového vtoku je možnost jej použít jen pro jednoduché součásti, protože dochází k tlakovým ztrátám. K nevýhodám patří i poměrně náročný způsob výroby. [6]



Obr. 6. Tunelový vtok. [6]

Zvláštním typem tunelového vtoku je srpkovitý vtok, který umožňuje umístění vtokového ústí do nepohledové části výrobku. [6]



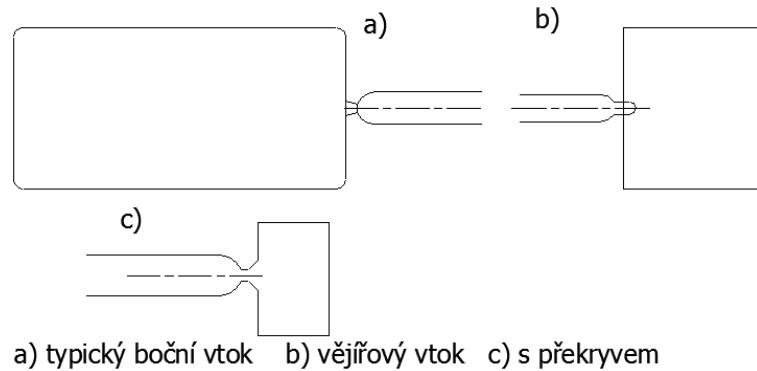
Obr. 7. Srpkovitý vtok. [6]

### Boční vtok

Boční vtok patří mezi nejpoužívanější typ zúženého vtokového ústí. Při odformování zůstává zpravidla výstřik od vtokového zbytku neoddělený. Vtokové ústí bývá napojeno na rozváděcí kanál zúžením průtokového průřezu. V tomto místě pak dochází ke zvýšení teploty taveniny. [1]

Pro zamezení volného vsřikování taveniny do dutiny formy se vtokové ústí upravuje do tvaru vějíře, nebo se používá bočních vtoků s překryvem. Stopa po vtoku zůstává na spodní straně výstřiku. [1]

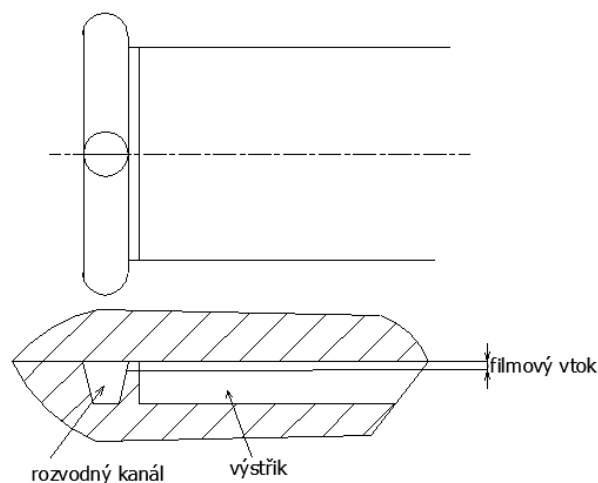
U aplikací vylučujících vznik oblasti velkých vnitřních pnutí, se používá nepřímých vtoků. Vtokové ústí je umístěno do nálitku, který se odstraní obráběním. [1]



Obr. 8. Boční vtok. [1]

### Filmový vtok

Patří mezi nejpoužívanější typ bočního vtokového ústí. Používá se k plnění dlouhých plochých výrobků, kruhových a trubicových dutin s vyššími požadavky na kvalitu. Od filmového vtokového ústí se vyžaduje dodržení rovinnosti, přímosti a přesnosti tvaru výstřiku, malé vnitřní pnutí, odstranění studených spojů, vyvážení tlaku, zmenšení rychlosti taveniny vstupující do formy a zmenšení odporu vtokového systému. Distribuce taveniny v jednotlivých místech není rovnoměrná. Tento problém je řešen proměnou tloušťkou vtokového ústí nebo rozváděcího kanálu. [1]

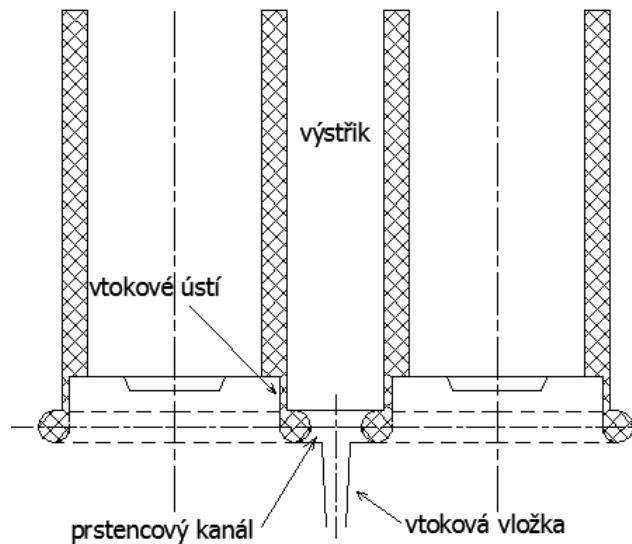


Obr. 9. Filmový vtok. [1]

### Prstencové vtokové ústí

Tento typ vtokového ústí se používá pro válcové díly, které vyžadují jádro. Tavenina prochází nejprve přes vtokovou vložku do prstencového kanálu, který je spojen s okrajem výstřiku. Po naplnění tohoto kanálu vstupuje tavenina přes okraj do dutiny formy. Ačkoliv u prstencového vtokového ústí dochází ke vzniku studeného spoje, jeho účinek je kompenzován umís-

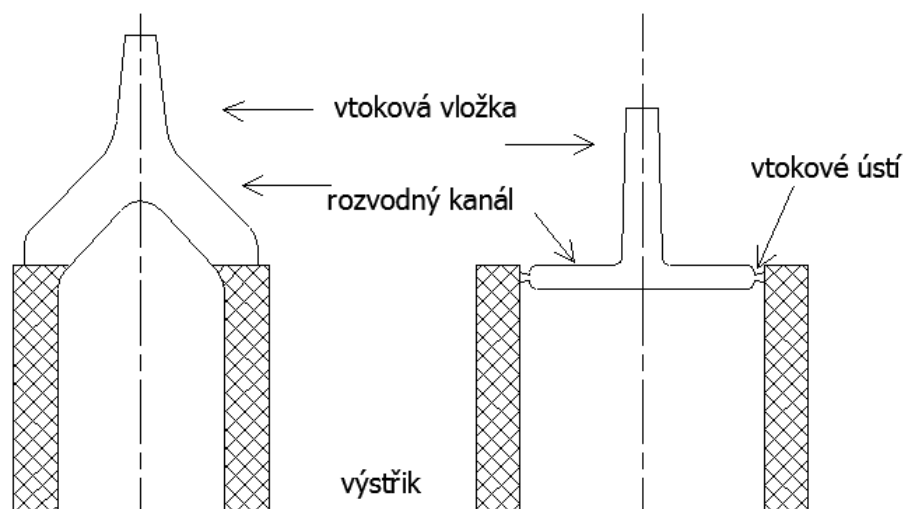
těním v místech, kde není viditelný. Mezi zvláštní výhody tohoto typu vtokového ústí patří možnost podpory jádra na obou koncích. To umožňuje zaformování relativně dlouhé válcové součásti se stejnou tloušťkou stěny. Rozměry prstencového vtokového ústí závisí na druhu polymeru, hmotnosti a rozměru výstřiku a délce toku taveniny. [6]



Obr. 10. Prstencové vtokové ústí. [6]

### Diskové vtokové ústí

Hlavní vtokový kanál tvoří klasický kuželový vtok, který se v patě kužele rozšiřuje na obvod vnitřního průměru výstřiku do tvaru disku nebo do tvaru deštníku. Používá se pro osově symetrické součásti s jádrem namontovaným pouze na jedné straně. Použitím tohoto typu vtokového ústí nedochází ke vzniku studeného spoje na výstřiku. [6, 11]

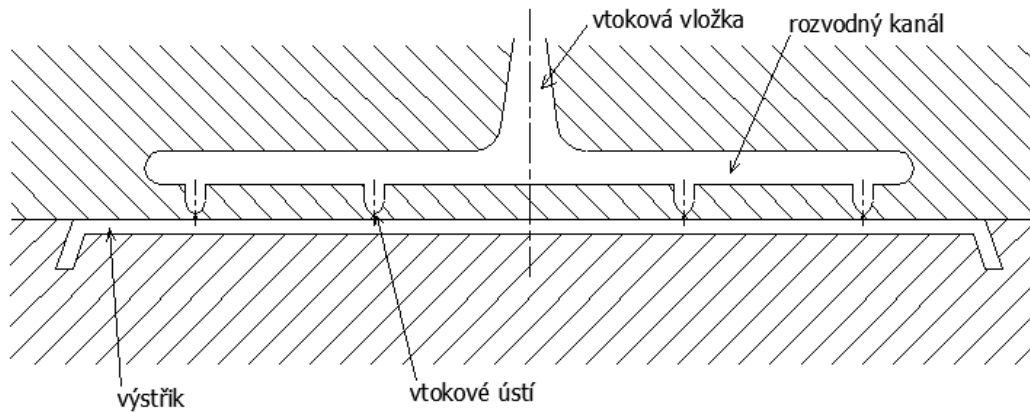


Obr. 11. Deštníkové a diskové vtokové ústí. [6]



### Plnění dutiny více vtoky

Plnění dutiny více vtoky se používá jen v případech, má-li dutina takový tvar, že jedním vtokem by naplnění bylo obtížné. Před použitím plnění dutiny více vtoky je nutné zvážit jejich vliv na odvzdušnění a vznik studených spojů. [1]



Obr. 12. Vícenásobný vtok. [1]

### 1.6.3 Temperační systém

Temperační systém slouží k udržení konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části. [11]

Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu, vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperační systém tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém vstřikovacím cyklu se forma ohřívá, proto je nutné přebytečné teplo odvést temperačním systémem formy. [11]

Nerovnoměrné rozložení teplot formy má za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. Forma s dostatečnou hmotností a dobře řešeným temperačním systémem má dobrou tepelnou stabilitu a malé nebezpečí deformace při vysokých vstřikovacích tlacích. [11]

Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými proudí vhodná kapalina, která udržuje teplotu temperovaných částí na požadované výši. Temperační systém bývá umístěn v pevné i pohyblivé části formy. [11]

#### 1.6.4 Vyhazovací systém

Po částečném ochlazení výstřiku ve formě následuje otevření formy a vyhození výstřiku z dutiny formy. K tomuto účelu ve formě slouží vyhazovací systém. Vysunutí výstřiku z formy musí proběhnout rovnoměrně, aby nedošlo k jeho trvalým deformacím. Při vyhazování hlubokých výstřiků je nutno počítat s odvzdušněním. [12]

Vyhazovací systém pracuje ve dvou fázích [11]:

- dopředný pohyb - vlastní vyhazování
- zpětný pohyb - návrat vyhazovacího systému do původní polohy

Nejčastějším způsobem vyhazování výstřiků je mechanický princip. Mechanické vyhazování může být realizováno pomocí [2]:

- vyhazovacích kolíků
- stírací desky nebo trubkových vyhazovačů
- šikmých vyhazovačů
- víceúrovňovým vyhazováním
- speciálního vyhazování

Vedle mechanického vyhazování lze použít také hydraulického a pneumatického vyhazování. [2]

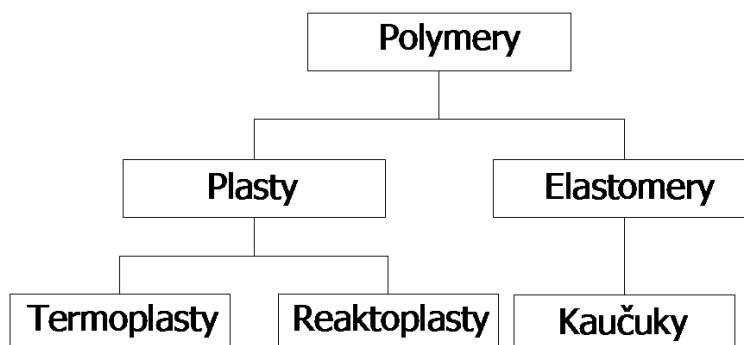
Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. [11]

## 2 POLYMERY

Polymery jsou chemické látky obsahující ve svých molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, ale i dusíku, chlóru a jiných prvků. Za normálních teplot jsou v tuhém stavu. Za zvýšené teploty přechází do stavu kapalného (taveniny), což umožňuje udělit polymerní tavenině tvar budoucího výrobku. [14]

### 2.1 Rozdělení polymerů

Z hlediska chování za normální a zvýšené teploty se polymery dělí na plasty a elastomery. [14]



Obr. 13. Rozdělení polymerů. [14]

Plasty jsou polymery za běžných podmínek většinou tvrdé, houževnaté nebo křehké. Zahřátím mohou být taveny. Pokud je změna z plastického do tuhého stavu opakovatelná, nazýváme je termoplasty. Přejít do tuhého stavu se u nich děje ochlazením. Pokud je změna neopakovatelná jedná se o reaktoplasty, které tvrdnou vlivem síťování, obvykle za působení tepla a tlaku. [14]

Elastomery jsou vysoce elastické polymery, které lze za běžných podmínek, i při zatěžování malou silou, značně deformovat bez porušení. Tyto deformace jsou převážně vratné. Nejpočetnější skupinu elastomerů tvoří kaučuky, z nichž se vyrábí pryž. [14]

Čisté polymery nemají obvykle nejvýhodnější vlastnosti, a proto jsou kombinovány s jinými materiály, obvykle pomocí mechanického míchání v pevném nebo roztaveném stavu. Takto jsou vytvářeny směsi, které jsou dodávány ve formě granulí, prášku, past nebo kapalin. Směs je tvořena přidávkem vhodných typů přísad, plniv, výztužných materiálů nebo jiných polymerů. Účelem je zlepšit zpracovatelnost a získat výrobek lepších vlastností. [14]

## 2.2 Termoplasty

Termoplasty působením tepla (ohříváním) měknou a postupně přecházejí ve viskózní taveninu. V tomto stavu se dají tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Po ochlazení ztuhnou do formy konečného výrobku. [11]

O technické využitelnosti a užitných vlastnostech termoplastů rozhoduje jejich složení a struktura. [11]

Termoplasty lze rozdělit podle nadmolekulární struktury (stupně uspořádanosti) na [16]:

- amorfní
- semikrystalické

U amorfních termoplastů makromolekuly zauímají zcela nahodilou pozici. Patří sem například PS, PMMA, PC apod. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností, modulem pružnosti a čiré, transparentní nebo průhledné vzhledem k nízkému indexu lomu. Součinitel tepelné roztažnosti je menší než u semikrystalických termoplastů. [16]

Semikrystalické termoplasty vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity a vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi oblastmi amorfními. Patří sem PE, PA, PP, PTFE apod. Jsou mléčně zakalené a charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. [16]

Odolnost termoplastů vůči korozi závisí především na jejich chemickém složení. Odolnost proti kyselinám a zásaditým látkám snižují hydroxylové, esterové, nitrilové a jiné polární skupiny. Přítomnost dvojných vazeb v řetězci výrazně snižuje jeho odolnost vůči vnějším vlivům, zejména oxidaci. Odolnost vůči organickým rozpouštědlům silně závisí na polaritě polymeru a rozpouštědla a na fázovém stavu polymeru. [16]

## 2.3 Polyamidy

Polyamidy jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny -CONH-. Vlastnosti polyamidů se mění v závislosti na výchozích monomerech. Typické polyamidy mají 30 až 50% krystalické fáze a jsou neprůhledné. Vysoká houževnatost, tvrdost, odolnost proti oděru a dobré elektroizolační charakteristiky jsou vlastnosti, na nichž spočívá využití polyamidů. Mechanické vlastnosti závisí na typu, molekulové hmotnosti a obsahu vody. Vzhledem k relativně polárnímu charakteru a vysoké nasákavosti nedochází u polyamidů

ke vzniku elektrostatického náboje a k přitahování prachových částic. Polarita také usnadňuje snášlivost s řadou plniv jako křída, azbest, skleněná vlákna apod. [7]

### 2.3.1 Odolnost polyamidů

Polyamidy mají úzký rozsah teplot tání a tuhnutí. Všechny polyamidy odolávají účinku pohonných látek a olejů. Ve srovnání s termoplasty mají relativně nízkou tavnou viskozitu. [7]

Prakticky neodolávají kyselému prostředí. Pod hodnotou pH=4 je jejich odolnost omezena. Působením organických a minerálních kyselin dochází k rozkladu až štěpení. [11]

V úvahu je nutno brát také absorpci vody, a to již při obvyklé teplotě, protože přítomnost vody ovlivňuje do velké míry mechanické vlastnosti. Přítomnost vody způsobuje také zvýšení krystalinity a bobtnání, čímž dochází k objemovým změnám, které mohou vyvolat vnitřní pnutí. Tím může výrobek při styku s vodou prasknout. [11]

Polyamidy jsou velmi odolné vůči organickým rozpouštědlům, rozpouštějí se jen v silně polárních rozpouštědlech, např. ve fenolech, chlorovaných fenolech a koncentrované kyselině mravenčí. [11]

Mají relativně nízkou odolnost vůči povětrnostním vlivům. Vlivem přímého slunečního záření za současného působení vzdušného kyslíku a kyselých reagujících nečistot z ovzduší dochází již v průběhu několika málo měsíců k barevným změnám materiálu, vzniku trhlin a zhoršení mechanických vlastností. Bez přísad stabilizátorů nejsou polyamidy vhodné pro venkovní aplikace. [11]

### 2.3.2 Zpracování polyamidů

Více než dvě třetiny celkové světové produkce polyamidu se zpracovává na vlákna. Zvláknějí se zejména PA6 a PA66. Polyamidy využívané jako plasty se zpracovávají převážně vstřikováním, méně pak vytlačováním, odléváním a dalšími technologiemi. Pro bezpečné zpracování taveniny je nutné polyamidy předsušit, zpravidla při teplotách kolem 80°C. [11]

#### *Vstřikování polyamidů*

Vstřikování patří mezi nejpoužívanější technologii zpracování polyamidů na finální výrobky. Ve srovnání s jinými termoplasty lze z hlediska technologie vstřikování hodnotit polyamidy jako polymery s velmi dobrými tokovými vlastnostmi taveniny, úzkým intervalem

tání, nižší citlivostí ke smykovému namáhání, vyšším sklonem k termodegradaci a termooxidaci nestabilizovaných typů a vyšší citlivosti vůči vlhkosti. Polyamidový granulát s vyšším obsahem vody je možné zpracovávat na vstřikovacích strojích se sušícím zařízením nebo s odplyňovací zónou. K přednosti polyamidů pro vstřikování patří jejich vynikající odformování. [11]

### 2.3.3 Použití jednotlivých druhů polyamidů

**PA6** a **PA 66** se využívají jako vlákna textilní i technická a také jako polymery pro výrobu finálních plastových dílů. Příkladem využití jsou [11]:

- technické dílce - ozubená kola, pastorky, šrouby, matice, vodící lišty, části čerpadel, armatury, pouzdra a kryty, tlumící a pružící elementy
- díly pro automobilový průmysl - sací potrubí pro motory, kliky, ventilátory, závěsy bezpečnostních pásů, blatníky motorových vozidel
- elektrotechnické aplikace - trvale tepelně zatížené součástky, opláštění kabelů
- fólie pro obalovou techniku a duté předměty

**PA 610** má stejné využití jako PA6 a PA66 a dále pak technické dílce s vyššími nároky na rozměrovou stálost (nižší sorpce vody), dílce pro jemnou mechaniku, zdrhovadla apod. [11]

**PA11** a **PA12** se používají jako armatury pro rozvod vody, bezobslužná ložiska a pohonné součástky pro provoz pod vodou, hnací řemeny, hadice, fólie pro potravinářský průmysl. [11]

**Aromatické polyamidy** se využívají jako vlákna pro tepelně odolné filtrační materiály a pro nehořlavé oděvy, k vyztužování pneumatik, hadic, dopravních pásů, tkané textilie pro letecký průmysl a neprůstřelné vesty. [11]

### 3 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ A DĚLENÍ PLASTŮ

U řady výrobků, které jsou připraveny běžnými zpracovatelskými technologiemi je nutné jejich dodatečné opracování. Opracováním se rozumí například odstranění přetoků v místech dělicích rovin formy nebo vtokových kanálů, udělení přesného rozměru či změna vnějšího vzhledu. Toto dodatečné opracování se zajišťuje pomocí mechanického obrábění nebo dělením materiálu. [4]

#### 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. [4]

Síly při obrábění plastů jsou řádově menší než při obrábění kovů. Obráběný materiál je ve srovnání s kovy pružnější, což zhoršuje přesnost obrábění. Pro dosažení dobré kvality povrchu se musí používat jen ostré nástroje. V souladu s menšími silami vzniká při obrábění plastů relativně málo tepla. Tepelná vodivost polymerů je však na rozdíl od kovů výrazně nižší, proto i teplo vznikající v místě řezu je odebíráno polymerní třískou výrazně méně. Následkem toho může teplota povrchových vrstev polymeru v zóně řezu dosáhnout až hodnoty 600°C. Proto se musí oblast řezu chladit. Chladícím médiem bývá vzduch o teplotě -10 až 15°C. [4]

Při obrábění plastů se používají především operace frézování, řezání, soustružení, vrtání, řezání závitů a broušení. Druhy nástrojů a obráběcí stroje jsou stejné jako při obrábění kovů. Při volbě geometrie břitu nástroje a řezných podmínek je nutné vzít v úvahu specifické vlastnosti plastů a podle toho volit zejména úhel čela, úhel sklonu ostří, úhel hřbetu, řeznou rychlost, posuv a hloubku řezu. [10]

#### 3.2 Dělení materiálů

Dělení materiálu se uplatňuje při výrobě součástí z tyčového materiálu, součástí vyráběných z desek, pásů a jiných polotovarů. Uplatnění má také u vstřikováním, odlévání a dalších technologií, u kterých se využívá při odstraňování vtokových zbytků, výronků, ořepů a nálitků. [13]

Materiál lze dělit následujícími způsoby [13]:

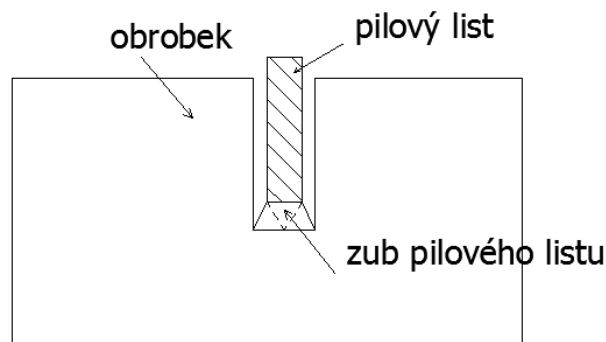
- řezáním různými druhy pil

- stříháním a sekáním
- rozbrušováním
- frézováním kotoučovou frézou
- dělením nekonvenčními technologiemi

### 3.2.1 Dělení materiálu řezáním

Řezání patří mezi nejpoužívanější způsob dělení materiálu. Používá se při něm vícebřítý nástroj, který koná obvykle hlavní i posuvový pohyb a obrobek stojí. Při dělení pilovými listy nástroj koná přibližně přímočarý vratný pohyb a v průběhu pracovního zdvihu posuvový pohyb kolmo na směr hlavního pohybu. Při dělení kotoučovými pilami koná pilový kotouč rotační pohyb a většinou i posuvový pohyb přímočarý. [13]

Všechny tyto nástroje mají rozvedené zuby, aby v obráběném materiálu nedřely a nezpůsobovaly nadměrné silové a teplotní pnutí. Nástrojem jsou pilové listy, pásy nebo kotouče. Proces řezání probíhá na rámových, pásových nebo kotoučových pilách. [13]



Obr. 14. Pilový list v řezu. [10]

### 3.2.2 Dělení materiálu rozbrušováním

Tento způsob je vhodný jen pro dělení materiálů vyšší tvrdosti menších průměrů, tenkostěnných profilů a průřezů. K výhodám tohoto způsobu dělení patří úzký řez a čistá plocha řezu. Posuv do řezu bývá zpravidla ruční. [13]

### 3.2.3 Dělení materiálu stříháním

Patří mezi nejproduktivnější metody. Jedná se o technologii dělení materiálu působením dvou břitů pohybujících se proti sobě. Při stříhání nevznikají žádné třísky. 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 přestřížení. Stříhání se provádí



na ručních pákových nůžkách nebo tabulových nůžkách s mechanickým nebo hydraulickým pohonem. [10]

### 3.2.4 Dělení pomocí nekonvenčních technologií

#### Řezání materiálu laserem

Při řezání materiálu laserem je paprsek laseru přiváděn do místa řezu soustavou zrcadel a v pracovní hlavě je zaostřován čočkou. [9]

Řezání může probíhat s využitím jednoho nebo všech tří způsobů [9]:

- sublimační řezání - v důsledku vysoké intenzity laserového záření v místě řezu je materiál odstraňován převážně odpařováním
- tavné řezání - materiál je v místě řezání působením laseru roztaven a asistentním plynem odfukován
- řezání pálením - paprsek laseru ohřeje materiál na zápalnou teplotu tak, že tento může s přiváděným reaktivním plynem shořet v exotermické reakci

#### Řezání materiálu kapalinovým paprskem

Při proces řezání materiálu paprsek pracovní kapaliny nejprve prorazí otvor a při následném pohybu vůči obrobku dochází k vytvoření řezné spáry. Pro řezání materiálu se používá buď čistý kapalinový paprsek, nebo abrazivní kapalinový paprsek, tj. paprsek kapaliny, do něhož se přidávají zrna brousícího materiálu. Jako pracovní kapalinu lze použít čistou, chemicky neupravenou vodu, olej apod. Volba druhu pracovní kapaliny se řídí druhem řezaného materiálu, nejčastěji se používá voda. Jako brousící materiál se používají zrna křemičitého písku, olivínu, granátu, kubického nitridu bóru. [9]

Čistý kapalinový paprsek se používá hlavně pro řezání měkkých a málo houževnatých materiálů. Abrazivní paprsek je vhodný především pro řezání tvrdých a houževnatých materiálů. [9]

## 4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Materiály jsou při zpracování i používání vystaveny různému namáhání, jako tah, tlak, krut, ohyb a stříh. Tato namáhání obvykle nepůsobí jednotlivě, ale v různých kombinacích. Aby materiál mohl odolávat těmto namáháním, musí mít určité vlastnosti, jako pevnost, tvrdost, pružnost apod. [3]

Mechanickými zkouškami získáváme údaje potřebné pro návrh tvaru, rozměrů a volby materiálu. Z hlediska působení síly na zkušební těleso se rozdělují zkoušky následovně [3]:

- statické zkoušky
- dynamické zkoušky
- zvláštní technické zkoušky

Podle teplot, při kterých zkoušky provádíme, je dělíme na zkoušky [3]:

- za normálních teplot
- za zvýšených teplot
- za snížených teplot

### 4.1 Statické zkoušky

Tyto zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálu. Materiál zatěžujeme pozvolna bez rázu. Základ těchto zkoušek tvoří zkoušky pevnosti. Podle působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu. Mezi statické mechanické zkoušky patří i metody měření tvrdosti. [3]

#### 4.1.1 Tahová zkouška

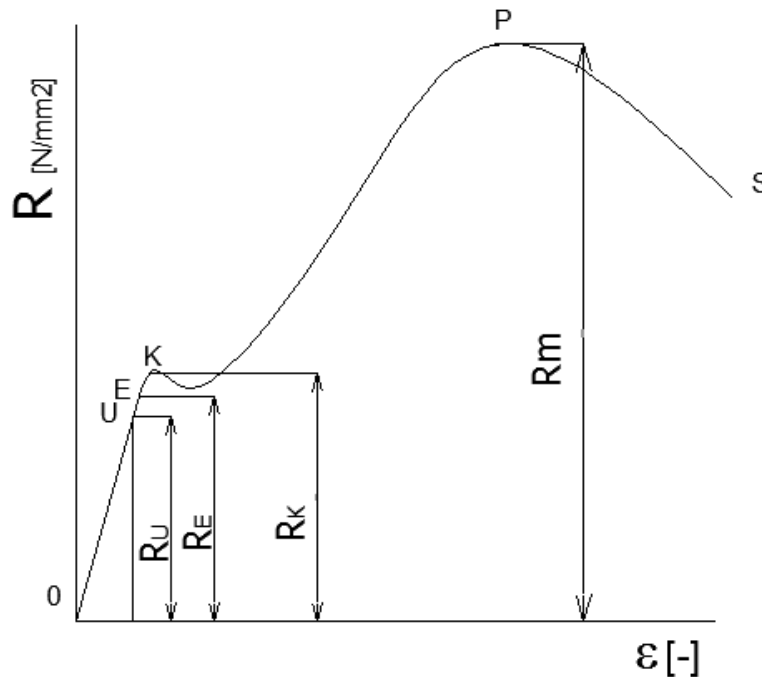
Tahová zkouška patří k nejdůležitějším zkouškám hodnotících pevnost materiálu. Na zkušební těleso působí ve směru jeho podélné osy stále se zvětšující síla až do okamžiku, při kterém dojde po určité deformaci k jeho přetržení, tj. destrukci, nebo kdy měřené parametry (zatížení, prodloužení) dosáhnou zvolených hodnot. [11]

V průběhu zkoušky se trvale zaznamenává síla a prodloužení tělesa. Všechny charakteristické hodnoty ze zkoušky tahem se vyhodnocují z tahové křivky. [11]

Z tahové zkoušky lze vyhodnotit následující vlastnosti materiálu [3]:

- $R_U$  - mez úměrnosti - mezní napětí, při němž je prodloužení přímo úměrné napětí.
- $R_E$  - mez elasticity - mezní napětí, které po odlehčení nevyvolá trvalé deformace.

- $R_K$  - mez kluzu - napětí, při němž dochází ke vzniku trvalých deformací.
- $R_m$  - mez pevnosti - maximální dosažené napětí.



Obr. 15. Tahová křivka. [3]

Zkušební tělesa musí vyhovovat požadavkům příslušné materiálové normy. Tvar a rozměry udává příslušná materiálová norma. Tahové zkoušky se provádí na univerzálních zkušebních strojích (trhacích strojích). Normovaná zkušební metoda pro hodnocení tahových vlastností polymerů je uvedena v ČSN EN ISO 527-1. Zkušební tělesa, používaná v rámci této metody, jsou uvedena v ČSN EN ISO 527-2. [11]

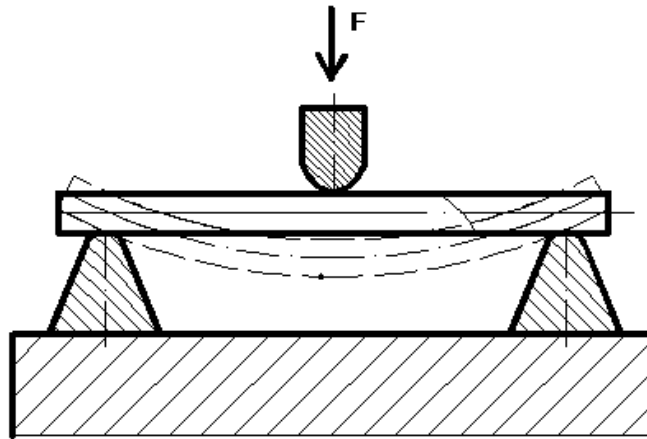
#### 4.1.2 Zkouška ohybem

Zkouška ohybem dává konstrukční podklady pro plasty, které jsou při aplikaci namáhány na ohyb. Je zvláště vhodná pro křehké plasty, pro které je provedení tahové zkoušky obtížné. [11]

Zkušební těleso, volně položené na dvou podpěrách, je uprostřed mezi nimi za definovaných podmínek krátkodobě zatěžováno, až do svého rozlomení nebo dosažení stanovené hodnoty. Výsledkem zkoušky jsou ohybové křivky, ze kterých se vyhodnocují všechny potřebné charakteristické hodnoty (napětí, průhyby, deformace). [11]

Vlastní uspořádání ohybové zkoušky může být různé, nejčastěji se používá tzv. tříbodový systém. [11]

Zkušební tělesa ve tvaru hranolu, musí vyhovovat specifickým požadavkům příslušné materiálové normy. Normovaná zkušební metoda pro hodnocení ohybových vlastností plastů je uvedena v ČSN EN ISO 178. [11]



Obr. 16. Princip ohybové zkoušky. [11]

## 4.2 Dynamické zkoušky

Při dynamických zkouškách působí síla nárazově po zlomek sekundy. Při cyklických zkouškách se proměnné zatížení opakuje i mnoha cykly za sekundu až do mnoha miliónů jejich celkového počtu. [3]

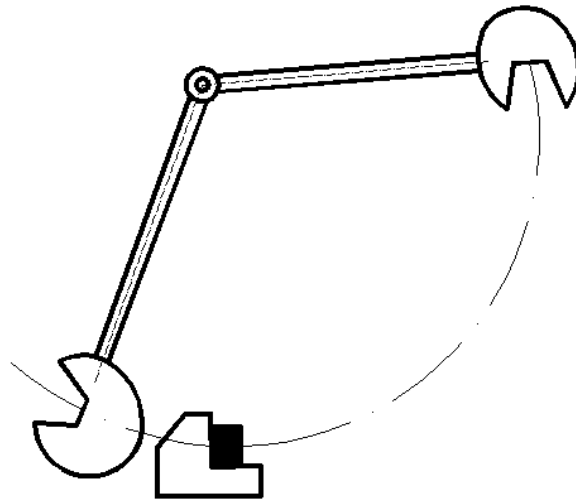
Vedle pevnosti je důležitou materiálovou charakteristikou houževnatost. Představuje obecně komplexní vlastnost zatěžovaného tělesa, která souvisí zejména se schopností materiálu odolávat iniciaci a šíření trhliny, tedy s jeho lomovou houževnatostí. Pojem houževnatost je však více spojen s rázovým způsobem zatěžováním a standardizovanými zkouškami rázové nebo vrubové houževnatosti a zkouškou průrazem. [11]

Mezi dynamické zkoušky patří zkoušky opětovným namáháním a zkoušky rázové a vrubové houževnatosti. [11]

### 4.2.1 Metoda Charpy

Pro stanovení rázové a vrubové houževnatosti se používají zkušební přístroje Charpy (kyvadlová kladiva) s rozsahem podle typu materiálu a rozměru zkušebních těles. Používané rozsahy, rozměry zkušebních těles a rozpětí podpěr jsou specifikovány v normě. Charpyho kladivo bývá opatřeno stupnicí, na kterém se odečítá absorbovaná energie. [11]

Zkušební těleso se umísťuje vodorovně na dvě podpěry a přeráží se rázovým kyvadlem (otáčivým kladivem) uprostřed vzdálenosti mezi podpěrami (tříbodový systém). Účelem zkoušky je posoudit chování materiálu za kritických podmínek. Normovaná zkušební metoda pro stanovení rázové a vrubové houževnatosti plastů je uvedena v ČSN EN ISO 179. [11]



Obr. 17. Charpyho kladivo. [11]

## 5 ZAVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část této diplomové práce popisuje technologii vstřikování, polymerní materiály, způsoby obrábění, dělení materiálů a mechanické zkoušky materiálů.

V kapitole vstřikování byla popsána podstata této technologie, od výběru materiálu až po vyhození hotového výrobku. Byla popsána vstřikovací forma, včetně detailního popisu vtokových ústí a základního popisu vstřikovacího stroje.

V kapitole polymerních materiálů byly popsány polymerní materiály, včetně jejich rozdělení. Tato kapitola se zaměřuje na termoplasty, především polyamid, ze kterého jsou vyrobeny zkušební tělesa pro tuto diplomovou práci.

V další kapitole týkající se technologie obrábění a dělení materiálů byla popsána technologie obrábění plastů. Kapitola byla zaměřena především na technologii dělení materiálu, kde jsou popsány jednotlivé způsoby dělení materiálů, které připadají v úvahu pro výrobu zkušebních těles ze vstřikovaných destiček.

V poslední kapitole týkající se mechanických zkoušek materiálů je popsáno základní rozdělení zkoušek se zaměřením na zkoušky tahem, ohybem a Charpyho zkoušku, které jsou použity pro měření mechanických vlastností v praktické části této práce.

Z prostudované literatury je zřejmé, že umístění vtokového ústí bude mít vliv na mechanické vlastnosti polymerního dílu. Vhodné umístění vtokového ústí má vliv na vzhled, požadovanou kvalitu a mechanické vlastnosti dílu.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

Cílem diplomové práce je zjištění vlivu umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti polymerního dílu.

Postup řešení:

- Příprava zkušebních těles: Ze vstříkovaných dílů zhotovit vhodnou technologií zkušební tělesa.
- Provedení mechanických zkoušek: Provést zkoušky tahem, ohybem a rázovou zkoušku za zvýšené teploty.
- Vyhodnocení výsledků: Zjištění vlivu umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti výrobku a statistické vyhodnocení naměřených dat.



## 7 ZKUŠEBNÍ TĚLESA

### 7.1 Materiál těles

K výrobě zkušebních těles byl použit materiál PA 66 řady Ultramid od firmy BASF s různým stupněm plnění skleněnými vlákny. PA 66 vyniká svou vysokou pevností a tuhostí, vynikající houževnatostí, chemickou odolností, rozměrovou stabilitou a dynamickou pevností. Vzhledem ke svým vlastnostem má široké spektrum použití v technických oblastech. Je jedním z preferovaných materiálů pro součásti vystavené mechanickému a tepelnému zatížení, především v automobilovém průmyslu např. kryty motoru, olejové vany, díly a pouzdra pro chlazení. Použitím skleněných vláken dochází k vylepšení těchto vlastností, především mechanické pevnosti, tuhosti a tvrdosti. Přehled materiálů použitých k přípravě zkušebních těles je uveden v tabulce (Tab. 1). [8, 17]

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. Materiál je odolný proti stárnutí a snadno zpracovatelný pro technické díly podléhající vysokým napětím, především ložiska a klece ložisek. [8]

#### 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. [8]

#### 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. [8]

### **Materiál A3WG6**

Tento typ polyamidu obsahuje 30 % skla, teplota tavení je 260 °C a modulem pružnosti v tahu 7200 MPa. Používá se pro vstříkované 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. [8]

### **Materiál A3WG7**

Jedná se o materiál obsahující 35 % skla, s teplotou tavení 260 °C a modulem pružnosti v tahu 8500 MPa. Používá se pro vstříkované díly technických součástí např. ozubená kola, kabelové kontakty a komponenty pro automobilový průmysl. [8]

### **Materiál A3WG10**

Tento typ polyamidu obsahuje 50 % skla, teplota tavení je 260 °C a modulem pružnosti v tahu 12 500 MPa. Používá se pro vstříkované díly, u nichž je požadována velmi vysoká tuhost. [8]

## **7.2 Příprava zkušebních těles**

### **7.2.1 Vstříkování**

První fází přípravy zkušebních těles byla výroba polymerního dílu technologií vstříkování. Polymerní díl byl vyroben na vstříkovacím stroji Arburg Allrounder 420 C s uzavírací silou 100 tun. Vstříkování polymerního dílu probíhalo z různých vtokových ústí, což bylo umožněno použitím formy s univerzálním rámem a vyměnitelnými částmi. [8]



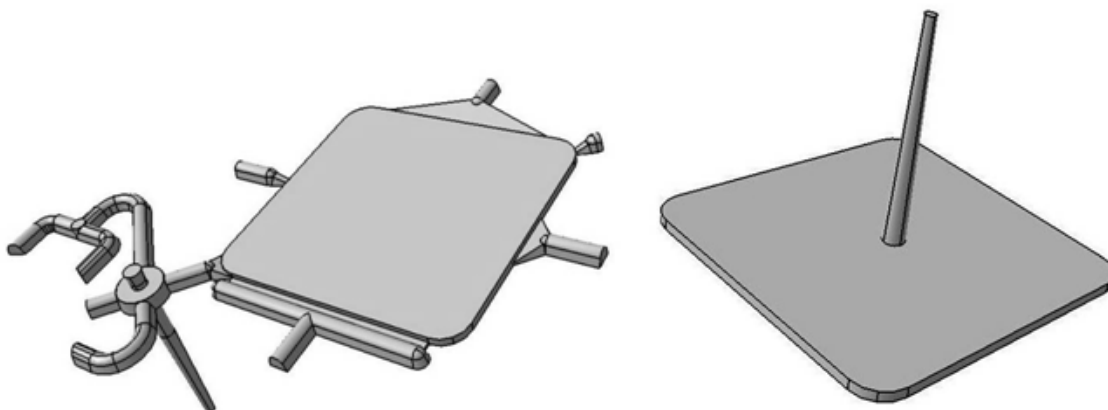
*Obr. 18. Vstříkovací stroj Arburg Allrounder 420C. [8]*

Vstřikování PA 66 řady Ultramid od firmy BASF s různým stupněm plnění probíhalo ze 4 vtokových ústí dle doporučených procesních podmínek z materiálových listů. Vtoková ústí a značení zkušebních těles je popsáno v kapitole 7.2.3. Procesní podmínky pro všechny typy vtokového ústí a různé stupně plnění skleněnými vlákny jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2). [8]

Tab. 2. Procesní podmínky při vstřikování [8]

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 vstřikovacího cyklu byly z formy vyjmuty polymerní díly s vtokovými zbytky, které bylo potřeba odstranit. [8]



Obr. 19. Vstřikované polymerní díly. [8]

### 7.2.2 Řezání zkušebních těles

V další fázi přípravy zkušebních těles byly odstraněny vtokové zbytky ze vstřikovaných polymerních dílů. Odstranění bylo provedeno pomocí ručních pákových nůžek a ruční pily. Destičky zbavené vtokových zbytků měly rozměry 100 x 100 x 3 mm. Z těchto destiček bylo potřeba nařezat zkušební tělesa pro provedení mechanických zkoušek. [8]

Řezání zkušebních těles probíhalo podle předem stanovených schémat pro všechny typy vtokových ústí tak, aby odpovídaly směru toku taveniny. Popis schémat pro jednotlivá vto-

ková ústí jsou uvedena v následující kapitole. Ke zhotovení zkušebních těles řezáním byla použita univerzální frézka FHV – 50PD při daných procesních podmínkách uvedených v tabulce (Tab. 3). [8]



Obr. 20. Frézka FHV - 50PD. [8]

Tab. 3. Procesní podmínky řezání

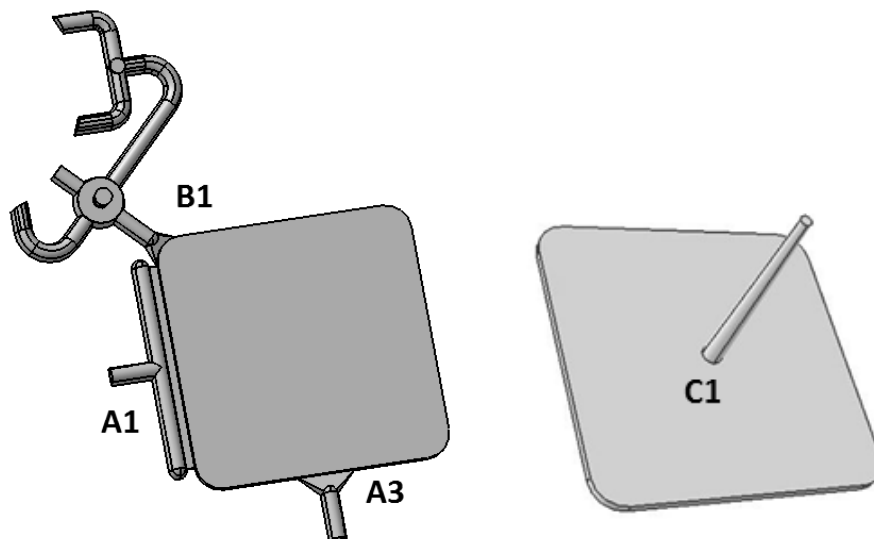
Procesní podmínky řezání	
Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	300
Posuv [mm/min]	180
Chlazení	Tlakový vzduch

Při řezání zkušebních těles z polymerních dílů bylo použito chlazení pomocí tlakového vzduchu, aby nedocházelo k teplotnímu ovlivnění zkušebních těles. [8]

### 7.2.3 Značení zkušebních těles

Značení zkušebních těles bylo provedeno dle použitého vtokového ústí a směru toku taveniny. Vstřikování bylo provedeno ze 4 vtokových ústí, použitá vtoková ústí jsou znázorněna na obrázku (Obr. 21). [8]

Vějířový vtok z rohu desky byl označen písmenem B1, kuželový vtok umístěný do středu písmenem C1, filmový vtok ze strany desky byl označen písmenem A1 a vějířový vtok ze strany desky pak A3. Písmenem L je označen směr odebírání zkušebních těles ve směru toku taveniny, tzv. longitudinální = podélný. Písmenem T pak směr odebírání zkušebních těles kolmo na směr toku taveniny, tzv. transverzální = příčný. [8]

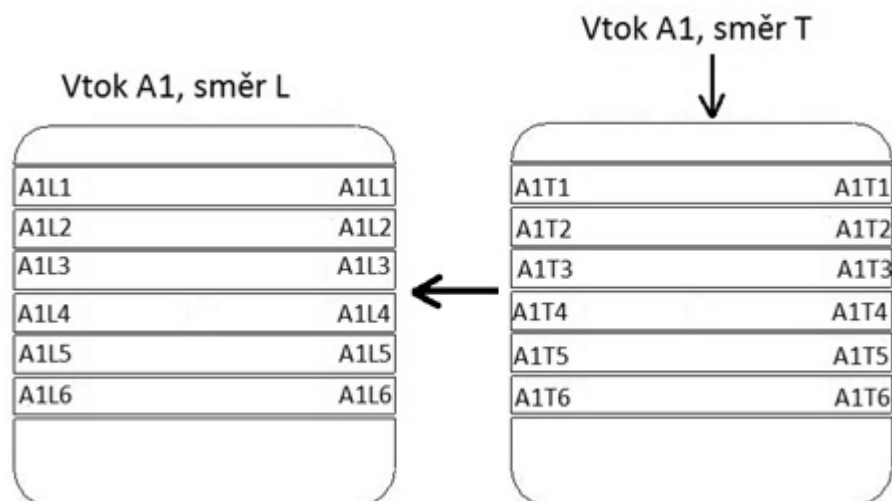


Obr. 21. Vtoková ústí.

### Vtok A1

Polymerní díl byl vstřikován z filmového vtoku A1 umístěného do strany. Řezání probíhalo ve dvou směrech:

- ve směru L, tedy ve směru toku taveniny
- ve směru T, kolmo na směr toku taveniny



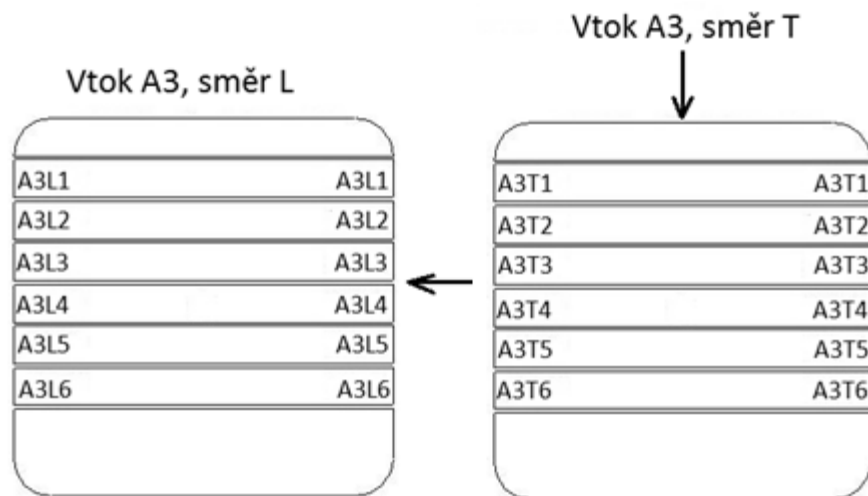
Obr. 22. Směr řezání těles.

Vtokové ústí je znázorněno šipkou. Směr řezání zkušebních těles a jejich označování, je zobrazen na obrázku (Obr. 22).

### Vtok A3

Polymerní díl byl vstříkován z vějířového vtoku A3 umístěného do strany. Řezání probíhalo ve dvou směrech:

- ve směru L, tedy ve směru toku taveniny
- ve směru T, kolmo na směr toku taveniny



Obr. 23. Směr řezání těles.

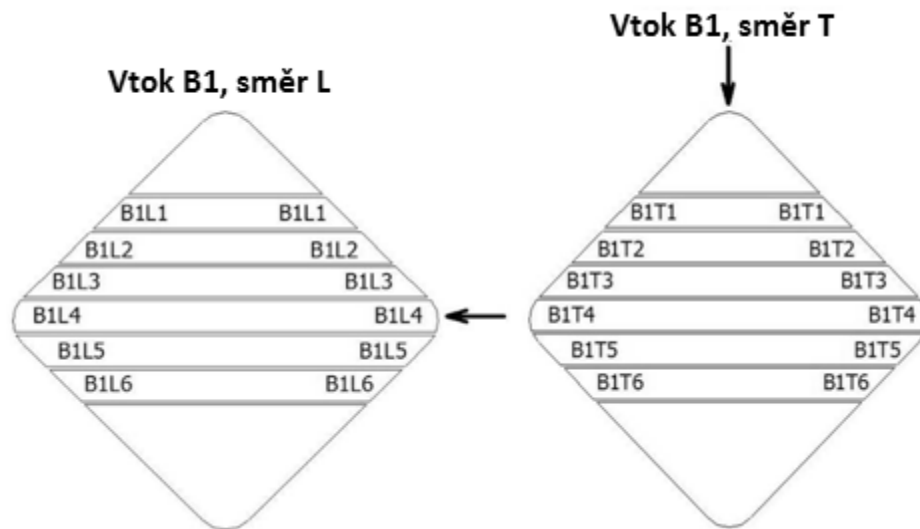
Vtokové ústí je znázorněno šipkou. Směr řezání zkušebních těles a jejich označování, je zobrazen na obrázku (Obr. 23).

### Vtok B1

Polymerní díl byl vstříkován z vějířového vtoku B1 umístěného do rohu. Řezání probíhalo ve dvou směrech:

- ve směru L, tedy ve směru toku taveniny
- ve směru T, kolmo na směr toku taveniny

Vtokové ústí je znázorněno šipkou. Směr řezání zkušebních těles a jejich označování, je zobrazen na obrázku (Obr. 24).

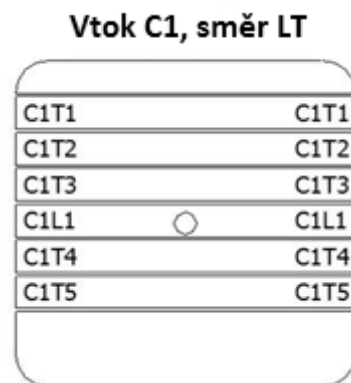


Obr. 24. Směr řezání těles.

**Vtok C1, směr LT**

Polymerní díl byl vstřikován z kuželového vtoku C1 umístěného do středu. Řezání probíhalo ve směru L i T.

Vtokové ústí je znázorněno kružnicí. Směr řezání a jejich označování, je zobrazen na obrázku (Obr. 25). [8]



Obr. 25. Směr řezání těles. [8]

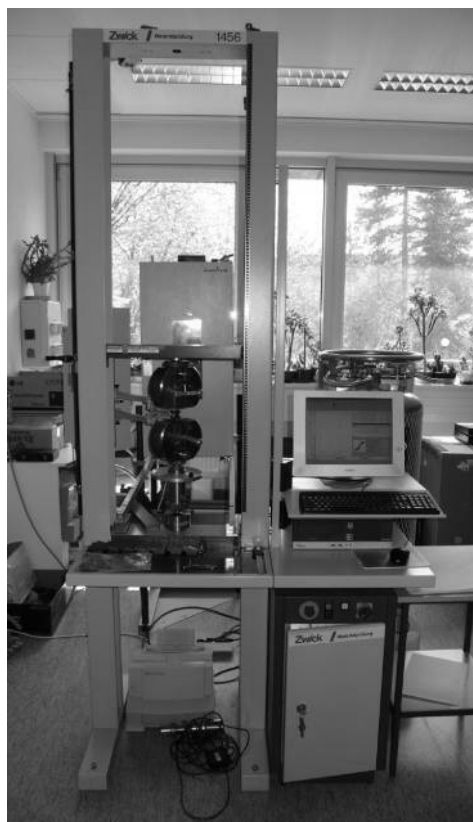
**7.3 Okrajové podmínky mechanických zkoušek****7.3.1 Tahová zkouška**

Tahová zkouška byla provedena na univerzálním testovacím stroji ZWICK 1456 s teplotní komorou při použití následujících parametrů uvedených v tabulce (Tab. 4). Při provádění zkoušky byla dodržena norma ČSN EN ISO 527-1.

Tab. 4. Parametry nastavení testovacího stroje.

Parametry testovacího stroje	
Předzatížení [N]	5
Testovací rychlost při měření modulu pružnosti E [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	1
Testovací rychlost [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	20
Vzdálenost mezi upínacími hlavami [mm]	45
Teplota při měření [ $^{\circ}\text{C}$ ]	80

K ovládání a nastavení testovacího stroje byl použit program testExpert II v2.1, který po celou dobu měření zaznamenával naměřené hodnoty do tabulky a vykresloval tahovou křivku. Měření probíhalo v teplotní komoře při stálé teplotě 80 °C. Vytemperované vzorky se měřily pomocí posuvného měřidla a naměřené hodnoty se vkládaly do softwaru. Poté následovalo upnutí zkušebního tělesa a namáhání jednoosým tahem až do přetržení.



Obr. 26. Univerzální testovací stroj ZWICK 1456. [8]



### 7.3.2 Zkouška ohybem

Ohybová zkouška byla provedena na univerzálním testovacím stroji ZWICK 1456 s teplotní komorou při použití parametrů uvedených v tabulce (Tab. 5). Při provádění zkoušky byla dodržena norma ČSN EN ISO 178.

Tab. 5. Parametry nastavení testovacího stroje.

Parametry testovacího stroje	
Předzatížení [N]	5
Testovací rychlost při měření modulu pružnosti E [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	1
Testovací rychlost [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	20
Maximální průhyb [mm]	30
Teplota při měření [ $^{\circ}\text{C}$ ]	80

Pro měření byl zvolen tzv. tříbodový systém ohybu. K ovládání a nastavení testovacího stroje byl použit program testExpert II v2.1, který po celou dobu měření zaznamenával naměřené hodnoty do tabulky a vykresloval ohybovou křivku. Měření probíhalo v teplotní komoře při stálé teplotě  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vytemperované vzorky se měřily pomocí posuvného měřidla a naměřené hodnoty se vkládaly do softwaru. Poté následovalo vložení zkušebního tělesa na podpěry a namáhání ohybem do porušení tělesa nebo do maximální hodnoty průhybu.



Obr. 27. Zkouška ohybem.

### 7.3.3 Rázová houževnatost

Zkouška rázové houževnatosti byla provedena na Charpyho přístroji při použití parametrů uvedených v tabulce (Tab. 6). Při provádění zkoušky byla dodržena norma ČSN EN ISO 179.

Tab. 6. Parametry nastavení Charpyho přístroje.

Parametry Charpyho přístroje	
Hmotnost kladiva [kg]	2,19
Délka poloměru kladiva [m]	0,5
Spouštěcí úhel [°]	40
Teplota při měření [°C]	80

K ovládání a nastavení zkušebního přístroje Charpy byl použit program CEAST DAS8Win Extended 4.30, který zaznamenával po dobu měření naměřené hodnoty do tabulky. Před temperací byla zkušební tělesa dle normy opatřena vrubem o velikosti 2 mm. Vytemperované zkušební těleso se umístilo vodorovně na dvě podpěry tak, aby vrub byl přesně uprostřed. Spuštěním kladiva došlo k přeražení zkušebního tělesa a program následně vyhodnotil hodnoty rázové houževnatosti a další veličiny.



Obr. 28. Instrumentované kladivo CEAST Resil Impactor Junior.

## 8 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

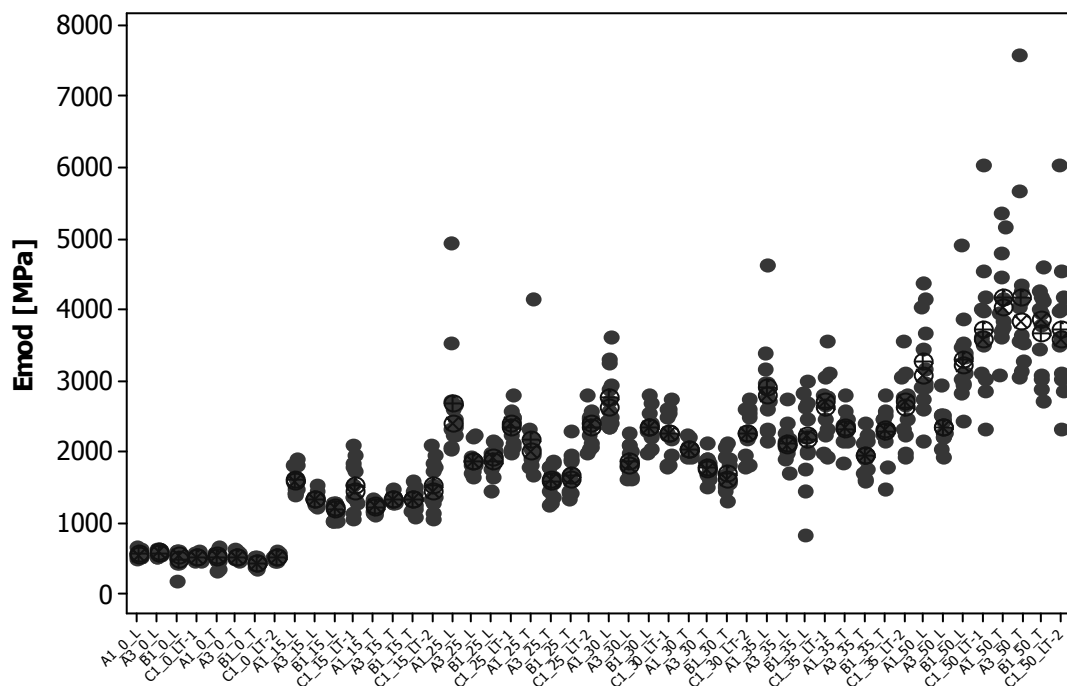
Statistické vyhodnocení experimentálně získaných hodnot bylo provedeno v programu Minitab v. 14.1.

Postup statistického vyhodnocení byl následující:

- Optický test odlehých hodnot
- Box-plotové diagramy
- Testovací statistiky

### 8.1 Optický test odlehých hodnot

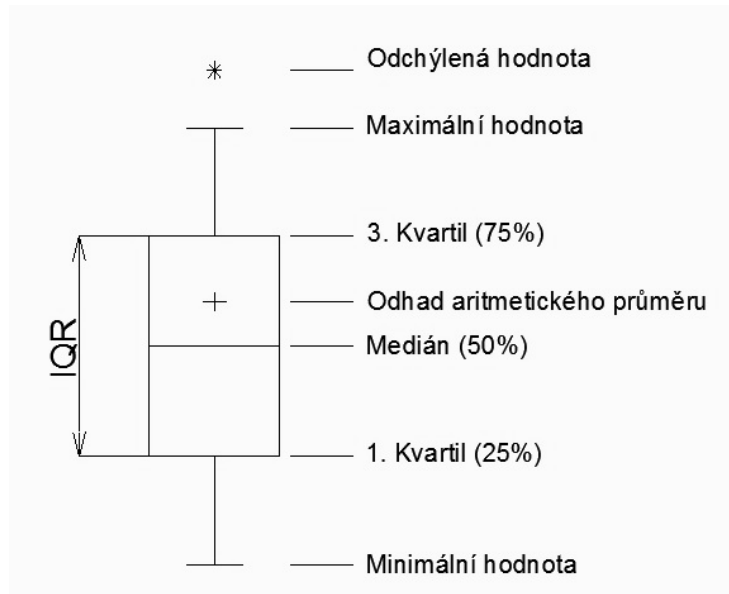
Optický test odlehých hodnot slouží k optickému zjištění odchýlených naměřených hodnot. Odchýlené hodnoty jsou hodnoty výrazně vzdálené od mediánu a odhadu aritmetického průměru. Tyto hodnoty zkreslují naměřené výsledky.



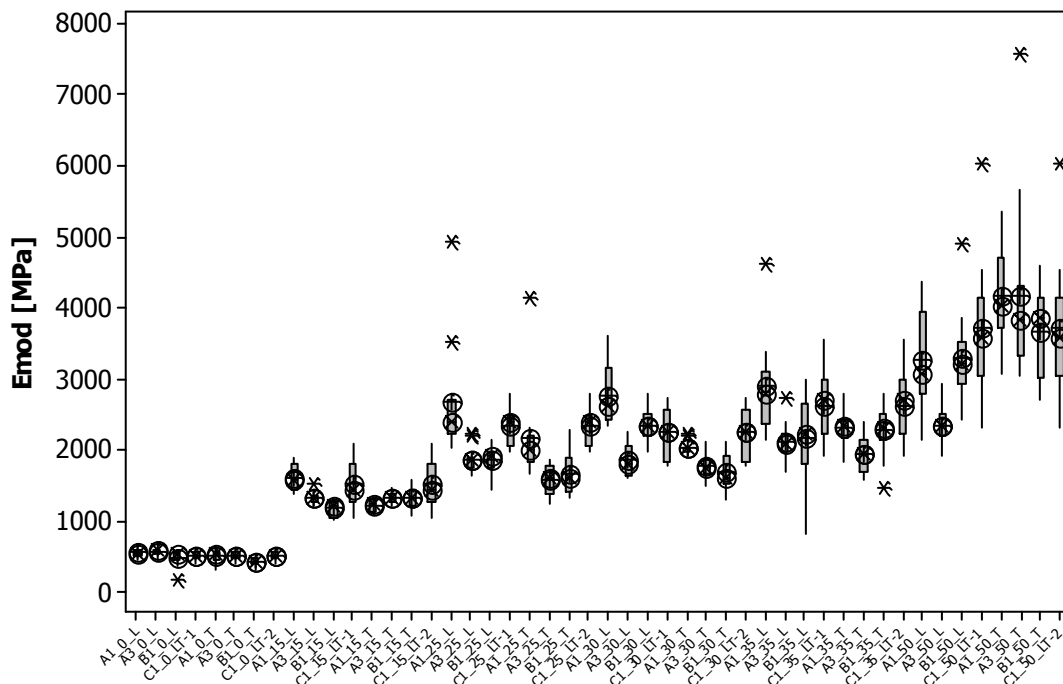
Obr. 29. Ukázka optického testu odchýlených hodnot.

## 8.2 Box-plotové diagramy

Box-plotové diagramy jsou druhým možným způsobem zjištění odlehlých hodnot. Box-plotový diagram poskytuje informaci o minimální a maximální hodnotě naměřeného souboru, mediánu, horním a dolním kvartilu tohoto souboru a některé další informace.



Obr. 30. Význam box-plotového diagramu.



Obr. 31. Příklad box-plotového diagramu.

Po provedení optického testu a box-plotových diagramů byly odstraněny odlehlé hodnoty, aby nedocházelo ke zkreslení naměřených výsledků. Odlehlé hodnoty mohly být způsobeny následujícími faktory:

- chybné upnutí tělesa do čelistí u zkoušky tahem
- chybné uložení tělesa na podpěrách u zkoušky ohybem - těleso nebylo přesně uprostřed
- chybné uložení tělesa u zkoušky Charpy - těleso nebylo přesně uprostřed a došlo k přeražení v místě mimo vrub
- chyba při vytváření vrubu - vrub byl větší nebo menší
- nedošlo k přeražení zkušebního tělesa u zkoušky Charpy

Za odlehlé hodnoty jsou považovány hodnoty, které splňují následující podmínky:

$$X_i > 1,5 \text{ IQR} \quad (1)$$

$$X_i < 1,5 \text{ IQR} \quad (2)$$

### 8.3 Testovací statistiky

Při statistickém vyhodnocení byly použity následující vztahy a veličiny :

**Odhad aritmetického průměru:** „ $\bar{x}$ “ vyjadřuje typickou hodnotu pro daný soubor hodnot a je dán vztahem:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

**Odhad nejistoty měření:** „ $u_a$ “ udává šíři intervalu, ve kterém leží skutečná hodnota a je dán vztahem:

$$u_a = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

**Odhad směrodatné odchylky:** „ $s$ “ vyjadřuje, o kolik se hodnoty odchyľují od odhadu aritmetického průměru a je dána vztahem:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

**Odhad variačního koeficientu:** „ $V_x$ “ vyjadřuje relativní variabilitu souboru a je dán vztahem:

$$V_x = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (6)$$

**Odhad variačního rozpětí:** „ $R$ “ vyjadřuje míru variability souboru a je dán vztahem:

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (7)$$

**Odhad interkvartilového rozpětí:** „ $IQR$ “ vyjadřuje 50% hodnot uprostřed souboru a je dán vztahem:

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (8)$$

**Velikost výběrového souboru:** „ $n$ “

**1. Kvartil:** „ $Q_1$ “ vyjadřuje, že 25% hodnot leží pod touto hranicí a 75 % hodnot leží nad touto hranicí.

**Medián:** „ $M$ “ rozděljuje statistický soubor na dvě stejné poloviny. Platí, že nejméně 50 % hodnot je menších nebo rovných mediánu a nejméně 50 % hodnot je větších nebo rovných mediánu.

**3. Kvartil:** „ $Q_3$ “ vyjadřuje, že 75 % hodnot leží pod touto hranicí a 25 % hodnot leží nad touto hranicí.

## 9 DISKUZE VÝSLEDKŮ

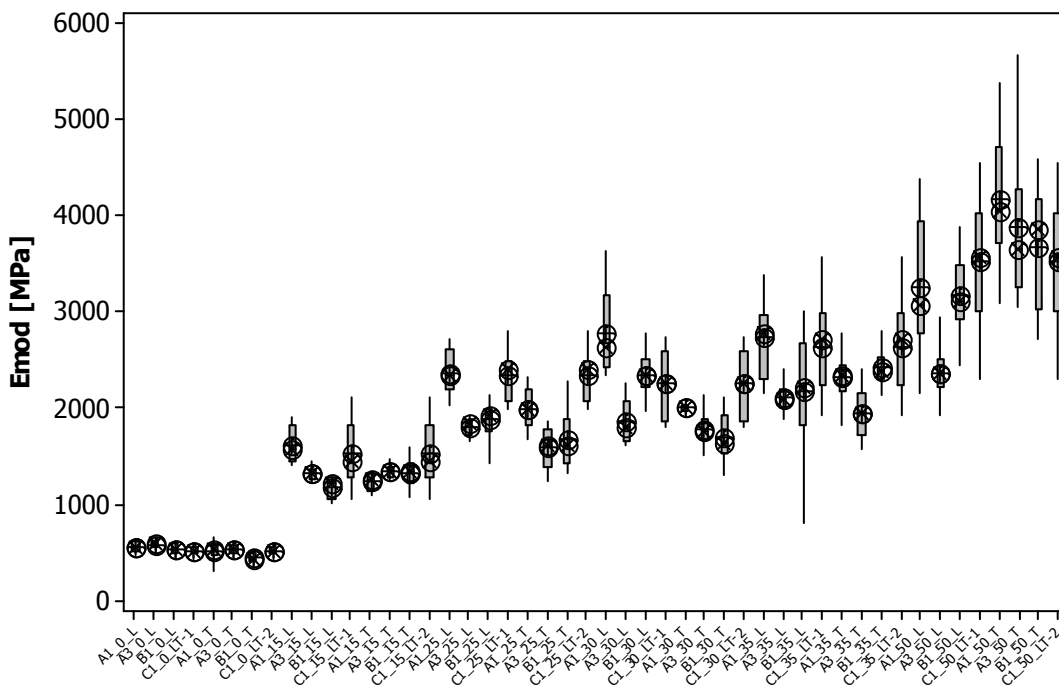
Tato kapitola obsahuje vyhodnocení experimentálně naměřených hodnot u zkoušky tahem, ohybem a zkoušky Charpy. Z naměřených hodnot byla podle výše popsaných vzorců provedena testovací statistika a sestrojeny box-plotové diagramy pro snazší vyhodnocení dosažených výsledků. Grafy a hodnoty z testovací statistiky jsou umístěny v přílohách diplomové práce.

### 9.1 Tahová zkouška

U tahové zkoušky byly vyhodnocovány modul pružnosti E a mez pevnosti Rm.

#### 9.1.1 Modul pružnosti E

Z výsledků testovací statistiky umístěné v příloze PI - PIII a z grafu porovnání hodnot modulů pružnosti E pro jednotlivé vtoky a materiály (Obr. 32) vyplývá, že v případě sklem neplněného materiálu dosahují vyšších hodnot modulu pružnosti materiály vstříkované z vtokových ústí, které byly testovány ve směru toku taveniny (směr L).



Obr. 32. Porovnání hodnot modulu pružnosti E.

Nejvyšších hodnot dosahuje vějířové vtokové ústí A3 ve směru L. Nejnižších hodnot modulu pružnosti dosahuje vějířový vtok B1 ve směru T umístěný do rohu. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami těchto vtoků je přibližně 25 %.

Porovnáme-li hodnoty u sklem plněných materiálů, kde již dochází k orientaci plniva je situace následující. U sklem plněných materiálů s obsahem plniva od 15 % do 35 % dosahuje nejvyšších hodnot vtokové ústí A1 ve směru L. Podobných, jen mírně nižších hodnot dosahuje i vtokové ústí C1 umístěné do středu. Výrazně nižších hodnot dosahují vtokové ústí A3 a B1 ve směru T. Rozdíl mezi hodnotami modulu pružnosti u materiálů s obsahem plniva od 15 % do 35 % je až 40 %.

Srovnáním hodnot modulu pružnosti E u materiálu s obsahem plniva 50 % zjistíme, že nejvyšších hodnot dosahuje filmové vtokové ústí A1 ve směru T. Výrazně nejnižších hodnot pak dosahuje vějířové vtokové ústí A3 ve směru L. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami vtokového ústí A1 ve směru T a vtokového ústí A3 ve směru L je téměř 45 %.

Ze srovnání jednotlivých směrů L a T je patrné, že tělesa odebíraná ve směru L mají vyšší hodnoty modulu pružnosti než tělesa odebíraná ve směru T. To ovšem neplatí v případě materiálu plněného 50 % skla. U tohoto materiálu jsou hodnoty modulu pružnosti ve směru T výrazně vyšší než u materiálu ve směru L.

Zhodnocením výsledků modulu pružnosti E u neplněných materiálů lze říci, že vtokové ústí zde hraje významnou roli. Největší rozdíl mezi zjištěnými hodnotami byl až 25 %. Tělesa odebraná ve směru L dosahovala lepších vlastností než tělesa ve směru T.

Zhodnocením výsledků modulu pružnosti E u sklem plněných materiálů lze říci, že nejlepších výsledků dosáhl filmový vtok A1 ve směru L. To je způsobeno orientací vláken, které zvyšují pevnost materiálu. Také distribuce vláken by měla být při použití filmového vtokového ústí nejrovnoměrnější.

Z hlediska volby vtokového ústí je nejvýhodnější pro sklem neplněné materiály zvolit vtokové ústí A3. Pro sklem plněné materiály s obsahem plniva od 15 % do 35 % je nejvýhodnější zvolit vtokové ústí A1. Pro sklem plněné i neplněné materiály je nejméně vhodná volba vtokového ústí B1. V případě materiálu s obsahem plniva 50 % je nejvýhodnější z hlediska hodnot modulu pružnosti E volba vtokového ústí A1. Nejméně vhodné je vtokové ústí A3. Naměřené hodnoty lze považovat za odpovídající, jelikož variační rozptyl pouze ve 3 případech vtokových ústí mírně překročil mezní hodnotu 20 %.



### 9.1.2 Mez pevnosti $R_m$

Z výsledků testovací statistiky umístěné v příloze PIV - PVI a z grafu porovnání hodnot meze pevnosti  $R_m$  pro jednotlivé vtoky a materiály (Obr. 33) vyplývá, že v případě sklem neplněného materiálu se hodnoty jednotlivých mezí pevností výrazněji neliší. Mírně vyšší hodnoty vykazují vtoková ústí ve směru toku taveniny L, oproti hodnotám ve směru kolmém na směr toku taveniny T. Rozdíl v naměřených hodnotách je přibližně 5 %. Nejvyšší meze pevnosti dosahují vtoková ústí A1 a A3 ve směru L. Nejnižší hodnoty meze pevnosti vykazuje vtokové ústí B1 ve směru T.

Porovnáme-li hodnoty materiálu s obsahem plniva 15 %, tak výrazně nejvyšší hodnoty meze pevnosti dosahuje filmové vtokové ústí A1 ve směru L. Až o 20 % nižší hodnoty měl vtok A1 ve směru T. Tento jev je způsoben orientací a distribucí vláken u filmového vtoku ve směru L, což výrazně zvyšuje pevnost materiálu. U ostatních vtokových ústí jsou rozdíly mezi směry L a T mnohem nižší.

Větších rozdílů mezi směry L a T je dosaženo u materiálu s 25 % plniva. Hodnoty mezi oběma směry se liší přibližně o 15 %. Nejvyšší hodnoty vykazuje vtok B1 ve směru L a naopak nejnižší hodnoty nalezneme u vtokového ústí A1 ve směru T.

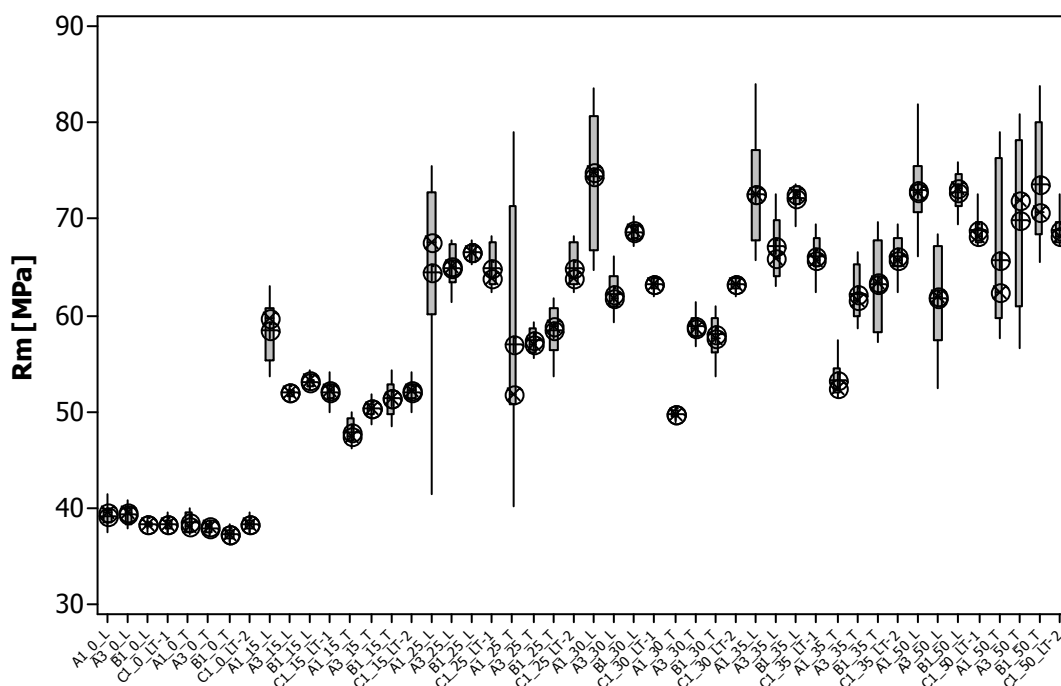
Podobného rozdílu mezi směry L a T je dosaženo i u materiálu s 30 % a 35 % skleněných vláken. Rozdíl mezi směrem L vtokového ústí A1, který dosáhl nejvyšších hodnot, a směrem T činí až 33%. V porovnání s ostatními vtokovými ústí dosahuje pro oba materiály vysokých hodnot také vtokové ústí B1 ve směru L.

U materiálu plněného 50 % skleněných vláken již rozdíly mezi směry L a T nejsou tak vysoké. Rozdíl v hodnotách mezi oběma směry se pohybuje do 10 %. Nejvyšších, avšak téměř totožných hodnot, dosahovalo vtokové ústí A1 ve směru L a B1 ve směru L i T. U vtokového ústí B1 byly vyšší hodnoty ve směru T.

Porovnáme-li hodnoty u sklem plněných materiálů je na první pohled patrné, že filmové vtokové ústí A1 ve směru T dosahuje téměř u všech materiálů nejnižších hodnot meze pevnosti. To je způsobeno tvarem vtokového ústí, které umožňuje rovnoměrnou distribuci plniva. Největší meze pevnosti pak u většiny materiálů dosahuje filmové vtokové ústí A1 ve směru L. Ze zbývajících vtokových ústí ve směru L převažuje hodnotami vějířové vtokové ústí B1. Ve směru T dosahuje nejvyšších hodnot kuželové vtokové ústí C1.

Zhodnocením dosažených výsledků lze říci, že nejlepší volbou pro výrobky namáhané ve směru toku je filmové vtokové ústí A1. Vysokých hodnot ve směru L také dosahuje vtok B1. Naopak nejhorší vlastnosti vykázal vtok A1 ve směru T. U materiálu s 50 % plnění už téměř nezáleží na směru toku a orientaci vláken.

Variační koeficient vyhodnocených dat jen v několika případech přesáhl hodnoty 10 %, tudíž lze naměřené výsledky považovat za odpovídající.



Obr. 33. Porovnání hodnot meze pevnosti  $R_m$ .

### 9.1.3 Zhodnocení tahové zkoušky

Na základě naměřených hodnot a vyhodnocení výsledků tahové zkoušky za zvýšené teploty lze říci, že vtokové ústí výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti polymerních dílů namáhaných tahem. Vyšších rozdílů mezi hodnotami bylo dosaženo u hodnocení modulu pružnosti. Největší rozdíl činil až 45 %. Při hodnocení meze pevnosti byl rozdíl mezi nejvyšší hodnotou meze pevnosti u materiálů se stejným stupněm plnění skleněnými vlákny až 35 %.

S vyšším stupněm plnění skleněnými vlákny rostly v případě hodnocení modulu pružnosti také rozdíly mezi jednotlivými vtokovými ústími. Nejvyšších hodnot modulu pružnosti a meze pevnosti dosahovaly materiály s nejvyšším tj. 50% stupněm plnění.

Z hlediska volby vhodného vtokového ústí pro sklem neplněné materiály bych doporučil vstřikování z vějířového vtokového ústí A3 nebo filmového vtokového ústí A1 (namáhání ve směru L). Nejméně vhodné je použití vějířového vtokového ústí do rohu B1 (směr T).

Z hlediska volby vtokového ústí pro materiály s obsahem plnění 15 % až 35 % je nejvýhodnější vstřikování z filmového vtokového ústí A1 (namáhání ve směru L). Velmi dobrých výsledků také dosahuje kuželové vtokové ústí C1. Nejméně vhodné z hlediska meze pevnosti a hodnot modulu pružnosti je použití vtokových ústí A3 a B1 (směr T).

V případě materiálu s 50 % skleněných vláken dosahoval výrazně nejnižších hodnot vtok A3 ve směru L. Z hlediska modulu pružnosti dosahoval nejvyšších hodnot vtok A1 ve směru T a nejvyšší meze pevnosti pak vtok B1 ve směru T. Zajímavostí je, že materiály ve směru T dosahují výrazně vyšších hodnot než ve směru L.

Při výběru nejvhodnějšího vtokového ústí bych doporučil filmové vtokové ústí A1, protože dosáhlo nejlepších výsledků a filmové vtokové ústí zároveň splňuje vyšší požadavky na kvalitu a přesnost výrobku. Dobrých výsledků dosahuje také materiál vstřikovaný z kuželového vtokového ústí C1, avšak odstranění vtokového ústí od výrobku je náročnější a zanechává viditelnější stopy na výrobku.

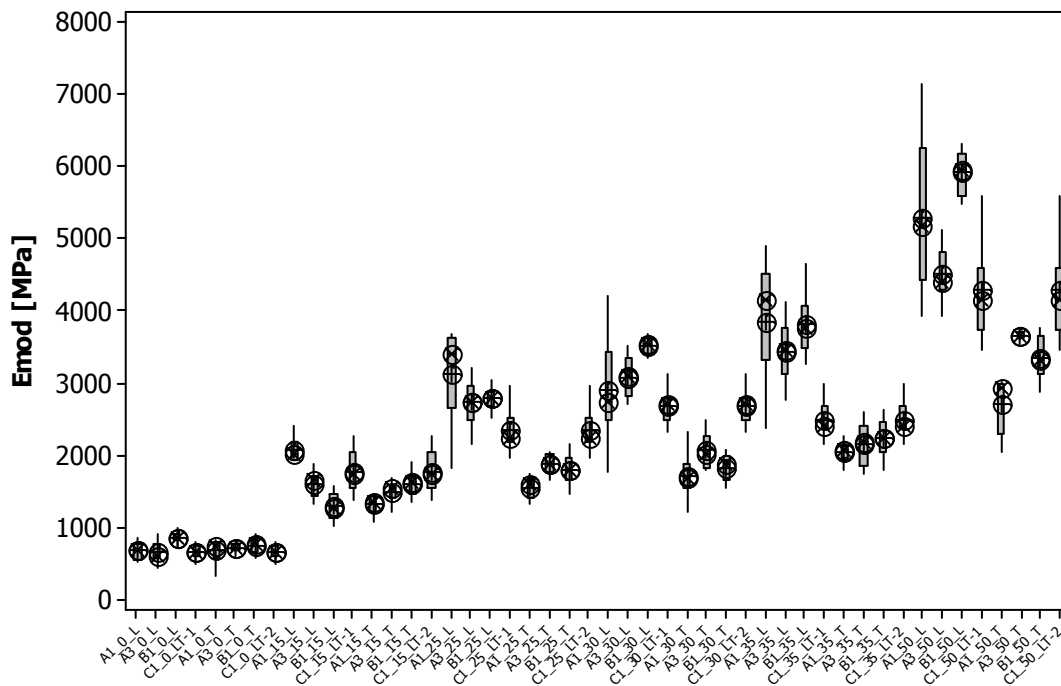
Naměřená a vyhodnocená data lze považovat za odpovídající, jelikož variační koeficient pouze ve výjimečných případech přesáhl mezní hodnotu 20 %.

## 9.2 Ohybová zkouška

U ohybové zkoušky byly vyhodnocovány modul pružnosti E a mez pevnosti  $R_m$ .

### 9.2.1 Modul pružnosti E

Z výsledků testovací statistiky umístěné v příloze PVII - PIX a z grafu porovnání hodnot modulů pružnosti E pro jednotlivé vtoky a materiály (Obr. 34) vyplývá, že u sklem neplněných materiálů dosahuje nejvyšších hodnot modulu vějířové vtokové ústí B1 umístěné do rohu. Nejnižších hodnot dosahuje vtok A3 ve směru L. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami těchto vtoků je přibližně 25 %.



Obr. 34. Porovnání hodnot modulu pružnosti  $E$ .

Porovnáme-li hodnoty u sklem plněných materiálů, kde již dochází k orientaci plniva je situace následující. U sklem plněných materiálů s obsahem 15 % až 25 % dosahuje nejvyšších hodnot modulu pružnosti vtokové ústí A1 ve směru L. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami těchto materiálů pro jednotlivé vtoky je až 50 %.

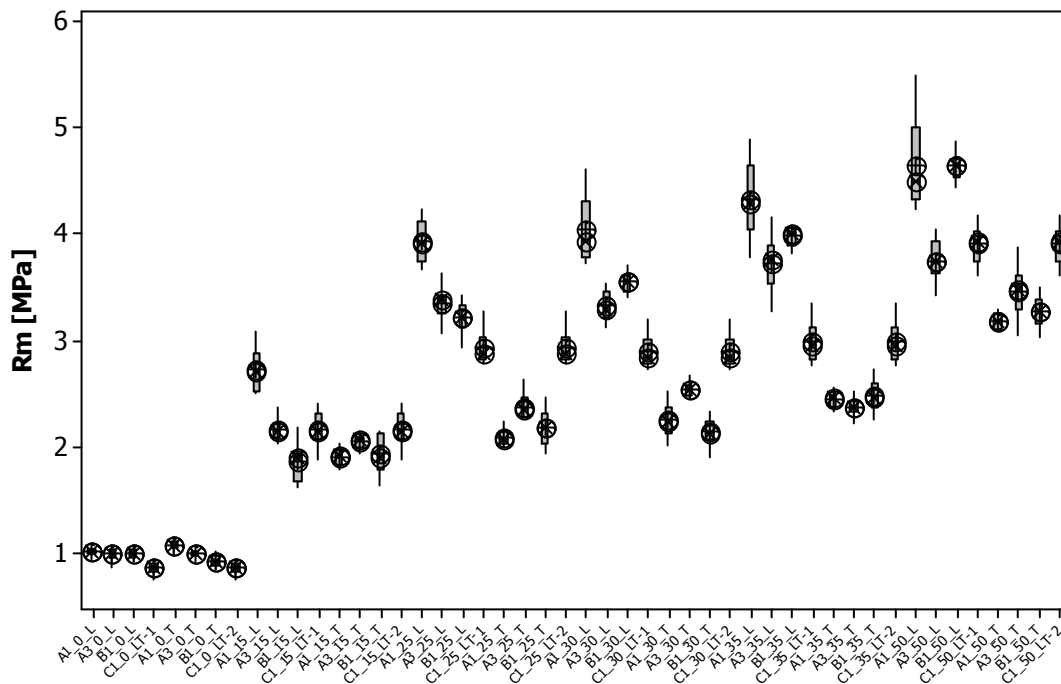
Pro materiály s obsahem plniva 30 % až 50 % dosahuje nejvyšších hodnot vějířové vtokové ústí B1 ve směru L. Nejnižších hodnot dosahuje vtok A1 ve směru T. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami těchto materiálů pro jednotlivé vtoky je až 52 %.

Zhodnocením výsledků modulu pružnosti  $E$  u plněných a neplněných materiálů lze říci, že vtokové ústí zde hraje významnou roli. Největší rozdíl mezi zjištěnými hodnotami byl až 52 %. Nejvyšších hodnot pro neplněné materiály dosahuje vtokové ústí B1 ve směru L. Toto vtokové ústí dosahuje nejvyšších hodnot i pro materiály s obsahem plniva 30 % a výše. Nejnižší hodnoty dosahuje vtok A1 ve směru T.

### 9.2.2 Mez pevnosti $R_m$

Z výsledků testovací statistiky umístěné v příloze PX - PXII a z grafu porovnání hodnot meze pevnosti  $R_m$  pro jednotlivé vtoky a materiály (Obr. 35) vyplývá, že u sklem neplněného materiálu dosahuje nejvyšších hodnot meze pevnosti A1 ve směru T. Ve směru L

jsou hodnoty meze pevnosti pro tento materiál velmi podobné. Nejnižších hodnot dosahuje vtokové ústí C1 umístěného do středu. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami těchto vtoků je přibližně 20 %.



Obr. 35. Porovnání hodnot meze pevnosti  $R_m$ .

Porovnáme-li hodnoty u sklem plněných materiálů, dosahuje nejvyšších hodnot filmového vtokové ústí A1 ve směru L. Vtokové ústí A1 při namáhání kolmo na směr toku taveniny dosahuje nejnižších hodnot. Nejvyšších hodnot při namáhání v tomto směru dosahuje vtokové ústí C1 umístěného do středu. Rozdíl mezi průměrnými hodnotami těchto vtoků je přibližně 50 %.

U sklem neplněných materiálů jsou rozdíly mezi směry L a T nepatrné. S rostoucím stupněm plnění skleněnými vlákny roste rozdíl mezi oběma směry.

Zhodnocením dosažených výsledků lze říci, že nejvyšších hodnot meze pevnosti bylo dosaženo u filmového vtokového ústí A1, především vhodné je pro namáhání ve směru toku taveniny (směr L). Nejnižších hodnot dosahovaly vtokové ústí A1 a B1 namáhané v kolmém směru na tok taveniny.

### 9.2.3 Zhodnocení ohybové zkoušky

Na základě naměřených hodnot a vyhodnocení výsledků ohybové zkoušky lze říci, že vtokové ústí docela výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti polymerních dílů namáhaných ohybem. Při hodnocení průměrných hodnot modulu pružnosti a meze pevnosti v ohybu bylo dosaženo až 50% rozdílu.

S vyšším stupněm plnění skleněnými vlákny rostly v případě hodnocení modulu pružnosti také rozdíly mezi jednotlivými vtokovými ústími. Nejvyšších hodnot modulu pružnosti a meze pevnosti dosahovaly materiály s nejvyšším tj. 50% stupněm plnění.

Při porovnání hodnot modulu pružnosti a meze pevnosti ve směrech L a T, lze říci, že v případě sklem neplněných vláken jsou rozdíly mezi směrem L a T nepatrné. Výrazně nižších hodnot dosahuje pouze materiál vstřikovaný z vtokového ústí C1. S rostoucím stupněm plnění skleněnými vlákny roste rozdíl mezi oběma směry.

S ohledem na hodnoty modulu pružnosti bych ze skupiny neplněných materiálů doporučil pro vstřikování vějířové vtokové ústí B1, zejména pro výrobky namáhané ve směru toku taveniny (směr L), které dosahovalo nejvyšších hodnot. Z hlediska meze pevnosti dosahuje nejvyšších hodnot vtokové ústí A1, převážně pro výrobky namáhané ve směru T. Nejméně vhodné je použití vtokového ústí C1.

Z hlediska volby vtokového ústí pro materiály s obsahem plnění 15 % až 25 % je nejvhodnější vtokové ústí A1, zejména pro výrobky namáhané ve směru L. Nejméně vhodné z hlediska meze pevnosti a hodnot modulu pružnosti je použití vtokového ústí B1, zejména pro výrobky namáhané ve směru L.

V případě materiálu s obsahem plniva 30 % až 50 % dosahovalo výrazně nejnižších hodnot modulu pružnosti a meze pevnosti vtokového ústí A1, zejména při testování ve směru T. Nejvyšších hodnot modulu pružnosti dosahovalo vtokové ústí B1 při testování ve směru L. U hodnot meze pevnosti pak vtokové ústí A1 v témž směru.

Při výběru nejvhodnějšího vtokového ústí bych zohlednil vlastnosti, které od výrobku požadujeme. Chceme-li, aby výrobek měl vysokou mez pevnosti, pak bych doporučil při namáhání ohybem za zvýšené teploty vtokové ústí A1, zejména pro výrobky namáhané ve směru toku taveniny (směr L). Filmové vtokové ústí zároveň splňuje vyšší požadavky na kvalitu a přesnost výrobku. Nejméně vhodné je použití vtokového ústí B1 ve směru T.

Pro sklem neplněné materiály bych doporučil filmové vtokové ústí A1, nejméně vhodné je vtokového ústí C1.

Při požadavcích na vyšší tuhost výrobku bych doporučil pro materiály s nižším stupněm plnění vtokové ústí A1, zejména pro namáhání ve směru toku taveniny. Pro materiály neplněné a s vysokým stupněm plnění bych doporučil vtokové ústí B1, zejména pro namáhání ve směru toku taveniny. Nejméně vhodné je použití vtokového ústí A1 při namáhání ve směru kolmém na tok taveniny.

Pokud by bylo třeba zvolit materiál s vysokou tuhostí a pevností v ohybu, je třeba volit materiál namáhaný ve směru toku taveniny. Jelikož rozdíly mezi směry L a T dosahují rozdílu až 50%. Naměřená data lze považovat za odpovídající, jelikož hodnoty variačního koeficientu jen ve výjimečných případech přesahovaly hodnotu 20 %. U meze pevnosti variační koeficient nepřekročil hodnotu 10 %.

### 9.3 Zkouška Charpy

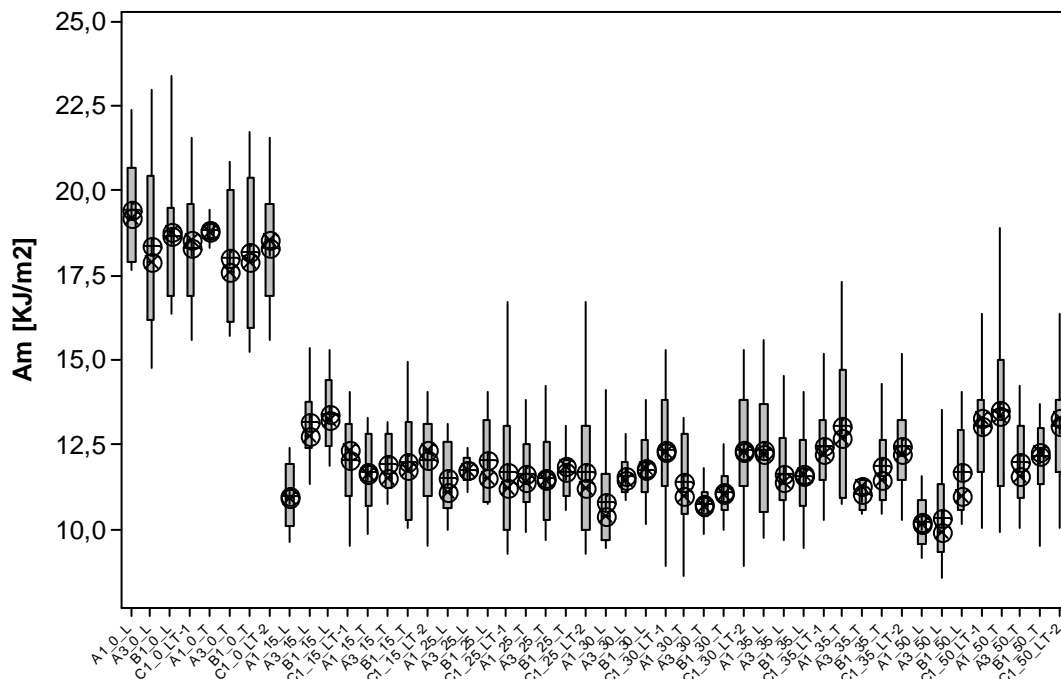
U zkoušky Charpy byla vyhodnocována rázová houževnatost  $A_m$  ve špičce.

#### 9.3.1 Rázová houževnatost $A_m$

Z výsledků testovací statistiky umístěné v příloze PXIII - PXV a z grafu porovnání hodnot rázové houževnatosti  $A_m$  pro jednotlivé vtoky a materiály (Obr. 36) vyplývá, že u sklem neplněného materiálu dosahuje nejvyšších hodnot materiál vstříkovaný z filmového vtokového ústí A1, který byl testován ve směru L. Nejnižších hodnot dosahuje materiál vstříkovaný z vtokového ústí A3 testovaný ve směru T. Rozdíl v průměrné rázové houževnatosti mezi oběma materiály činí přibližně 7 %. Porovnáním hodnot ve směru L a T není dosaženo výraznějších rozdílů. Což je způsobena tím, že nedochází k orientaci vláken.

Při porovnání hodnot u sklem plněných materiálů dosahuje nejvyšších hodnot při namáhání ve směru L vtokové ústí B1. Nejnižších hodnot dosahuje vtokové ústí A1. Při namáhání ve směru T dosahují nejvyšších hodnot materiály z vtokového ústí C1 a A1.

Při porovnání hodnot ve směru L a T nehraje vtokové ústí významnou roli. Rozdíly mezi oběma směry jsou do 10 %. Výjimku tvoří pouze materiál s obsahem plniva 50 %, zde činí rozdíl 25 %.



Obr. 36. Porovnání hodnot rázové houževnatosti  $A_m$ .

Výrazný rozdíl je mezi materiály plněnými a neplněnými skleněnými vlákny. Neplněné materiály mají mnohem vyšší hodnoty rázové houževnatosti. U plněných materiálů se vzrůstajícím podílem skleněných vláken rázová houževnatost výrazněji neklesá. Rozdíly mezi plněnými materiály jsou minimální. Naopak u materiálu s plněním 35 % a 50 % rázová houževnatost ve směru T stoupá.

Zhodnocením dosažených výsledků lze říci, že z hlediska rázové houževnatosti je nejlepší volbou materiál vstřikovaný z kuželového vtokového ústí C1, jelikož pro jednotlivé materiály dosahuje ve všech případech vyšších hodnot rázové houževnatosti. Nelze obecně určit, které vtokové ústí je nejlepší z hlediska volby materiálu pro rázové namáhání, jelikož u jednotlivých materiálů vždy převládá jiné vtokové ústí. Rozdíly mezi průměrnými hodnotami vtokových ústí se pohybují většinou kolem 10 %, čímž lze konstatovat, že oproti zkouškám tahem a ohybem vtokové ústí nehraje u rázové houževnatosti významnější roli. Naměřená data lze považovat za odpovídající, jelikož hodnoty variačního koeficientu nepřesahovaly hodnotu 20 %.



## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjištění vlivu umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti polymerního dílu. Z experimentálně naměřených hodnot z tahové, ohybové a rázové zkoušky za zvýšené teploty bylo zjištěno, že závisí na typu namáhání polymerního dílu.

Na základě naměřených hodnot a vyhodnocení výsledků tahové zkoušky, lze říci, že vtokové ústí výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti polymerních dílů namáhaných tahem za zvýšené teploty. Rozdíly mezi jednotlivými vtokovými ústími pro jednotlivé materiály činily až 50 %. Při výběru nejvhodnějšího vtokového ústí bych doporučil filmové vtokové ústí A1, zejména pro výrobky namáhané ve směru toku taveniny. Tento materiál dle vyhodnocení dosahuje nejlepších výsledků a filmové vtokové ústí zároveň splňuje vyšší požadavky na kvalitu a přesnost výrobku. Dobrých výsledků dosahuje také materiál vstříkovaný z kuželového vtokového ústí C1 ve směru LT, ovšem odstranění tohoto vtokového ústí je mnohem náročnější a zanechává viditelné stopy na výrobku.

V případě ohybem namáhaných výrobků hraje vtokové ústí také významnou roli. Rozdíly mezi jednotlivými vtokovými ústími činily až 50 %. Při výběru nejvhodnějšího vtokového ústí pro ohybem namáhané výrobky, je potřeba zohlednit vlastnosti, které jsou od výrobku požadovány. Při požadavcích na vyšší mez pevnosti bych doporučil materiál vstříkovaný z filmového vtokového ústí A1, zejména pro výrobky namáhané ve směru toku taveniny. Nejméně vhodné je použití vějířového vtokového ústí B1, zejména pro výrobky namáhané kolmo na směr toku taveniny. Při požadavcích na vyšší tuhost výrobku bych volil pro materiály s nižším stupněm plnění skleněnými vlákny filmové vtokové ústí A1, pro materiály neplněné a s vysokým stupněm plnění bych doporučil použití materiálu vstříkovaného z vějířového vtokového ústí B1. Pro obě vtokové ústí je nejvhodnější namáhání výrobku ve směru toku taveniny. Nejméně vhodné je použití vtokového ústí A1 pro výrobky namáhané ve směru kolmém na směr toku taveniny.

V případě namáhání rázem bylo zjištěno, že zřejmě nejlepší volbou je materiál vstříkovaný z kuželového vtokového ústí C1, který dosahoval ve všech případech vysokých hodnot rázové houževnatosti. Nelze obecně určit, které vtokové ústí je nejlepší volbou pro rázové namáhání, jelikož u jednotlivých materiálů vždy převládá jiné vtokové ústí. Rozdíly mezi průměrnými hodnotami pro jednotlivé vtokové ústí se pohybují většinou kolem 10 %, čímž

lze konstatovat, že oproti zkouškám tahem a ohybem vtokové ústí u rázové houževnatosti nehraje významnější roli.

Zhodnocením dosažených výsledků při měření za zvýšené teploty lze říci, že pro namáhání tahem a ohybem je nejvhodnější použití filmového vtokového ústí A1, zejména pro výrobky namáhané ve směru toku taveniny. Nejméně vhodné je použití vtokových ústí A3 a A1 pro výrobky namáhané kolmo na směr toku taveniny. Při rázovém namáhání je nejvhodnější použití vtokového ústí C1 umístěného do středu.

Z celkového hlediska hodnocení vlivu umístění vtokového ústí na mechanické vlastnosti polymerního dílu za zvýšené teploty lze konstatovat, že vtokové ústí výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti polymerního dílu především při namáhání tahem a ohybem.

**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] 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
- [4] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracovávání kaučuků a plastů*. Vyd.1. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická, 1999. 203 s. ISBN 80-7080-367-7.
- [5] MAŇAS, Miroslav; TOMIS, František; HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení: gumárenské a plastikářské stroje*. Brno : VUT, 1990. 199 s. ISBN 802140213X.
- [6] MENGES, Georg; MICHAELI, Walter; MOHREN, Paul. *How to make injection molds*. 3rd ed. Munich : Hanser, 2001. 612 s. ISBN 3446212566.
- [7] MLEZIVA, Josef. *Polymery : výroba, struktura, vlastnosti a použití*. Vyd. 1. Praha : Sobotáles, 1993. 525 s. ISBN 8090157041.
- [8] PETR, Ondřej. *Mechanické vlastnosti dílu z PA v závislosti na umístění vtoku*. Zlín, 2009. 83 s. Bakalářská práce. UTB Zlín.
- [9] ŘASA, Jaroslav; GABRIEL, Vladimír; POKORNÝ, Přemysl. *Strojírenská technologie 3. : Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. 2. vyd. Praha : Scientia, 2005. 221 s. ISBN 80-7183-336-3.
- [10] ŘASA, Jaroslav; GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3. : Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1.
- [11] SOVA, M., KREBS, J., a kol. *Termoplasty v praxi* . Praha : Verlag Dashöfer, 2001. Nestránkováno. ISBN 8086229157.
- [12] TOMIS, František; HELŠTÝN, Josef; KAŇOVSKÝ, Jiří. *Formy a přípravky*. Brno : VUT, 1979. 278 s.

- [13] VLACH, Bohumil. *Technologie obrábění a montáží*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1990. 464 s. ISBN 8003001439.
- [14] VLČEK, Jiří; MAŇAS, Miroslav. *Aplikovaná reologie*. Vyd. 1. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001. 144 s. ISBN 8073180391.
- [15] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů : úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2009. 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.

### Elektronické zdroje

- [16] LENFELD, Petr . *Zpracování plastů* [online]. Technická univerzita Liberec, 2009 [cit.2010-10-16]. Dostupné z WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/obsah\\_plasty.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm)>.
- [17] BASF Plastics Portal : Global Homepage [online]. 2001-2009 [cit. 2011-02-14]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en\\_GB/portal/show/content/products/engineering\\_plastics/ultramid](http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/portal/show/content/products/engineering_plastics/ultramid)>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\varepsilon$	Prodloužení [-]
$\bar{x}$	Odhad aritmetického průměru
IQR	Odhad interkvartilového rozpětí
M	Medián
n	Velikost výběrového souboru
$Q_1$	1. Kvartil
$Q_3$	3. Kvartil
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PE	Polyetylen
pH	Kyselost
PMMA	Polymethylmetakrylát
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PTFE	Polytetrafluoretylen
R	Odhad variačního rozpětí
$R_E$	Mez pružnosti
$R_K$	Mez kluzu [MPa]
$R_m$	Mez pevnosti [MPa]
$R_u$	Mez úměrnosti [MPa]
s	Odhad směrodatné odchylky
$V_x$	Odhad nejistoty měření
$u_a$	Odhad směrodatné odchylky
$V_x$	Odhad variačního koeficientu

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Vstřikovací cyklus [1] .....	14
Obr. 2. Vstřikovací forma [1] .....	18
Obr. 3. Tok taveniny [13] .....	19
Obr. 4. Plný kuželový vtok [6] .....	20
Obr. 5. Bodový vtok v třídeskovém systému formy [6] .....	21
Obr. 6. Tunelový vtok [6] .....	22
Obr. 7. Srpkovitý vtok [6].....	22
Obr. 8. Boční vtok [1].....	23
Obr. 9. Filmový vtok [1].....	23
Obr. 10. Prstencové vtokové ústí [6] .....	24
Obr. 11. Deštníkové a diskové vtokové ústí [6] .....	24
Obr. 12. Vícenásobný vtok [1].....	25
Obr. 13. Rozdělení polymerů [13].....	27
Obr. 14. Pilový list v řezu [9] .....	32
Obr. 15. Tahová křivka [3] .....	35
Obr. 16. Princip ohybové zkoušky [10].....	36
Obr. 17. Charpyho kladivo [10].....	37
Obr. 18. Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420C [8] .....	42
Obr. 19. Vstřikované polymerní díly [8] .....	43
Obr. 20. Frézka FHV-50PD [8] .....	44
Obr. 21. Vtoková ústí.....	45
Obr. 22. Směr řezání těles.....	45
Obr. 23. Směr řezání těles.....	46
Obr. 24. Směr řezání těles.....	47
Obr. 25. Směr řezání těles.....	47

---

Obr. 26. Univerzální testovací stroj ZWICK 1456 [8] .....	48
Obr. 27. Zkouška ohybem.....	49
Obr. 28. Instrumentální kladivo CEAST Resil Impactor Junior.....	50
Obr. 29. Ukázka optického testu odchýlených hodnot .....	51
Obr. 30. Význam box-plotového diagramu .....	52
Obr. 31. Příklad box-plotového diagramu .....	52
Obr. 32. Porovnání hodnot modulu pružnosti E .....	55
Obr. 33. Porovnání hodnot meze pevnosti $R_m$ .....	58
Obr. 34. Porovnání hodnot modulu pružnosti E .....	60
Obr. 35. Porovnání hodnot meze pevnosti $R_m$ .....	61
Obr. 36. Porovnání hodnot rázové houževnatosti $A_m$ .....	64

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Použité materiály .....	41
Tab. 2. Procesní podmínky při vstřikování [8] .....	43
Tab. 3. Procesní podmínky řezání .....	44
Tab. 4. Parametry nastavení testovacího stroje.....	48
Tab. 5. Parametry nastavení testovacího stroje.....	49
Tab. 6. Parametry nastavení charpyho přístroje .....	49



**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I Statistika tah\_modul pružnosti E\_1
- P II Statistika tah\_modul pružnosti E\_2
- P III Grafy tah\_modul pružnosti E
- P IV Statistika tah\_mez pevnosti Rm\_1
- P V Statistika tah\_ mez pevnosti Rm\_2
- P VI Grafy tah\_ mez pevnosti Rm
- P VII Statistika ohyb\_modul pružnosti E\_1
- P VIII Statistika ohyb\_modul pružnosti E\_2
- P IX Grafy ohyb\_modul pružnosti E
- P X Statistika ohyb\_ mez pevnosti Rm\_1
- P XI Statistika ohyb\_ mez pevnosti Rm\_2
- P XII Grafy ohyb\_ mez pevnosti Rm
- P XIII Statistika Charpy\_ rázová houževnatost Am\_1
- P XIV Statistika Charpy\_ rázová houževnatost Am\_2
- P XV Grafy Charpy\_ rázová houževnatost Am
- P XVI CD disk

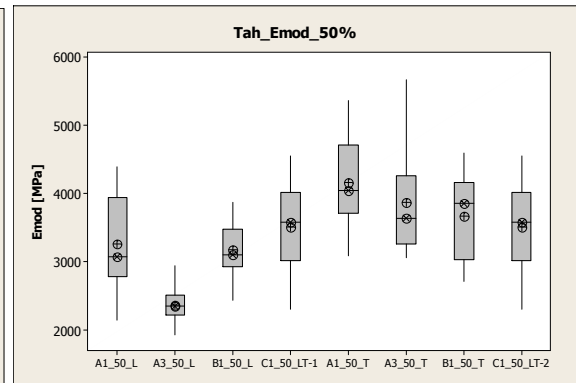
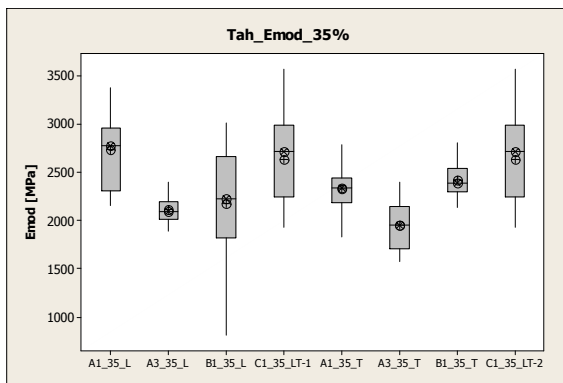
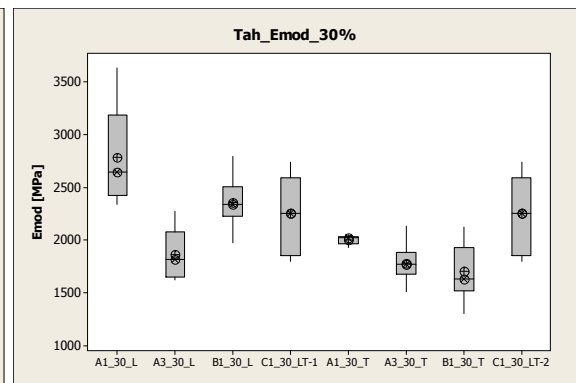
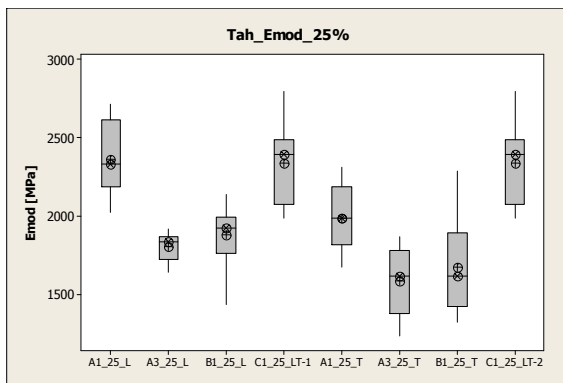
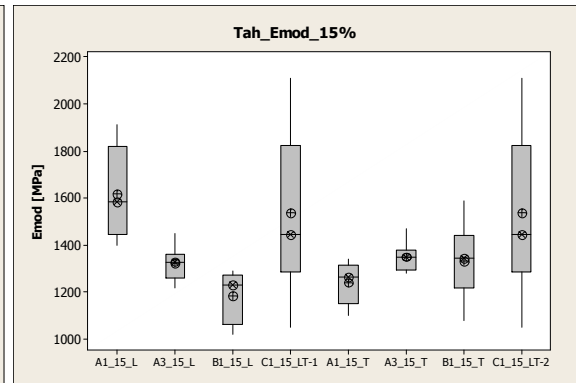
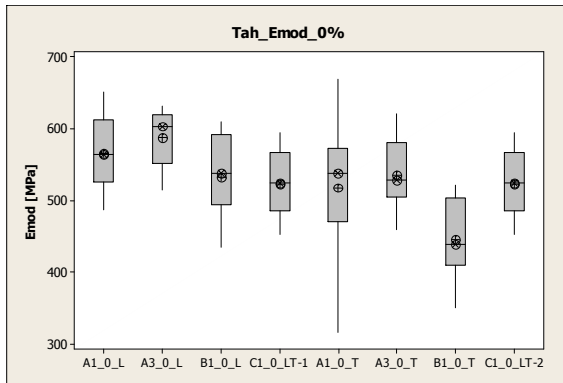
## PŘÍLOHA P I: STATISTIKA TAH\_MODUL PRUŽNOSTI E\_1

Vtokové ústí	Počet zk. těles	Průměr	Nejistota měření	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Minimum
A1_0_L	12	565,8	15,4	53,3	9,41	487,0
A3_0_L	12	587,7	11,6	40,2	6,83	514,0
B1_0_L	11	532,6	17,7	58,7	11,03	435,0
C1_0_LT-1	12	522,5	13,1	45,5	8,70	453,0
A1_0_T	12	517,1	29,4	101,9	19,71	316,0
A3_0_T	12	535,3	13,9	48,1	8,99	459,0
B1_0_T	12	445,3	15,3	52,9	11,87	351,0
C1_0_LT-2	12	522,5	13,1	45,5	8,70	453,0
A1_15_L	12	1616,7	52,6	182,4	11,28	1400,0
A3_15_L	11	1321,8	19,3	63,8	4,83	1220,0
B1_15_L	12	1185,0	30,4	105,4	8,89	1020,0
C1_15_LT-1	12	1539,2	97,2	336,7	21,88	1050,0
A1_15_T	12	1238,3	24,7	85,6	6,91	1100,0
A3_15_T	12	1348,3	16,0	55,4	4,11	1280,0
B1_15_T	12	1333,3	42,8	148,1	11,11	1080,0
C1_15_LT-2	12	1539,2	97,2	336,7	21,88	1050,0
A1_25_L	10	2370,0	76,0	240,4	10,14	2030,0
A3_25_L	10	1811,0	27,5	87,1	4,81	1650,0
B1_25_L	12	1882,5	57,0	197,6	10,50	1440,0
C1_25_LT-1	12	2340,0	71,2	246,8	10,55	1990,0
A1_25_T	11	1991,8	58,8	195,0	9,79	1680,0
A3_25_T	12	1590,8	62,2	215,6	13,55	1240,0
B1_25_T	12	1680,0	80,8	280,0	16,66	1330,0
C1_25_LT-2	12	2340,0	71,2	246,8	10,55	1990,0
A1_30_L	12	2780,0	124,0	431,0	15,50	2340,0
A3_30_L	12	1863,3	64,9	224,7	12,06	1620,0
B1_30_L	12	2355,0	68,4	236,9	10,06	1980,0
C1_30_LT-1	12	2255,8	98,8	342,4	15,18	1800,0
A1_30_T	10	2004,0	13,8	43,5	2,17	1930,0
A3_30_T	12	1783,3	45,9	159,1	8,92	1510,0
B1_30_T	12	1707,5	74,7	258,8	15,16	1310,0
C1_30_LT-2	12	2255,8	98,8	342,4	15,18	1800,0
A1_35_L	11	2743,0	114,0	380,0	13,84	2160,0
A3_35_L	10	2114,0	45,9	145,1	6,86	1890,0
B1_35_L	12	2174,0	180,0	623,0	28,66	817,0
C1_35_LT-1	12	2637,0	139,0	481,0	18,26	1930,0
A1_35_T	12	2331,7	68,6	237,5	10,19	1830,0
A3_35_T	12	1959,2	75,7	262,1	13,38	1580,0
B1_35_T	10	2421,0	60,2	190,5	7,87	2140,0
C1_35_LT-2	12	2637,0	139,0	481,0	18,26	1930,0
A1_50_L	12	3268,0	197,0	683,0	20,91	2160,0
A3_50_L	12	2364,2	76,8	265,9	11,25	1930,0
B1_50_L	11	3176,0	120,0	397,0	12,51	2440,0
C1_50_LT-1	11	3521,0	197,0	654,0	18,57	2310,0
A1_50_T	12	4172,0	194,0	671,0	16,09	3090,0
A3_50_T	11	3881,0	224,0	742,0	19,12	3060,0
B1_50_T	12	3670,0	179,0	619,0	16,87	2720,0
C1_50_LT-2	11	3521,0	197,0	654,0	18,57	2310,0

## PŘÍLOHA P II: STATISTIKA TAH\_MODUL PRUŽNOSTI E\_2

Vtokové ústí	Počet zk. těles	1. Kvartil	Median	3. Kvartil	Maximum	Variační rozpětí	Interkvartil. rozpětí
A1_0_L	12	525,8	563,5	611,8	651,0	164,0	86,0
A3_0_L	12	551,8	602,0	619,0	632,0	118,0	67,3
B1_0_L	11	494,0	538,0	592,0	609,0	174,0	98,0
C1_0_LT-1	12	486,0	523,5	567,3	594,0	141,0	81,3
A1_0_T	12	469,8	538,5	572,8	668,0	352,0	103,0
A3_0_T	12	505,0	528,0	580,3	621,0	162,0	75,3
B1_0_T	12	410,5	438,5	503,0	522,0	171,0	92,5
C1_0_LT-2	12	486,0	523,5	567,3	594,0	141,0	81,3
A1_15_L	12	1445,0	1585,0	1817,5	1910,0	510,0	372,5
A3_15_L	11	1260,0	1330,0	1360,0	1450,0	230,0	100,0
B1_15_L	12	1065,0	1230,0	1275,0	1290,0	270,0	210,0
C1_15_LT-1	12	1287,5	1445,0	1822,5	2110,0	1060,0	535,0
A1_15_T	12	1150,0	1265,0	1317,5	1340,0	240,0	167,5
A3_15_T	12	1292,5	1350,0	1380,0	1470,0	190,0	87,5
B1_15_T	12	1217,5	1345,0	1440,0	1590,0	510,0	222,5
C1_15_LT-2	12	1287,5	1445,0	1822,5	2110,0	1060,0	535,0
A1_25_L	10	2190,0	2335,0	2617,5	2720,0	690,0	427,5
A3_25_L	10	1730,0	1840,0	1872,5	1920,0	270,0	142,5
B1_25_L	12	1765,0	1930,0	1997,5	2140,0	700,0	232,5
C1_25_LT-1	12	2082,5	2400,0	2495,0	2800,0	810,0	412,5
A1_25_T	11	1820,0	1990,0	2190,0	2320,0	640,0	370,0
A3_25_T	12	1385,0	1620,0	1787,5	1870,0	630,0	402,5
B1_25_T	12	1430,0	1625,0	1897,5	2290,0	960,0	467,5
C1_25_LT-2	12	2082,5	2400,0	2495,0	2800,0	810,0	412,5
A1_30_L	12	2425,0	2645,0	3180,0	3630,0	1290,0	755,0
A3_30_L	12	1652,5	1815,0	2077,5	2270,0	650,0	425,0
B1_30_L	12	2222,5	2340,0	2510,0	2790,0	810,0	287,5
C1_30_LT-1	12	1857,5	2255,0	2587,5	2740,0	940,0	730,0
A1_30_T	10	1962,5	2020,0	2035,0	2050,0	120,0	72,5
A3_30_T	12	1675,0	1770,0	1882,5	2130,0	620,0	207,5
B1_30_T	12	1525,0	1630,0	1930,0	2120,0	810,0	405,0
C1_30_LT-2	12	1857,5	2255,0	2587,5	2740,0	940,0	730,0
A1_35_L	11	2310,0	2780,0	2960,0	3380,0	1220,0	650,0
A3_35_L	10	2017,5	2095,0	2195,0	2400,0	510,0	177,5
B1_35_L	12	1818,0	2225,0	2668,0	3010,0	2193,0	850,0
C1_35_LT-1	12	2250,0	2715,0	2993,0	3570,0	1640,0	743,0
A1_35_T	12	2185,0	2345,0	2440,0	2790,0	960,0	255,0
A3_35_T	12	1712,5	1950,0	2150,0	2400,0	820,0	437,5
B1_35_T	10	2302,5	2390,0	2542,5	2810,0	670,0	240,0
C1_35_LT-2	12	2250,0	2715,0	2993,0	3570,0	1640,0	743,0
A1_50_L	12	2790,0	3075,0	3955,0	4390,0	2230,0	1165,0
A3_50_L	12	2220,0	2360,0	2517,5	2950,0	1020,0	297,5
B1_50_L	11	2930,0	3110,0	3490,0	3880,0	1440,0	560,0
C1_50_LT-1	11	3020,0	3580,0	4020,0	4550,0	2240,0	1000,0
A1_50_T	12	3720,0	4050,0	4718,0	5370,0	2280,0	998,0
A3_50_T	11	3270,0	3650,0	4270,0	5670,0	2610,0	1000,0
B1_50_T	12	3033,0	3865,0	4165,0	4600,0	1880,0	1133,0
C1_50_LT-2	11	3020,0	3580,0	4020,0	4550,0	2240,0	1000,0

# PŘÍLOHA P III: GRAFY TAH\_MODUL PRUŽNOSTI E



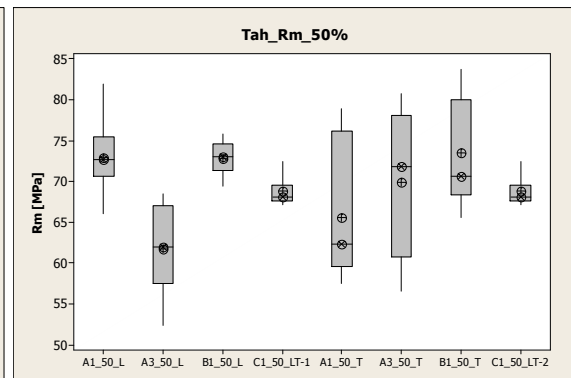
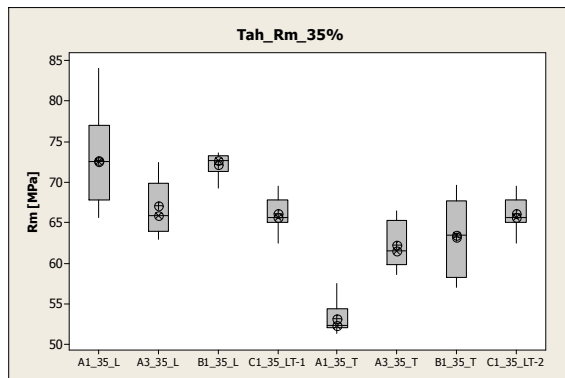
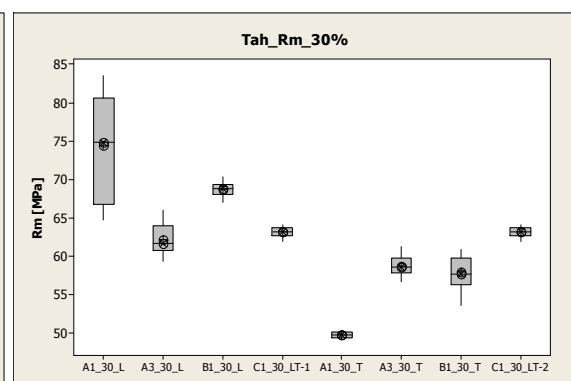
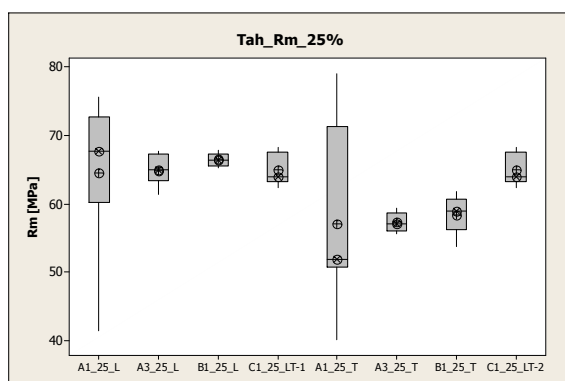
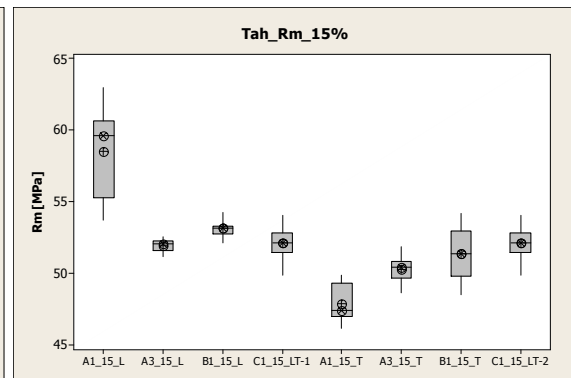
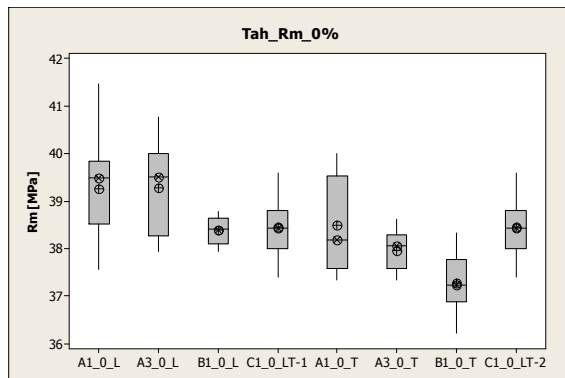
## PŘÍLOHA P IV: STATISTIKA TAH\_MEZ PEVNOSTI RM\_1

Vtkové ústí	Počet zk. těles	Průměr	Nejistota měření	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Minimum
A1_0_L	12	39,279	0,298	1,031	2,62	37,580
A3_0_L	12	39,300	0,261	0,905	2,30	37,940
B1_0_L	10	38,396	0,091	0,286	0,75	37,940
C1_0_LT-1	12	38,464	0,175	0,606	1,58	37,400
A1_0_T	12	38,501	0,286	0,992	2,58	37,350
A3_0_T	10	37,968	0,136	0,431	1,14	37,350
B1_0_T	12	37,281	0,167	0,580	1,56	36,220
C1_0_LT-2	12	38,464	0,175	0,606	1,58	37,400
A1_15_L	12	58,539	0,845	2,926	5,00	53,760
A3_15_L	12	51,973	0,129	0,447	0,86	51,180
B1_15_L	11	53,158	0,185	0,613	1,15	52,180
C1_15_LT-1	10	52,122	0,363	1,148	2,20	49,870
A1_15_T	11	47,925	0,377	1,249	2,61	46,150
A3_15_T	12	50,316	0,268	0,928	1,84	48,660
B1_15_T	12	51,400	0,520	1,800	3,50	48,510
C1_15_LT-2	10	52,122	0,363	1,148	2,20	49,870
A1_25_L	12	64,560	3,020	10,450	16,19	41,520
A3_25_L	11	64,855	0,692	2,295	3,54	61,350
B1_25_L	11	66,471	0,277	0,917	1,38	65,250
C1_25_LT-1	12	64,898	0,639	2,214	3,41	62,390
A1_25_T	12	57,030	3,660	12,670	22,21	40,220
A3_25_T	12	57,334	0,370	1,283	2,24	55,590
B1_25_T	12	58,399	0,737	2,552	4,37	53,730
C1_25_LT-2	12	64,898	0,639	2,214	3,41	62,390
A1_30_L	12	74,400	1,950	6,750	9,07	64,730
A3_30_L	12	62,241	0,625	2,165	3,48	59,340
B1_30_L	11	68,647	0,280	0,929	1,35	67,050
C1_30_LT-1	10	63,174	0,210	0,663	1,05	61,890
A1_30_T	10	49,770	0,129	0,407	0,82	49,190
A3_30_T	12	58,786	0,410	1,419	2,41	56,700
B1_30_T	11	57,945	0,693	2,300	3,97	53,600
C1_30_LT-2	10	63,174	0,210	0,663	1,05	61,890
A1_35_L	10	72,620	1,840	5,810	8,00	65,660
A3_35_L	11	67,105	0,977	3,242	4,83	62,950
B1_35_L	12	72,176	0,416	1,439	1,99	69,310
C1_35_LT-1	12	66,111	0,549	1,903	2,88	62,460
A1_35_T	10	53,257	0,616	1,947	3,66	51,390
A3_35_T	12	62,227	0,798	2,765	4,44	58,640
B1_35_T	12	63,210	1,350	4,690	7,41	57,110
C1_35_LT-2	12	66,111	0,549	1,903	2,88	62,460
A1_50_L	12	72,890	1,260	4,360	5,98	66,010
A3_50_L	12	61,700	1,520	5,270	8,55	52,410
B1_50_L	12	72,824	0,616	2,135	2,93	69,380
C1_50_LT-1	10	68,781	0,546	1,727	2,51	67,140
A1_50_T	11	65,630	2,350	7,790	11,87	57,540
A3_50_T	12	69,870	2,610	9,020	12,91	56,630
B1_50_T	12	73,470	1,830	6,340	8,63	65,570
C1_50_LT-2	10	68,781	0,546	1,727	2,51	67,140

## PŘÍLOHA P V: STATISTIKA TAH\_MEZ PEVNOSTI RM\_2

Vtokové ústí	Počet zk. těles	1. Kvartil	Median	3. Kvartil	Maximum	Variační rozpětí	Interkvartil. rozpětí
A1_0_L	12	38,523	39,505	39,848	41,480	3,900	1,325
A3_0_L	12	38,270	39,510	40,020	40,770	2,830	1,750
B1_0_L	10	38,110	38,410	38,653	38,790	0,850	0,542
C1_0_LT-1	12	38,003	38,450	38,810	39,600	2,200	0,808
A1_0_T	12	37,590	38,195	39,548	40,010	2,660	1,957
A3_0_T	10	37,603	38,070	38,288	38,620	1,270	0,685
B1_0_T	12	36,885	37,240	37,783	38,330	2,110	0,898
C1_0_LT-2	12	38,003	38,450	38,810	39,600	2,200	0,808
A1_15_L	12	55,295	59,640	60,673	63,010	9,250	5,377
A3_15_L	12	51,568	52,115	52,315	52,530	1,350	0,748
B1_15_L	11	52,740	53,200	53,350	54,260	2,080	0,610
C1_15_LT-1	10	51,463	52,135	52,855	54,100	4,230	1,393
A1_15_T	11	46,980	47,420	49,340	49,860	3,710	2,360
A3_15_T	12	49,670	50,450	50,878	51,860	3,200	1,208
B1_15_T	12	49,808	51,425	52,945	54,230	5,720	3,138
C1_15_LT-2	10	51,463	52,135	52,855	54,100	4,230	1,393
A1_25_L	12	60,180	67,640	72,730	75,500	33,980	12,550
A3_25_L	11	63,340	65,010	67,250	67,700	6,350	3,910
B1_25_L	11	65,480	66,420	67,250	67,830	2,580	1,770
C1_25_LT-1	12	63,240	63,895	67,568	68,270	5,880	4,327
A1_25_T	12	50,740	51,900	71,260	78,970	38,750	20,530
A3_25_T	12	56,080	57,090	58,695	59,330	3,740	2,615
B1_25_T	12	56,295	58,960	60,710	61,790	8,060	4,415
C1_25_LT-2	12	63,240	63,895	67,568	68,270	5,880	4,327
A1_30_L	12	66,830	74,880	80,550	83,560	18,830	13,720
A3_30_L	12	60,850	61,730	63,938	66,010	6,670	3,087
B1_30_L	11	68,050	68,840	69,310	70,340	3,290	1,260
C1_30_LT-1	10	62,715	63,260	63,730	64,090	2,200	1,015
A1_30_T	10	49,448	49,810	50,185	50,340	1,150	0,737
A3_30_T	12	57,890	58,635	59,733	61,250	4,550	1,843
B1_30_T	11	56,270	57,700	59,790	60,910	7,310	3,520
C1_30_LT-2	10	62,715	63,260	63,730	64,090	2,200	1,015
A1_35_L	10	67,790	72,590	76,980	83,990	18,330	9,190
A3_35_L	11	64,020	65,890	69,900	72,470	9,520	5,880
B1_35_L	12	71,390	72,610	73,318	73,580	4,270	1,927
C1_35_LT-1	12	65,035	65,640	67,878	69,460	7,000	2,842
A1_35_T	10	52,110	52,410	54,460	57,510	6,120	2,350
A3_35_T	12	59,908	61,565	65,323	66,510	7,870	5,415
B1_35_T	12	58,280	63,480	67,710	69,620	12,510	9,430
C1_35_LT-2	12	65,035	65,640	67,878	69,460	7,000	2,842
A1_50_L	12	70,650	72,700	75,370	81,850	15,840	4,720
A3_50_L	12	57,500	62,020	67,040	68,480	16,070	9,540
B1_50_L	12	71,320	73,070	74,628	75,780	6,400	3,308
C1_50_LT-1	10	67,618	68,100	69,600	72,470	5,330	1,982
A1_50_T	11	59,620	62,310	76,170	78,940	21,400	16,550
A3_50_T	12	60,840	71,880	78,030	80,720	24,090	17,190
B1_50_T	12	68,350	70,630	80,030	83,690	18,120	11,680
C1_50_LT-2	10	67,618	68,100	69,600	72,470	5,330	1,982

## PŘÍLOHA P VI: GRAFY TAH\_MEZ PEVNOSTI RM



## PŘÍLOHA P VII: STATISTIKA OHYB\_MODUL PRUŽNOSTI E\_1

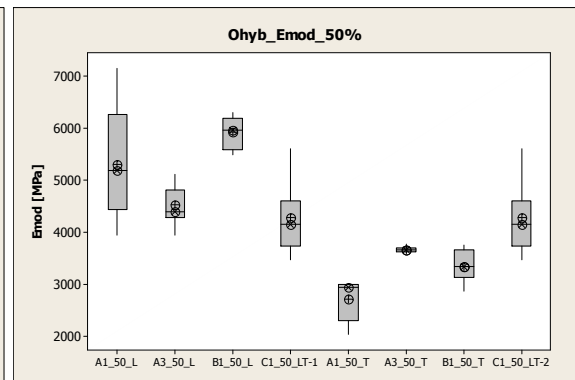
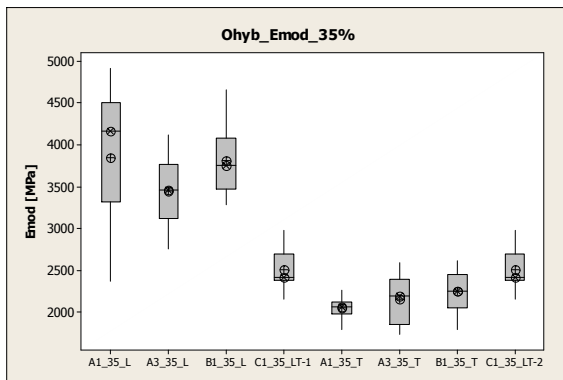
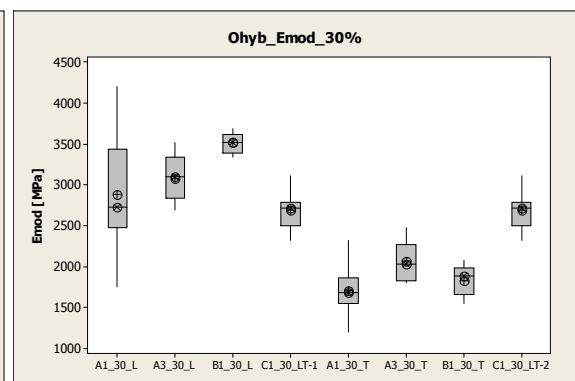
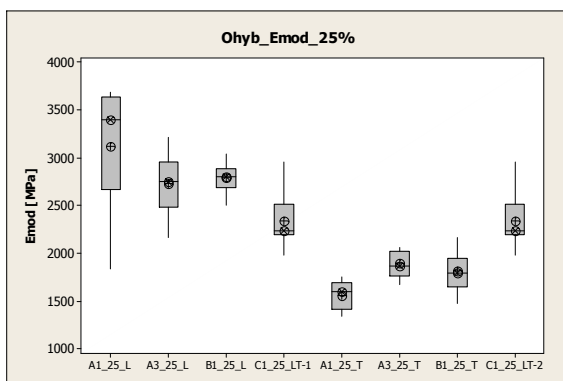
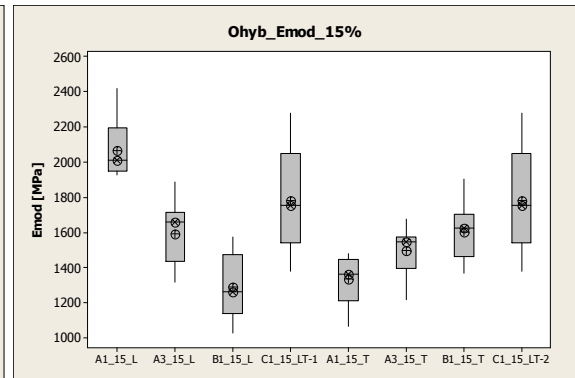
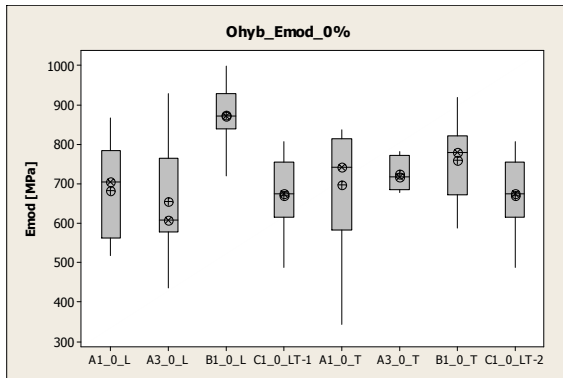
Vtkové ústí	Počet zk. těles	Průměr	Nejistota měření	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Minimum
A1_0_L	12	681,8	34,1	118,1	17,33	519,0
A3_0_L	12	655,3	41,1	142,2	21,70	437,0
B1_0_L	10	872,9	23,4	74,0	8,48	721,0
C1_0_LT-1	12	670,4	29,6	102,5	15,29	489,0
A1_0_T	12	696,3	43,1	149,3	21,45	345,0
A3_0_T	11	724,7	11,5	38,1	5,25	677,0
B1_0_T	12	760,4	28,4	98,4	12,93	588,0
C1_0_LT-2	12	670,4	29,6	102,5	15,29	489,0
A1_15_L	12	2071,7	44,5	154,1	7,44	1930,0
A3_15_L	12	1596,7	53,0	183,5	11,49	1320,0
B1_15_L	12	1290,8	55,3	191,7	14,85	1030,0
C1_15_LT-1	12	1785,8	85,5	296,2	16,59	1380,0
A1_15_T	12	1335,0	38,7	133,9	10,03	1070,0
A3_15_T	12	1500,8	41,0	142,0	9,46	1220,0
B1_15_T	12	1608,3	43,0	149,1	9,27	1370,0
C1_15_LT-2	12	1785,8	85,5	296,2	16,59	1380,0
A1_25_L	12	3120,0	184,0	636,0	20,39	1840,0
A3_25_L	11	2730,0	97,3	322,7	11,82	2170,0
B1_25_L	12	2792,5	43,9	152,1	5,45	2510,0
C1_25_LT-1	12	2341,7	78,4	271,7	11,60	1980,0
A1_25_T	12	1560,8	41,1	142,3	9,12	1340,0
A3_25_T	11	1893,6	41,4	137,3	7,25	1670,0
B1_25_T	12	1811,7	57,5	199,3	11,00	1480,0
C1_25_LT-2	12	2341,7	78,4	271,7	11,60	1980,0
A1_30_L	12	2894,0	193,0	668,0	23,08	1760,0
A3_30_L	10	3084,0	86,3	273,1	8,85	2700,0
B1_30_L	10	3521,0	38,5	121,7	3,46	3350,0
C1_30_LT-1	12	2694,2	66,5	230,5	8,56	2320,0
A1_30_T	12	1710,4	77,6	268,9	15,72	1210,0
A3_30_T	10	2075,0	78,0	246,5	11,88	1810,0
B1_30_T	11	1831,8	54,2	179,8	9,82	1550,0
C1_30_LT-2	12	2694,2	66,5	230,5	8,56	2320,0
A1_35_L	12	3849,0	241,0	835,0	21,69	2370,0
A3_35_L	11	3444,0	129,0	428,0	12,43	2760,0
B1_35_L	12	3815,0	117,0	404,0	10,60	3280,0
C1_35_LT-1	12	2505,0	68,5	237,1	9,47	2160,0
A1_35_T	11	2052,7	36,1	119,8	5,83	1800,0
A3_35_T	12	2155,0	85,0	294,4	13,66	1740,0
B1_35_T	12	2250,0	72,2	250,3	11,12	1800,0
C1_35_LT-2	12	2505,0	68,5	237,1	9,47	2160,0
A1_50_L	12	5292,0	289,0	1002,0	18,94	3940,0
A3_50_L	12	4515,0	104,0	359,0	7,95	3940,0
B1_50_L	12	5913,3	86,8	300,6	5,08	5480,0
C1_50_LT-1	11	4286,0	204,0	676,0	15,76	3460,0
A1_50_T	12	2706,0	109,0	377,0	13,93	2040,0
A3_50_T	10	3664,0	16,3	51,5	1,40	3600,0
B1_50_T	12	3345,0	84,0	290,9	8,70	2870,0
C1_50_LT-2	11	4286,0	204,0	676,0	15,76	3460,0



## PŘÍLOHA P VIII: STATISTIKA OHYB\_MODUL PRUŽNOSTI E\_2

Vtokové ústí	Počet zk. těles	1. Kvartil	Median	3. Kvartil	Maximum	Variační rozpětí	Interkvartil. rozpětí
A1_0_L	12	562,3	704,5	783,8	867,0	348,0	221,5
A3_0_L	12	578,5	607,0	765,0	929,0	492,0	186,5
B1_0_L	10	839,5	871,5	927,8	999,0	278,0	88,3
C1_0_LT-1	12	615,5	674,0	753,8	807,0	318,0	138,3
A1_0_T	12	583,8	741,0	815,3	836,0	491,0	231,5
A3_0_T	11	684,0	718,0	771,0	781,0	104,0	87,0
B1_0_T	12	673,5	779,0	823,0	919,0	331,0	149,5
C1_0_LT-2	12	615,5	674,0	753,8	807,0	318,0	138,3
A1_15_L	12	1952,5	2015,0	2197,5	2420,0	490,0	245,0
A3_15_L	12	1437,5	1660,0	1717,5	1890,0	570,0	280,0
B1_15_L	12	1142,5	1265,0	1477,5	1580,0	550,0	335,0
C1_15_LT-1	12	1545,0	1755,0	2055,0	2280,0	900,0	510,0
A1_15_T	12	1212,5	1365,0	1450,0	1480,0	410,0	237,5
A3_15_T	12	1400,0	1550,0	1577,5	1680,0	460,0	177,5
B1_15_T	12	1467,5	1630,0	1705,0	1910,0	540,0	237,5
C1_15_LT-2	12	1545,0	1755,0	2055,0	2280,0	900,0	510,0
A1_25_L	12	2668,0	3400,0	3640,0	3690,0	1850,0	973,0
A3_25_L	11	2480,0	2750,0	2960,0	3210,0	1040,0	480,0
B1_25_L	12	2690,0	2805,0	2882,5	3040,0	530,0	192,5
C1_25_LT-1	12	2200,0	2240,0	2515,0	2960,0	980,0	315,0
A1_25_T	12	1417,5	1600,0	1690,0	1750,0	410,0	272,5
A3_25_T	11	1770,0	1870,0	2020,0	2060,0	390,0	250,0
B1_25_T	12	1650,0	1800,0	1955,0	2170,0	690,0	305,0
C1_25_LT-2	12	2200,0	2240,0	2515,0	2960,0	980,0	315,0
A1_30_L	12	2483,0	2735,0	3440,0	4210,0	2450,0	958,0
A3_30_L	10	2835,0	3105,0	3350,0	3520,0	820,0	515,0
B1_30_L	10	3395,0	3530,0	3625,0	3690,0	340,0	230,0
C1_30_LT-1	12	2505,0	2720,0	2795,0	3120,0	800,0	290,0
A1_30_T	12	1552,5	1690,0	1870,0	2320,0	1110,0	317,5
A3_30_T	10	1827,5	2035,0	2272,5	2480,0	670,0	445,0
B1_30_T	11	1660,0	1890,0	1990,0	2080,0	530,0	330,0
C1_30_LT-2	12	2505,0	2720,0	2795,0	3120,0	800,0	290,0
A1_35_L	12	3315,0	4165,0	4508,0	4910,0	2540,0	1193,0
A3_35_L	11	3120,0	3460,0	3760,0	4120,0	1360,0	640,0
B1_35_L	12	3475,0	3755,0	4078,0	4650,0	1370,0	603,0
C1_35_LT-1	12	2387,5	2420,0	2692,5	2980,0	820,0	305,0
A1_35_T	11	1980,0	2070,0	2120,0	2260,0	460,0	140,0
A3_35_T	12	1857,5	2200,0	2397,5	2590,0	850,0	540,0
B1_35_T	12	2052,5	2250,0	2457,5	2620,0	820,0	405,0
C1_35_LT-2	12	2387,5	2420,0	2692,5	2980,0	820,0	305,0
A1_50_L	12	4435,0	5180,0	6250,0	7140,0	3200,0	1815,0
A3_50_L	12	4283,0	4390,0	4803,0	5110,0	1170,0	520,0
B1_50_L	12	5587,5	5950,0	6182,5	6300,0	820,0	595,0
C1_50_LT-1	11	3740,0	4140,0	4600,0	5600,0	2140,0	860,0
A1_50_T	12	2298,0	2945,0	2990,0	3010,0	970,0	693,0
A3_50_T	10	3627,5	3650,0	3702,5	3770,0	170,0	75,0
B1_50_T	12	3132,5	3335,0	3652,5	3760,0	890,0	520,0
C1_50_LT-2	11	3740,0	4140,0	4600,0	5600,0	2140,0	860,0

# PŘÍLOHA P IX: GRAFY OHYB\_MODUL PRUŽNOSTI E



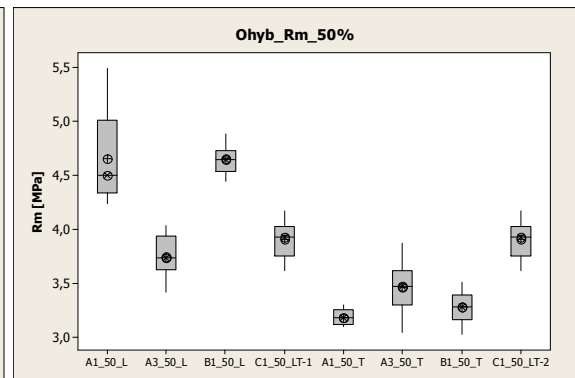
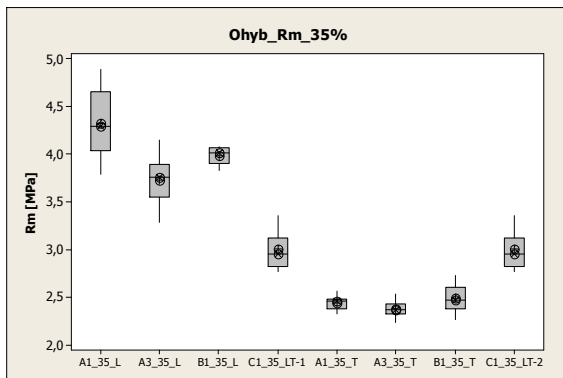
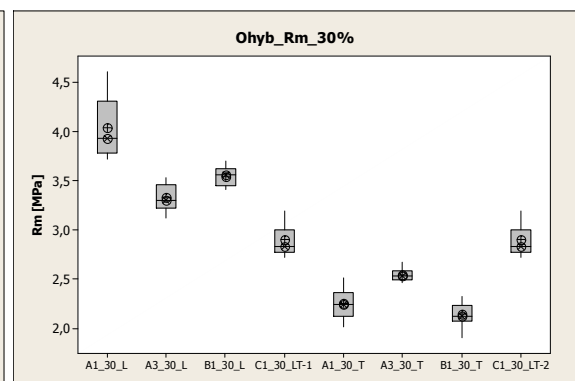
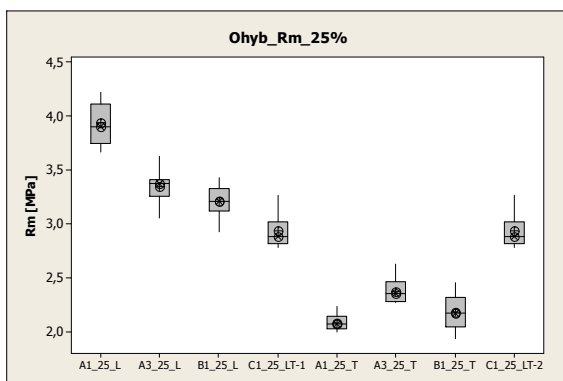
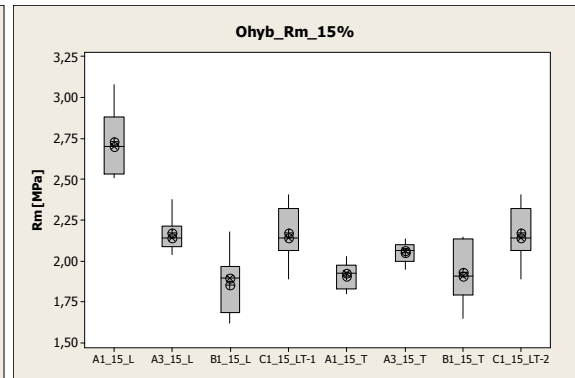
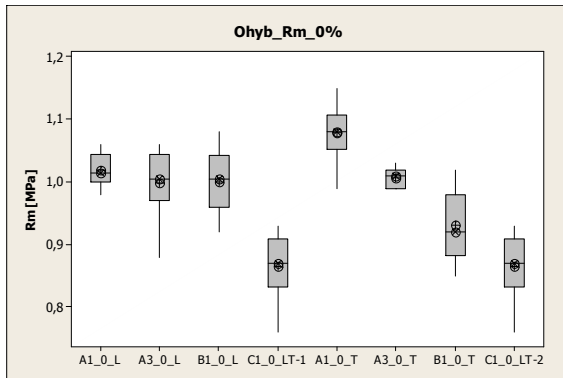
## PŘÍLOHA P X: STATISTIKA OHYB\_MEZ PEVNOSTI RM\_1

Vtokové ústí	Počet zk. těles	Průměr	Nejistota měření	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Minimum
A1_0_L	12	1,020	0,008	0,027	2,61	0,980
A3_0_L	12	0,999	0,015	0,053	5,29	0,880
B1_0_L	12	1,000	0,014	0,049	4,90	0,920
C1_0_LT-1	12	0,866	0,014	0,049	5,71	0,760
A1_0_T	12	1,079	0,013	0,043	4,00	0,990
A3_0_T	10	1,007	0,004	0,014	1,41	0,990
B1_0_T	12	0,931	0,016	0,056	6,00	0,850
C1_0_LT-2	12	0,866	0,014	0,049	5,71	0,760
A1_15_L	12	2,731	0,057	0,199	7,28	2,510
A3_15_L	12	2,171	0,031	0,107	4,95	2,040
B1_15_L	12	1,858	0,049	0,170	9,15	1,620
C1_15_LT-1	12	2,173	0,046	0,158	7,26	1,890
A1_15_T	12	1,908	0,022	0,075	3,95	1,800
A3_15_T	12	2,053	0,018	0,062	3,04	1,950
B1_15_T	12	1,934	0,053	0,182	9,42	1,650
C1_15_LT-2	12	2,173	0,046	0,158	7,26	1,890
A1_25_L	12	3,943	0,056	0,194	4,93	3,670
A3_25_L	12	3,355	0,046	0,161	4,79	3,060
B1_25_L	12	3,218	0,044	0,152	4,71	2,930
C1_25_LT-1	12	2,946	0,048	0,165	5,59	2,790
A1_25_T	12	2,089	0,020	0,071	3,38	2,000
A3_25_T	12	2,378	0,032	0,112	4,69	2,280
B1_25_T	12	2,181	0,045	0,157	7,18	1,940
C1_25_LT-2	12	2,946	0,048	0,165	5,59	2,790
A1_30_L	12	4,044	0,089	0,307	7,58	3,720
A3_30_L	12	3,333	0,038	0,130	3,90	3,130
B1_30_L	12	3,549	0,026	0,090	2,54	3,410
C1_30_LT-1	12	2,902	0,046	0,159	5,49	2,730
A1_30_T	12	2,255	0,046	0,159	7,05	2,020
A3_30_T	12	2,547	0,019	0,066	2,57	2,470
B1_30_T	12	2,146	0,033	0,115	5,35	1,910
C1_30_LT-2	12	2,902	0,046	0,159	5,49	2,730
A1_35_L	12	4,321	0,097	0,334	7,73	3,790
A3_35_L	12	3,729	0,071	0,247	6,62	3,280
B1_35_L	12	3,987	0,026	0,089	2,23	3,830
C1_35_LT-1	12	3,003	0,057	0,196	6,53	2,770
A1_35_T	12	2,443	0,020	0,068	2,77	2,330
A3_35_T	10	2,377	0,026	0,082	3,46	2,230
B1_35_T	12	2,494	0,042	0,146	5,86	2,270
C1_35_LT-2	12	3,003	0,057	0,196	6,53	2,770
A1_50_L	12	4,653	0,123	0,425	9,12	4,240
A3_50_L	12	3,744	0,056	0,194	5,19	3,420
B1_50_L	12	4,652	0,039	0,137	2,93	4,450
C1_50_LT-1	10	3,909	0,054	0,171	4,38	3,620
A1_50_T	12	3,186	0,021	0,072	2,27	3,100
A3_50_T	12	3,463	0,062	0,216	6,24	3,050
B1_50_T	12	3,283	0,041	0,144	4,37	3,030
C1_50_LT-2	10	3,909	0,054	0,171	4,38	3,620

## PŘÍLOHA P XI: STATISTIKA OHYB\_MEZ PEVNOSTI RM\_2

Vtokové ústí	Počet zk. těles	1. Kvartil	Median	3. Kvartil	Maximum	Variační rozpětí	Interkvartil. rozpětí
A1_0_L	12	1,000	1,015	1,045	1,060	0,080	0,045
A3_0_L	12	0,970	1,005	1,045	1,060	0,180	0,075
B1_0_L	12	0,960	1,005	1,043	1,080	0,160	0,083
C1_0_LT-1	12	0,833	0,870	0,910	0,930	0,170	0,078
A1_0_T	12	1,053	1,080	1,108	1,150	0,160	0,055
A3_0_T	10	0,990	1,010	1,020	1,030	0,040	0,030
B1_0_T	12	0,883	0,920	0,980	1,020	0,170	0,098
C1_0_LT-2	12	0,833	0,870	0,910	0,930	0,170	0,078
A1_15_L	12	2,533	2,705	2,883	3,080	0,570	0,350
A3_15_L	12	2,093	2,145	2,215	2,380	0,340	0,123
B1_15_L	12	1,685	1,900	1,968	2,180	0,560	0,283
C1_15_LT-1	12	2,065	2,145	2,325	2,410	0,520	0,260
A1_15_T	12	1,830	1,925	1,975	2,030	0,230	0,145
A3_15_T	12	1,998	2,065	2,100	2,140	0,190	0,103
B1_15_T	12	1,798	1,910	2,135	2,150	0,500	0,338
C1_15_LT-2	12	2,065	2,145	2,325	2,410	0,520	0,260
A1_25_L	12	3,753	3,910	4,115	4,230	0,560	0,363
A3_25_L	12	3,258	3,380	3,418	3,630	0,570	0,160
B1_25_L	12	3,120	3,215	3,338	3,430	0,500	0,218
C1_25_LT-1	12	2,823	2,885	3,025	3,270	0,480	0,203
A1_25_T	12	2,028	2,080	2,145	2,240	0,240	0,118
A3_25_T	12	2,285	2,355	2,468	2,630	0,350	0,183
B1_25_T	12	2,045	2,180	2,323	2,460	0,520	0,278
C1_25_LT-2	12	2,823	2,885	3,025	3,270	0,480	0,203
A1_30_L	12	3,783	3,930	4,310	4,610	0,890	0,528
A3_30_L	12	3,223	3,300	3,460	3,530	0,400	0,238
B1_30_L	12	3,458	3,560	3,623	3,700	0,290	0,165
C1_30_LT-1	12	2,780	2,835	3,008	3,200	0,470	0,228
A1_30_T	12	2,125	2,245	2,365	2,520	0,500	0,240
A3_30_T	12	2,493	2,540	2,585	2,680	0,210	0,093
B1_30_T	12	2,078	2,130	2,240	2,330	0,420	0,163
C1_30_LT-2	12	2,780	2,835	3,008	3,200	0,470	0,228
A1_35_L	12	4,038	4,295	4,648	4,890	1,100	0,610
A3_35_L	12	3,548	3,760	3,890	4,150	0,870	0,343
B1_35_L	12	3,903	4,015	4,068	4,080	0,250	0,165
C1_35_LT-1	12	2,820	2,950	3,120	3,360	0,590	0,300
A1_35_T	12	2,375	2,460	2,478	2,560	0,230	0,103
A3_35_T	10	2,330	2,370	2,430	2,530	0,300	0,100
B1_35_T	12	2,380	2,475	2,608	2,730	0,460	0,228
C1_35_LT-2	12	2,820	2,950	3,120	3,360	0,590	0,300
A1_50_L	12	4,338	4,505	5,010	5,490	1,250	0,672
A3_50_L	12	3,625	3,740	3,938	4,040	0,620	0,313
B1_50_L	12	4,538	4,650	4,728	4,880	0,430	0,190
C1_50_LT-1	10	3,755	3,925	4,033	4,170	0,550	0,278
A1_50_T	12	3,115	3,180	3,253	3,300	0,200	0,138
A3_50_T	12	3,298	3,475	3,618	3,870	0,820	0,320
B1_50_T	12	3,163	3,280	3,388	3,510	0,480	0,225
C1_50_LT-2	10	3,755	3,925	4,033	4,170	0,550	0,278

## PŘÍLOHA P XII: GRAFY OHYB\_MEZ PEVNOSTI RM



**PŘÍLOHA P XIII: STATISTIKA CHARPY\_RÁZOVÁ**  
**HOUŽEVNATOST AM\_1**

Vtokové ústí	Počet zk. těles	Průměr	Nejistota měření	Směrodatná odchylka	Variační koeficient	Minimum
A1_0_L	12	19,452	0,461	1,597	8,21	17,670
A3_0_L	12	18,354	0,733	2,541	13,84	14,750
B1_0_L	11	18,695	0,611	2,028	10,85	16,390
C1_0_LT-1	12	18,334	0,537	1,860	10,15	15,590
A1_0_T	10	18,827	0,098	0,311	1,65	18,350
A3_0_T	12	18,001	0,545	1,888	10,49	15,720
B1_0_T	12	18,188	0,642	2,224	12,23	15,220
C1_0_LT-2	12	18,334	0,537	1,860	10,15	15,590
A1_15_L	12	11,001	0,267	0,925	8,41	9,650
A3_15_L	12	13,171	0,328	1,137	8,63	11,350
B1_15_L	12	13,388	0,312	1,080	8,07	11,860
C1_15_LT-1	10	12,054	0,444	1,404	11,64	9,500
A1_15_T	11	11,707	0,337	1,117	9,54	9,840
A3_15_T	12	11,918	0,246	0,853	7,15	10,740
B1_15_T	11	12,005	0,478	1,585	13,21	10,070
C1_15_LT-2	10	12,054	0,444	1,404	11,64	9,500
A1_25_L	12	11,535	0,309	1,070	9,28	10,010
A3_25_L	10	11,767	0,128	0,404	3,44	11,100
B1_25_L	12	12,038	0,354	1,227	10,19	10,730
C1_25_LT-1	12	11,728	0,639	2,214	18,88	9,260
A1_25_T	12	11,648	0,337	1,166	10,01	9,910
A3_25_T	12	11,529	0,400	1,386	12,02	9,690
B1_25_T	11	11,685	0,224	0,742	6,35	10,590
C1_25_LT-2	12	11,728	0,639	2,214	18,88	9,260
A1_30_L	12	10,794	0,390	1,349	12,50	9,470
A3_30_L	12	11,593	0,167	0,579	4,99	10,900
B1_30_L	11	11,785	0,313	1,040	8,82	10,140
C1_30_LT-1	12	12,329	0,533	1,847	14,98	8,950
A1_30_T	12	11,403	0,412	1,426	12,50	8,630
A3_30_T	12	10,773	0,165	0,573	5,32	9,860
B1_30_T	12	11,132	0,209	0,722	6,49	9,990
C1_30_LT-2	12	12,329	0,533	1,847	14,98	8,950
A1_35_L	12	12,323	0,531	1,838	14,92	9,770
A3_35_L	12	11,628	0,395	1,367	11,76	9,670
B1_35_L	12	11,608	0,390	1,350	11,63	9,430
C1_35_LT-1	12	12,448	0,410	1,421	11,41	10,270
A1_35_T	12	13,058	0,638	2,210	16,93	10,740
A3_35_T	10	11,077	0,136	0,430	3,88	10,450
B1_35_T	12	11,850	0,361	1,250	10,54	10,460
C1_35_LT-2	12	12,448	0,410	1,421	11,41	10,270
A1_50_L	10	10,222	0,254	0,804	7,87	9,140
A3_50_L	12	10,338	0,416	1,443	13,95	8,570
B1_50_L	12	11,678	0,403	1,397	11,96	10,140
C1_50_LT-1	11	13,054	0,512	1,697	13,00	10,030
A1_50_T	12	13,510	0,728	2,523	18,67	9,910
A3_50_T	12	11,967	0,370	1,281	10,71	10,060
B1_50_T	12	12,164	0,340	1,177	9,68	9,500
C1_50_LT-2	11	13,054	0,512	1,697	13,00	10,030

**PŘÍLOHA P XIV: STATISTIKA CHARPY\_RÁZOVÁ**  
**HOUŽEVNATOST AM\_2**

Vtokové ústí	Počet zk. těles	1. Kvartil	Median	3. Kvartil	Maximum	Variační rozpětí	Interkvartil. rozpětí
A1_0_L	12	17,915	19,215	20,700	22,420	4,750	2,785
A3_0_L	12	16,195	17,890	20,478	23,000	8,250	4,283
B1_0_L	11	16,890	18,810	19,490	23,380	6,990	2,600
C1_0_LT-1	12	16,880	18,555	19,598	21,550	5,960	2,718
A1_0_T	10	18,588	18,785	19,035	19,460	1,110	0,448
A3_0_T	12	16,155	17,605	20,025	20,890	5,170	3,870
B1_0_T	12	15,985	17,920	20,375	21,720	6,500	4,390
C1_0_LT-2	12	16,880	18,555	19,598	21,550	5,960	2,718
A1_15_L	12	10,090	10,915	11,958	12,400	2,750	1,868
A3_15_L	12	12,433	12,775	13,788	15,360	4,010	1,355
B1_15_L	12	12,498	13,230	14,395	15,280	3,420	1,897
C1_15_LT-1	10	10,968	12,380	13,140	14,070	4,570	2,173
A1_15_T	11	10,710	11,620	12,800	13,310	3,470	2,090
A3_15_T	12	11,220	11,510	12,800	13,170	2,430	1,580
B1_15_T	11	10,270	11,760	13,170	14,960	4,890	2,900
C1_15_LT-2	10	10,968	12,380	13,140	14,070	4,570	2,173
A1_25_L	12	10,648	11,080	12,613	13,140	3,130	1,965
A3_25_L	10	11,438	11,770	12,143	12,390	1,290	0,705
B1_25_L	12	10,843	11,545	13,250	14,070	3,340	2,407
C1_25_LT-1	12	9,993	11,220	13,048	16,720	7,460	3,055
A1_25_T	12	10,835	11,430	12,555	13,800	3,890	1,720
A3_25_T	12	10,303	11,485	12,595	14,230	4,540	2,292
B1_25_T	11	11,010	11,850	12,040	13,040	2,450	1,030
C1_25_LT-2	12	9,993	11,220	13,048	16,720	7,460	3,055
A1_30_L	12	9,685	10,395	11,653	14,140	4,670	1,968
A3_30_L	12	11,118	11,475	12,000	12,820	1,920	0,883
B1_30_L	11	11,120	11,800	12,630	13,840	3,700	1,510
C1_30_LT-1	12	11,298	12,275	13,848	15,280	6,330	2,550
A1_30_T	12	10,478	10,965	12,835	13,300	4,670	2,358
A3_30_T	12	10,423	10,710	11,133	11,800	1,940	0,710
B1_30_T	12	10,585	11,030	11,583	12,520	2,530	0,998
C1_30_LT-2	12	11,298	12,275	13,848	15,280	6,330	2,550
A1_35_L	12	10,533	12,230	13,728	15,630	5,860	3,195
A3_35_L	12	10,858	11,385	12,733	14,510	4,840	1,875
B1_35_L	12	10,688	11,635	12,655	14,060	4,630	1,967
C1_35_LT-1	12	11,488	12,210	13,250	15,210	4,940	1,762
A1_35_T	12	10,950	12,685	14,715	17,330	6,590	3,765
A3_35_T	10	10,595	11,265	11,443	11,530	1,080	0,847
B1_35_T	12	10,858	11,470	12,638	14,310	3,850	1,780
C1_35_LT-2	12	11,488	12,210	13,250	15,210	4,940	1,762
A1_50_L	10	9,550	10,135	10,868	11,590	2,450	1,317
A3_50_L	12	9,318	9,945	11,338	13,510	4,940	2,020
B1_50_L	12	10,553	10,965	12,955	14,080	3,940	2,403
C1_50_LT-1	11	11,710	13,300	13,820	16,380	6,350	2,110
A1_50_T	12	11,278	13,385	14,983	18,910	9,000	3,705
A3_50_T	12	10,933	11,590	13,040	14,230	4,170	2,108
B1_50_T	12	11,368	12,290	12,990	13,730	4,230	1,623
C1_50_LT-2	11	11,710	13,300	13,820	16,380	6,350	2,110

# PŘÍLOHA P XV: GRAFY CHARPY\_RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST AM

