

# Návrh dvoukomponentního vstřikování kombinací HDPE/PA6 a PP/PA6

Bc. Tereza Černohorská

---

Diplomová práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tereza ČERNOHORSKÁ**

Osobní číslo: **T09610**

Studijní program: **N 2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Inženýrství polymerů**

Téma práce: **Návrh dvoukomponentního vstřikování kombinací  
HDPE/PA6 a PP/PA6**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracování literární rešerše
- 2) Návrh zkušebního postupu
- 3) Testování pevnosti rozhraní fází
- 4) Optimalizace procesních parametrů zkušebního postupu a přenesení získaných poznatků na reálný díl/proces

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

- (1) T. Inoue; Morphology of Polymer Blends; in: L. A. Utracki; Polymer Blends Handbook; Kluwer Academic Publishers; ISBN 1402011148; 2002; Dordrecht, Netherlands
- (2) C. W. Macosko; Compatibilizers for Melt Blending: Premade Block Copolymers; Macromolecules; 1996; No. 17; p. 5590–5598; Vol. 299
- (3) P. Svoboda; Polymer Blends Phase Transition; Habilitation Thesis; Faculty of Technology TBU Zlín; accessible in the University Library; 2007; 33 p.; ISBN 9788073185183; Zlín
- (4) L. A. Utracki; Commercial Polymer Blends; Chapman & Hall; 1998; 720 p.; ISBN 0412810204; 1st ed.; London
- (5) L. A. Utracki; Polymer Alloys and Blends; Hanser; 1990; Munich
- (6) D. V. Rosato, et al.; Injection Molding Handbook; Cluwer Academic Publishers; 2000; 1485 p.; ISBN 9781591247043
- (7) T. Černožorská; Improvement of Polymer Adhesion During Multi-Component Injection Molding; Bachelor Thesis; Faculty of Technology TBU Zlín; accessible in the University Library; 2009; 55 p.; Zlín

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.**

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce:

**11. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce:

**30. května 2011**

Ve Zlíně dne 11. února 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
děkan



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: ČERNOHORSKÁ TEREZA

Obor: ČHM - IT

## 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 mohou být užitá díla – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 12.8.2011



<sup>21</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 nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

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

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

<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, § 35 odst. 3:

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

<sup>23</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). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou vstřikování termoplastů, konkrétně vícekomponentním, dvoukomponentním vstřikováním vysokohustotního polyetylenu nebo polypropylenu a polyamidu 6 za pomoci přidání maleinhydridem kompatibilizovaného vysokohustotního polyetylenu nebo polypropylenu pro zlepšení materiálového spojení. Nejprve je třeba navrhnout tvar zkušebního tělesa a naplánovat experiment pokrývající různé kombinace procesních parametrů. Na základě vyhodnocení navržených experimentů je třeba posoudit významné vlivy, provést a zhodnotit detailnější zkoušky a doporučit vhodné zpracovatelské podmínky.

Klíčová slova: Vícekomponentní vstřikování plastů, vstřikování plastů, kompatibilizace, polymerní směsi, Design of Experiment, polyamid 6, vysokohustotní polyetylen, polypropylen

## ABSTRACT

This master thesis deals with injection moulding of thermoplastic materials especially with multicomponent, two-component injection moulding of high density polyethylene or polypropylene with polyamide 6 with help of addition of maleated high density polyethylene or maleated polypropylene to improve the material adhesion. At first it is necessary to design the testing tensile bar for two-component injection moulding, then plan an experiment which covers different combinations of process parameters. Then it is necessary to evaluate the influence of chosen factors and perform detailed tests to get more detailed results to estimate suitable processing conditions.

Keywords: Injection moulding of thermoplastics, multicomponent injection moulding, compatibilization, polymer blends, Design of Experiment, polyamide 6, high density polyethylene, polypropylene.

Velké díky patří mé rodině a příteli, bez kterých by nic z toho, co jsem dosud dokázala, nejspíš nebylo možné. Poděkování si zaslouží také všichni vyučující, se kterými jsem se během svého studia potkala, právě za spousty cenných rad a zajímavých informací a zkušeností.

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

# OBSAH

|   |    |
|---|----|
| ÚVOD.....   | 10 |
| I. TEORETICKÁ ČÁST .....  | 11 |
| 1 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ .....   | 12 |
| 1.1 VSTŘIKOVACÍ STROJ .....   | 13 |
| 1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....   | 19 |
| 1.3 VLIV VSTŘIKOVACÍHO PROCESU A PARAMETRŮ NA VÝSLEDNÉ<br>VLASTNOSTI ZPRACOVÁVANÉHO MATERIÁLU A VÝROBKU.....                            | 21 |
| 2 VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ .....   | 25 |
| 2.1 VÍCEMATERIÁLOVÉ VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ .....  | 26 |
| 2.2 OBSTŘIKOVÁNÍ (OVER-MOULDING, INSERT MOULDING) .....   | 26 |
| 2.3 VÍCEMATERIÁLOVÉ – VÍCEKROKOVÉ – VÍCEKOMPONENTNÍ<br>VSTŘIKOVÁNÍ .....  | 27 |
| 2.4 ZAŘÍZENÍ PRO VÍCEKOMPONENTNÍ (VÍCEMATERIÁLOVÉ -<br>VÍCEKROKOVÉ) VSTŘIKOVÁNÍ .....   | 27 |
| 3 PEVNOST SPOJE VZNIKLÉHO VÍCEKOMPONENTNÍM<br>VSTŘIKOVÁNÍM .....  | 30 |
| 4 CÍLE PRÁCE .....  | 33 |
| II. PRAKTICKÁ ČÁST .....  | 34 |
| 5 POUŽITÉ MATERIÁLY .....   | 35 |
| 5.1 POLYAMID 6 (PA 6) -ULTRAMID B3EG6 (FA. BASF).....   | 35 |
| 5.2 VYSOKOHUSTOTNÍ POLYETYLÉN (PE-HD) – NOVATEC HJ221<br>(FA. JAPAN POLYETHYLENE).....  | 36 |
| 5.3 POLYPROPYLÉN (PP) – MOPLEN EP540P (FA. LYONDELLBASELL) .....  | 37 |
| 5.4 KOMPATIBILIZOVANÝ VYSOKOHUSTOTNÍ POLYETYLÉN -<br>BONDYRAM 5108 (FA. POLYRAM) .....  | 37 |
| 5.5 KOMPATIBILIZOVANÝ POLYPROPYLÉN – BONDYRAM 1001 (FA.<br>POLYRAM) .....   | 37 |
| 6 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY .....   | 38 |
| 6.1 TAHOVÁ ZKOUŠKA .....  | 38 |
| 6.2 DSC – DIFERENCIÁLNÍ SNÍMACÍ KALORIMETRIE .....  | 40 |
| 6.3 OPTICKÁ MIKROSKOPIE.....  | 41 |
| 6.4 SYSTEMATIKA DESIGN OF EXPERIMENT, STATISTICKÝ<br>PROGRAM MINITAB 15.....  | 42 |
| 7 VÝSLEDKY A DISKUZE.....   | 43 |
| 7.1 VÝBĚR MATERIÁLU A NÁVRH ZKUŠEBNÍHO TĚLESA.....  | 43 |
| 7.2 POSOUZENÍ VSTŘIKOVACÍCH PARAMETRŮ PODLE VLIVU NA<br>PEVNOST MATERIÁLOVÉHO SPOJENÍ A VÝBĚR<br>NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH Z NICH.....           | 47 |
| 7.3 VLIV OBSAHU KOMPATIBILIZOVANÉHO PE-HD NA ZATÍŽENÍ<br>SPOJE NA MEZI PEVNOSTI $F(N)$ ZA KONSTANTNÍCH<br>VSTŘIKOVACÍCH PARAMETRŮ ..... | 50 |



|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>7.4</b> | <b>VLIV VSTŘIKOVACÍCH PARAMETRŮ ZA KONSTANTNÍHO<br/>OBSAHU KOMPATIBILIZOVANÉHO MATERIÁLU .....</b> | <b>52</b> |
| <b>7.5</b> | <b>DSC ANALÝZA VYBRANÝCH SMĚSÍ.....</b>  | <b>58</b> |
| <b>8</b>   | <b>NÁVRH PROCESNÍCH PARAMETRŮ.....</b>   | <b>60</b> |
|            | <b>ZÁVĚR .....</b>   | <b>62</b> |
|            | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>  | <b>63</b> |
|            | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>  | <b>65</b> |
|            | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>   | <b>67</b> |
|            | <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>  | <b>68</b> |

## ÚVOD

Tato diplomová práce tematicky volně navazuje na bakalářskou práci s názvem „Zlepšení adheze polymerů při vícekomponentním vstřikování“ [1], která na teoretické úrovni popisuje možnosti a způsoby kompatibilizace různých termoplastů, zpracovanou pro firmu Robert Bosch, spol. s.r.o. - České Budějovice (dále jen RBCB). Na základě této rešerše bylo rozhodnuto o dalším zaměření a konkrétní podobě diplomové práce zpracovávané taktéž ve spolupráci s RBCB.

Proces vstřikování termoplastů je již sám o sobě velkým přínosem v oblasti výroby plastových dílů. Z důvodu krátkých výrobních cyklů, své jednoduchosti a při větších výrobních objemech i hospodárnosti. Avšak vzhledem ke stoupajícím nárokům zákazníků nastávají situace, kdy daný díl již vzhledem k jeho složitosti není možné vyrobit standardním vstřikováním jednoho materiálu. Pak je třeba použít více různých materiálů nebo materiálů o různých barvách, další montáž by byla velmi komplikovaná až nemožná, tudíž příliš nákladná a nevýhodná. V takovýchto situacích se zvažuje použití stále častěji využívané technologie tzv. vícekomponentního vstřikování. [2, 3]

Podobná situace byla podnětem i ke zpracování tohoto tématu, kdy šlo o nalezení vhodného způsobu těsného spojení polyamidové součástky s dílem vyrobeným z vysokohustotního polyetylénu. S ohledem na širší využití v jiných aplikacích bylo téma rozšířené ještě o polypropylén.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

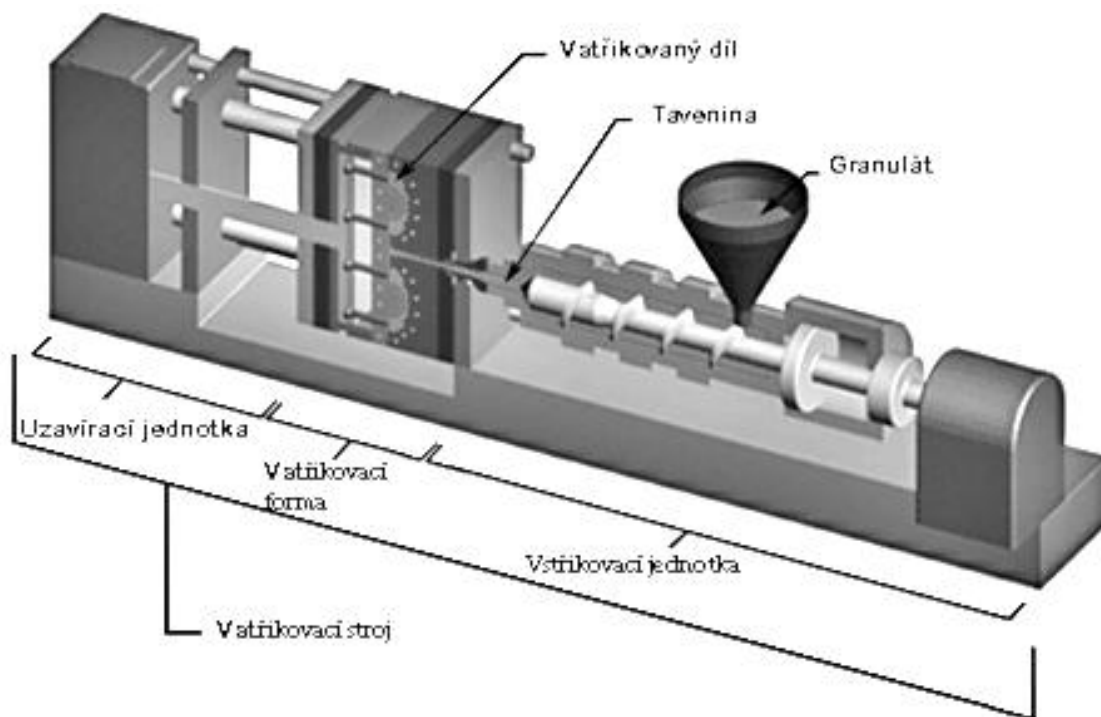
Jde o cyklický proces tváření termoplastů. Principem této technologie je vstřikování polymerního materiálu ve formě taveniny vysokou rychlostí do temperované dutiny formy. Délka jednoho cyklu se pohybuje od 2 sekund 2 minut v závislosti na složitosti dílu a vstřikovacího procesu. Provádí se ve vstřikovacím stroji. [4, 5, 6, 7]

Vstřikovací stroj se obvykle dělí na dvě hlavní části, kterými jsou vstřikovací a uzavírací jednotka. Každá z jednotek má vlastní pohon.

Pro udržení požadovaných technologických podmínek a opakovatelnosti vstřikovacího cyklu, případně pro udržení procesu v toleranci, dodržení dalších technologických požadavků, je třeba mimo samotného vstřikovacího stroje použít také periferní zařízení. Těmi mohou být např. zařízení pro sušení granulátů, temperanční zařízení vstřikovacích forem, zařízení pro dávkování aditiv, zařízení pro dopravu granulátu do násypky vstřikovacího stroje, roboty, dopravníky pro další manipulaci s výstřiky, manipulátory pro odstraňování vtokových zbytků, dodatečné temperanční, kondicionační komory a pole, kontrolní a měřicí zařízení (měření teploty, rozměrů, dvojlomu, hmotnosti, ...), zařízení pro znovuzhodnocování technologického odpadu/vtoků (drtiče, mlýny, separátory kovových částic z drtí,...). [4, 5, 6, 7]

## 1.1 Vstříkovací stroj

Jak již bylo výše zmíněno, vstříkovací stroj (Obrázek 1) se skládá ze vstříkovací a uzavírací jednotky, která zahrnuje i vstříkovací formu. Pro správné fungování a ovládání stroje je třeba řídicí systém s ovládacím panelem a v neposlední řadě se často připojují různá dodatečná volitelná periferní zařízení. [6, 8, 9]



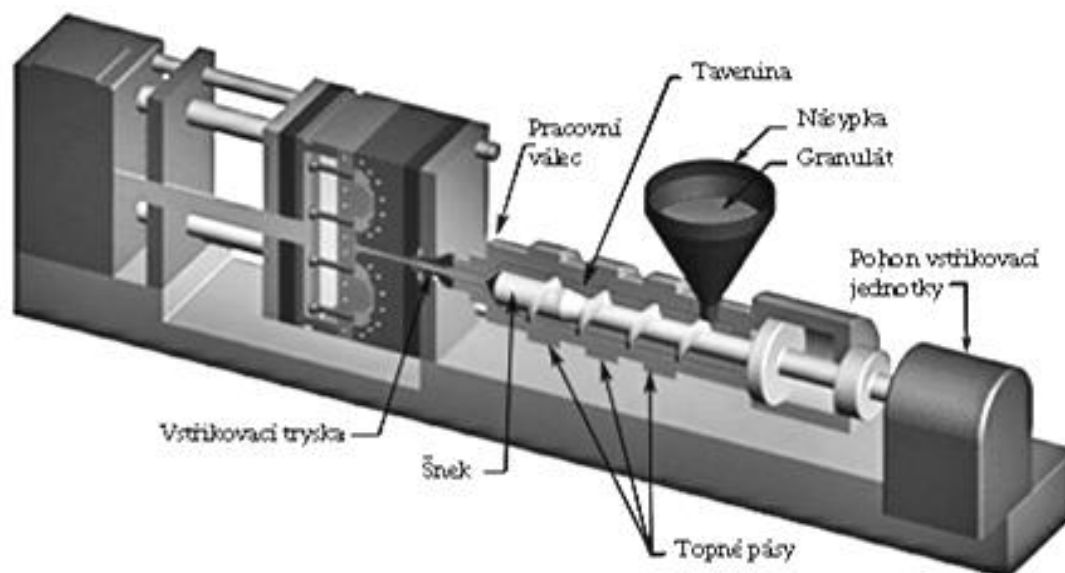
*Obrázek 1 Schéma vstříkovacího stroje*

- **Vstříkovací jednotka**

Hlavními úkoly vstříkovací jednotky jsou kvalitní plastikace a homogenizace taveniny vstříkovaného materiálu a vyvinutí dostatečně vysokého vstříkovacího tlaku potřebného k naplnění dutiny formy. [4, 5, 6, 7]

Vstříkovací jednotky se dále podle způsobu plastikace a vstříkování mohou dělit na vstříkovací jednotky s plastikací v tavící komoře a se vstříkováním pístem a vstříkovací jednotky s plastikací i vstříkováním šnekem. [4]

Způsob plastikace v tavící komoře se vstříkováním pístem se využívá již jen velmi zřídka, proto bude dále popsána jen vstříkovací jednotka se šnekovou plastikací. [6]



**Obrázek 2** Schéma a popis vstřikovací jednotky vstřikovacího stroje [10]

Pomocí vstřikovací jednotky (Obrázek 2) dochází jak k tavení a homogenizaci materiálu, tak i ke vstřikování taveniny do dutiny formy.

Materiál je ve formě granulátu dopraven do násypky vstřikovacího stroje, odkud se automaticky dávkuje otáčením šneku do pracovního válce. Pracovní válec bývá společně se šnekem rozdělený na tři zóny. [6, 7, 8, 9]

V první zóně tedy dochází k dávkování, stlačování a zhutňování granulátu. Vytlačuje se vzduch z prostoru mezi granulemi, materiál se ohřívá a taje nejdříve až na konci této zóny. Průměr jádra šneku je zde nejmenší (hloubka šnekového kanálu největší) a zároveň také konstantní. Tato zóna se nazývá **vstupní** nebo **dopravní**, někdy také **dávkovací**. [9, 11]

Ve druhé zóně se směrem k trysce hloubka kanálu zmenšuje (průměr jádra šneku se zvětšuje), dochází zde k intenzivnímu stlačování, ohřevu a tavení materiálu. Tato zóna se nazývá **kompresní** nebo také **přechodová**.

Teplotně nehomogenní tavenina vzniklá v kompresní/přechodové zóně přichází do **homogenizační** nebo také **výstupní** zóny. Hloubka šnekového kanálu je zde opět konstantní, ale výrazně menší, než ve vstupní zóně. Zde je tavenina intenzivně míchána/homogenizována a dopravována do prostoru mezi čelem šneku a vstřikovací tryskou (tzv. zdvih šneku).

Jakmile se všechna potřebná homogenizovaná tavenina nachází v prostoru mezi čelem šneku a vstříkací tryskou, dojde k jejímu vstříknutí do dutiny formy. Tavenina o nízké viskozitě má ale při vyšších tlacích při vstříkávání tendenci zatékat zpět do šnekového kanálu, proto je čelo šneku opatřené zpětným uzávěrem (Obrázek 3). V tuto chvíli čelo šneku funguje jako píst. Pohon vstříkovací jednotky umožňuje jak rotační, tak i přímočarý pohyb šneku. [8, 9, 11]



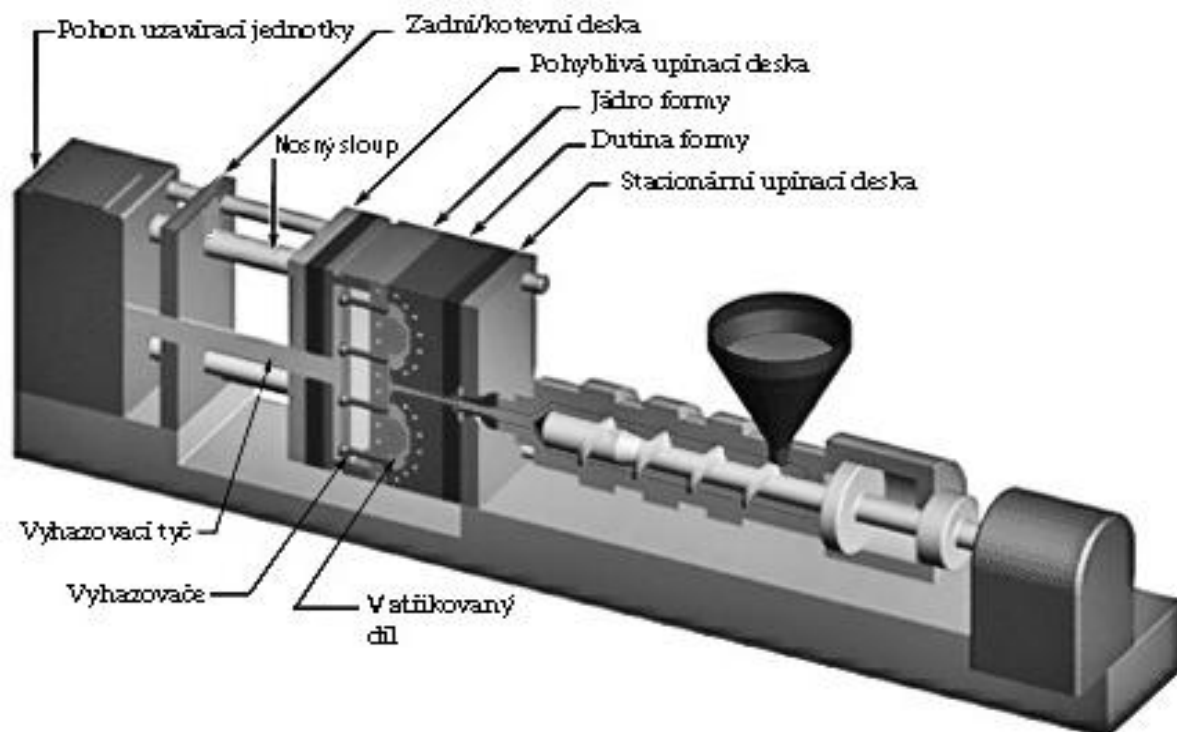
*Obrázek 3 Příklad šneku a jeho zakončení [12]*

- **Uzavírací jednotka**

Slouží k zavírání a otevírání formy podle vstříkovacího cyklu a zároveň k vyvolání síly dostatečně vysoké k udržení formy těsně zavřené během celého vstříkovacího cyklu.

Uzavírací jednotka zahrnuje nosné sloupce, vlastní pohon uzavíracího ústrojí, uzavírací ústrojí, opěrné desky, upínací desky na vstříkovací formu, vyhazovače a samotnou vstříkovací formu. Uzavírací jednotky se dále dělí podle pohonu uzavíracího ústrojí na hydraulické (přímé a se závorováním), hydraulicko-mechanické a elektromechanické.

Potřebná uzavírací síla závisí na ploše průřezu vstříkovaného dílu v dělicí rovině a na velikosti vstříkovacího tlaku. [4,6,7,8,9,11]

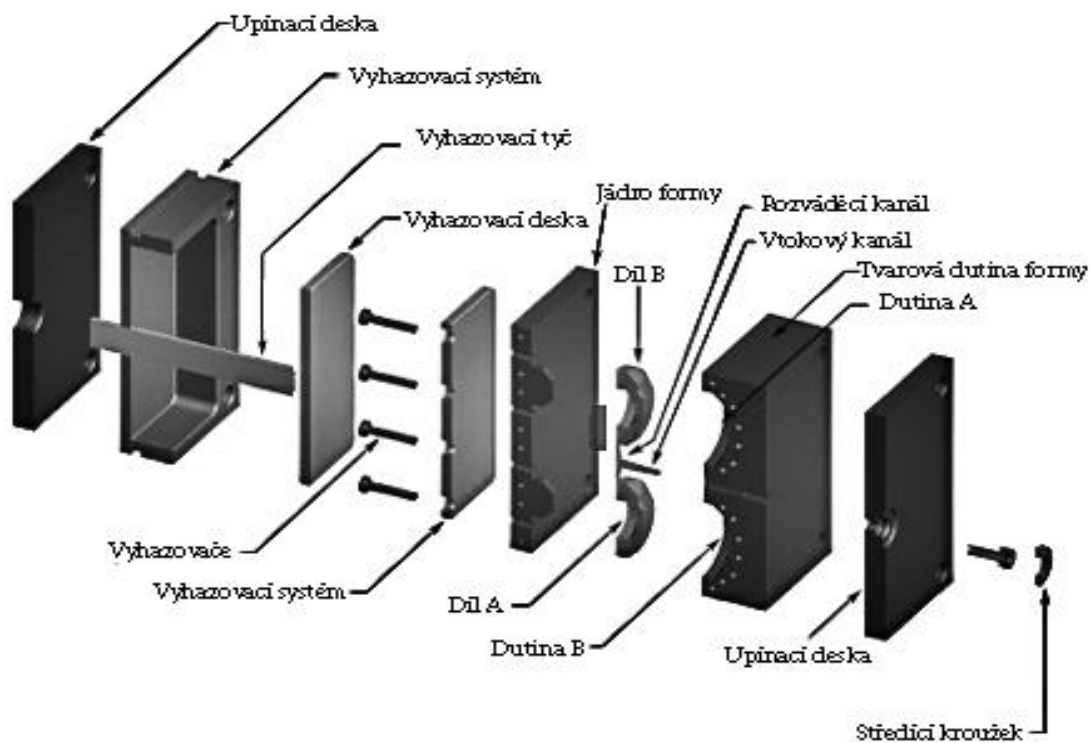


**Obrázek 4** Schéma a popis uzavírací jednotky vstříkovacího stroje [10]

*Vstříkovací forma* je významnou součástí uzavírací jednotky. V její dutině probíhá přeměna taveniny do konečného tvaru a jeho zafixování ztuhnutím.

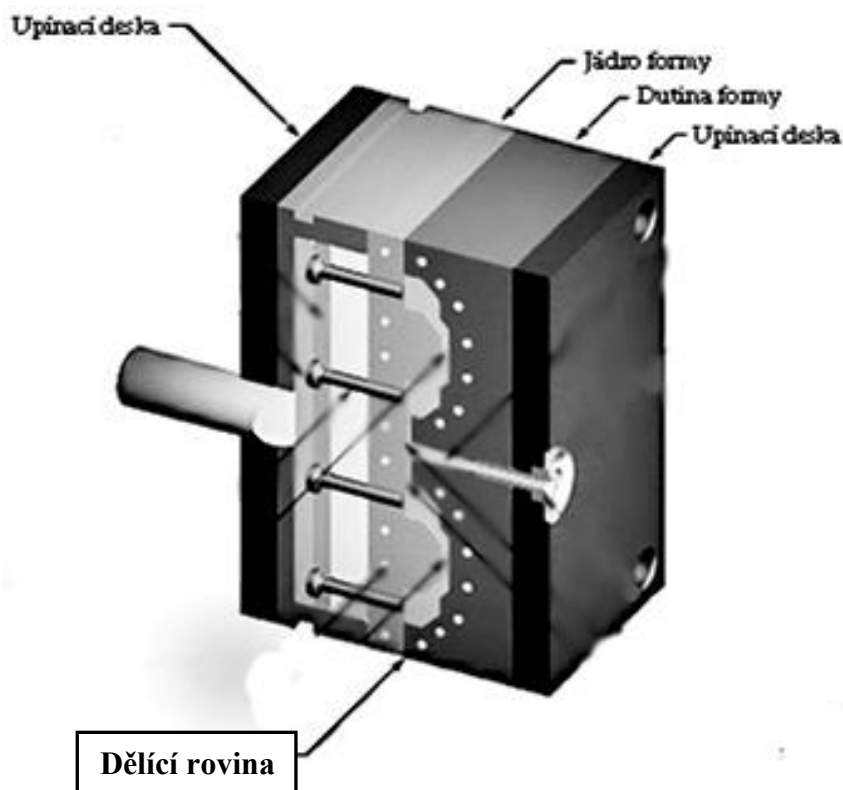
Vstříkovací forma je nejsložitější částí vstříkovacího stroje. Musí odolávat vysokým tlakům a zároveň umožnit výrobu přesných a tvarově složitých výrobků. Materiál na výrobu formy se volí podle různých kritérií, jako například počet uvažovaných dílů, které se ve formě vyrobí, členitost těchto výrobků, tolerance rozměrů výrobků, zvolený materiál (plnění) výrobku a další. [4,6,7,8,9,11]





**Obrázek 5 Vstříkovací forma – rozložená** [10]

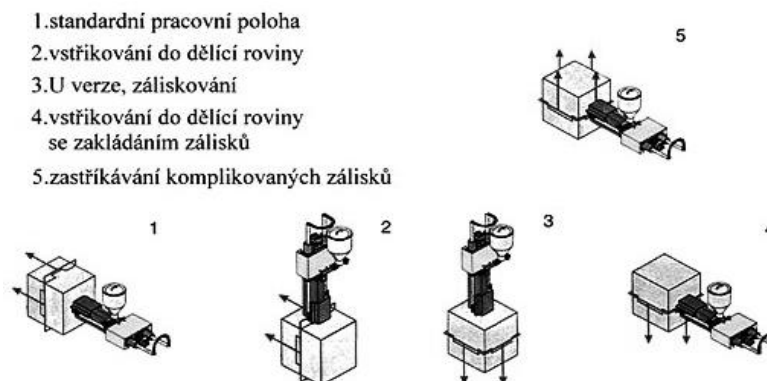
Základními částmi vstříkovací formy (Obrázek 5) je vtoková soustava, tvarová dutina a jádro formy, chladicí kanály pro teplotu formy na požadovanou teplotu, Vyhazovací systém a upínací desky. Forma je rozdělena dělicí rovinou (Obrázek 6). [5, 10, 11]



Obrázek 6 Příklad umístění dělicí roviny ve formě [10]

Vstříkovací formy lze podle konstrukce rozdělit na

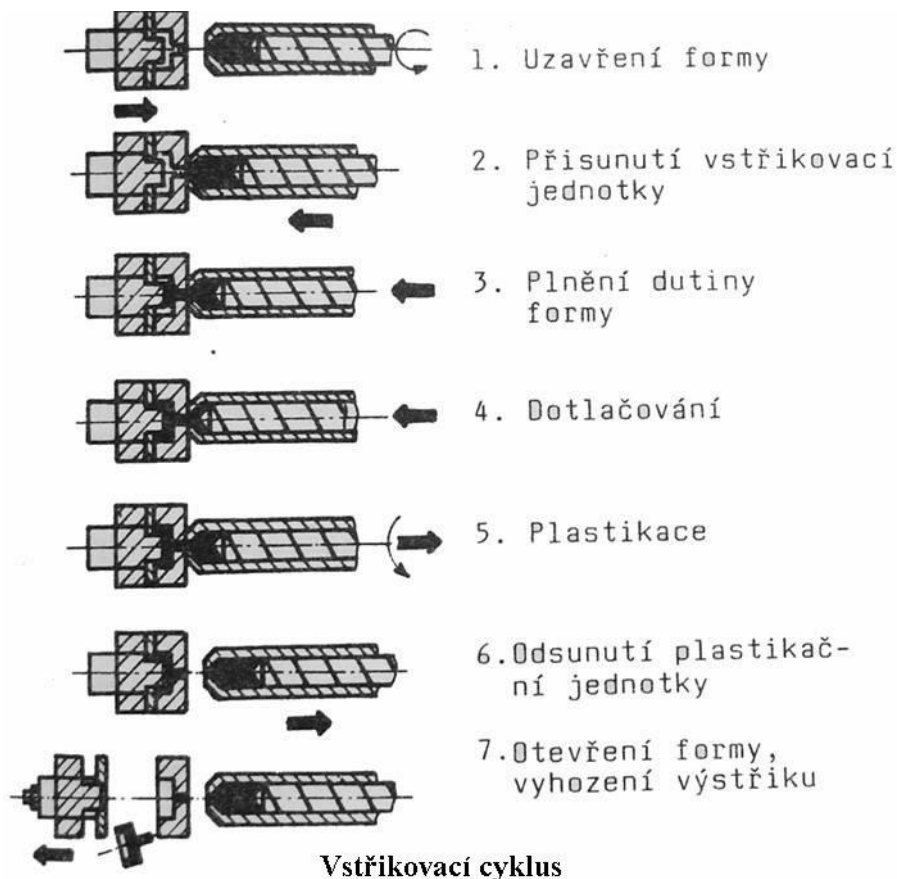
- *jednonásobné* a *vícenásobné* (podle množství vyrobených dílů během jednoho vstříkovacího cyklu)
- *dvoudeskové, třidedkové, čelist'ové, vytáčecí, etážové, ...* (podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení)
- *formy kolmo se vstříkem na dělicí rovinu, formy se vstříkem do dělicí roviny, ...* (podle konstrukce vstříkovacího stroje - vzájemného umístění vstříkovací a uzavírací jednotky – Obrázek 6) [4,8,9,11]



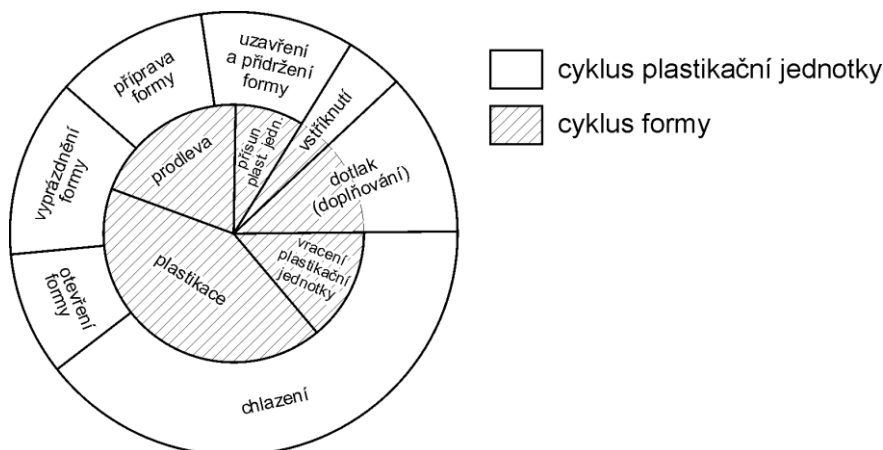
Obrázek 7 Vzájemné umístění uzavírací a vstřikovací jednotky [11]

## 1.2 Vstřikovací cyklus

Zjednodušeně lze vstřikovací proces rozdělit do tří fází. Roztavení a homogenizace materiálu, vstříknutí do zavřené formy, kde roztavený materiál zatuhne a vyhození výrobku z formy. Pro lepší pochopení procesu vstřikování se používá detailnější rozdělení (také viz Obrázek8).



Obrázek 8 Znáornění vstřikovacího cyklu [4]



Obrázek 9 Schéma vstřikovacího cyklu [7]

1. **Uzavření formy a vyvolání uzavírací síly** – Vstřikovací forma je po skončení předchozího cyklu, po vyhození vyrobeného dílu, otevřená. Nový vstřikovací cyklus tedy začíná uzavřením vstřikovací formy a vyvoláním dostatečné síly, která zabrání otevření formy vlivem působení vstřikovacího tlaku. V této části je již v pracovním válci připravený plastifikovaný materiál pro vstříknutí do dutiny formy.
2. **Příjezd a přítlak vstřikovací jednotky k formě** – Příprava vstřikovací jednotky k dalšímu kroku.
3. **Vstřikovací (plnicí a kompresní) fáze** – V této fázi vstřikovací šnek funguje jako píst a společně s přímočarým pohonem vstřikovací jednotky vyvolává tlak potřebný k naplnění dutiny formy taveninou i v jejích nejvzdálenějších místech. Významný vliv na kvalitu zaplnění tvarových dutin formy mají vstřikovací rychlost (s ní odpovídající vstřikovací tlak), teplota taveniny, teplota formy a správně zvolený bod přepnutí na dotlak (dřívější, optimální, pozdní). Jakmile je dutina formy naplněná taveninou, dojde k přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak.
4. **Přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak** – Prakticky jde o změnu řízené, regulované, veličiny z průtoku, tj. rychlosti, při vstřikování na tlak při dotlaku. Používají se tři různé způsoby přepnutí. Přepnutí podle dosaženého času od začátku plnění dutiny formy taveninou, přepnutí podle dosažení určeného bodu na dráze šneku při vstřikování, přepnutí podle dosažení určitého tlaku při vstřikování.
5. **Fáze dotlaku** – Při plnění dutiny formy tavenina po kontaktu s chladnější stěnou formy začíná tuhnout a dochází tak k objemovému smrštění vlivem přeměny z kapalné fáze

na fázi tuhou a u semikrystalických polymerů k dalšímu smrštění vlivem krystalizace. K objemovému smrštění dochází po naplnění dutiny formy ve vstřikovací fázi taveninou. Při dotlaku se právě tyto rozměrové změny vyrovnávají doplňováním taveniny za zvýšeného tlaku. Fáze dotlaku má význam pouze do té doby, než zamrzne vtok. A pokračuje už jen chlazení.

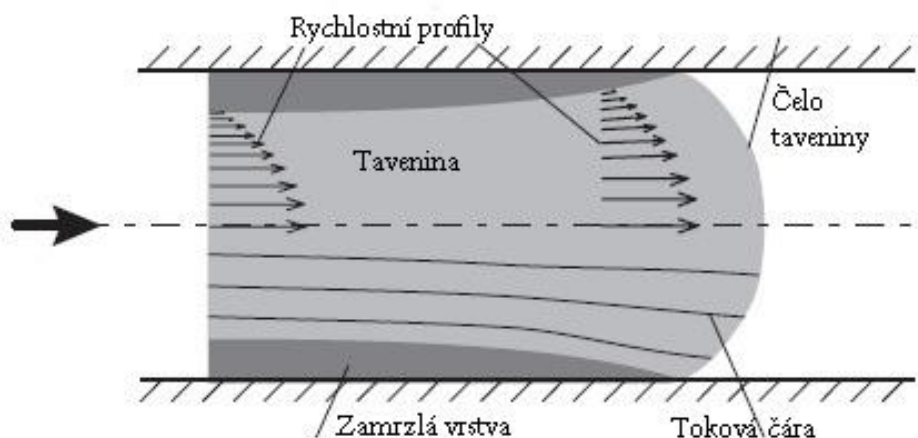
6. **Ochlazování a chlazení vstřikovaného dílu v dutině formy a současná plastikace nové dávky materiálu pro následující cyklus** – Ochlazování taveniny začíná v okamžiku vstříknutí do dutiny formy, jejíž stěny jsou temperované na teplotu nižší, než je teplota tání vstřikovaného materiálu. Do celkové doby ochlazování dílu se započítává i doba působení dotlaku. Fáze chlazení v dutině formy začíná po skončení působení dotlaku a končí vyhozením dílu z formy. Během této doby probíhá ve vstřikovací jednotce plastikace nové dávky materiálu pro další vstřikovací cyklus. Šnek se otáčí a zároveň posouvá směrem dozadu a dává materiál, který je poté ve šneku roztaven, homogenizován a tak i dopraven před čelo šneku. Po skončení plastikace odjede vstřikovací jednotka od formy
7. **Otevření formy a vyhození nebo vyjmutí dílu** – Po dosažení rovnovážných tlakových poměrů ve formě se forma otevře a vyrobený díl je pomocí systému vyhazovačů vyhozen ven, popřípadě vyjmut obsluhou nebo automatizovaným robotem a cyklus začíná znovu od bodu 1. [4,5,6,8,9,11,13]

### 1.3 Vliv vstřikovacího procesu a parametrů na výsledné vlastnosti zpracovávaného materiálu a výrobku

Během vstřikovacího procesu dochází k ovlivňování výsledných vlastností zpracovávaného materiálu. Někdy jsou tyto změny ve prospěch pevnosti, vzhledu, rozměrové stability a jiných žádaných vlastností výrobku, většinou se ale projevy takových změn snažíme omezit, protože jsou nežádoucí. [6]

- Takové ovlivnění může být **orientace materiálu**, případně jeho plniva. Výsledkem je **anizotropie** mechanických, tepelně mechanických a v některých případech i elektrických vlastností. Za mechanické vlastnosti uvažujeme například pevnost v tahu rovnoběžně a kolmo ke směru toku taveniny nebo orientaci vláken výztuže. Z tepelně me-

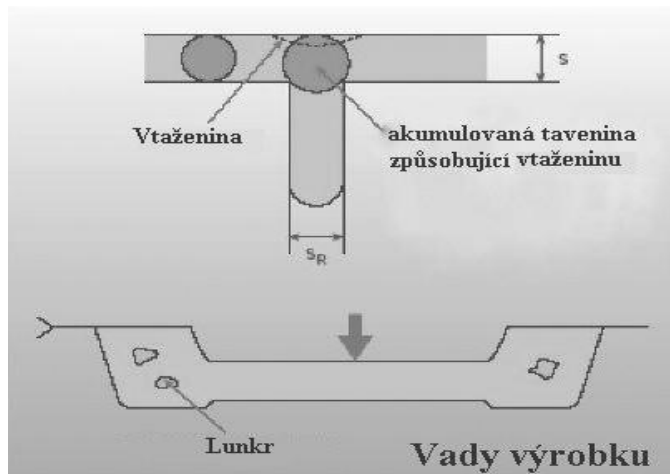
chanických vlastností může jít o koeficient lineární teplotní roztažnosti rovnoběžně a kolmo ke směru toku taveniny nebo orientaci vláken výztuže. Z elektrických vlastností pak elektrický odpor nebo vodivost plněných materiálů. K orientaci dochází při toku taveniny tryskou, tokovými kanály a dutinou formy (Obrázek 9). Orientace je nejvyšší v okrajové vrstvě a s tloušťkou průřezu a tokovou dráhou se snižuje. V okrajové vrstvě je chlazení velmi intenzivní a tavenina velmi rychle zamrzne ve stavu, v jakém se právě nachází. Směrem do středu průřezu intenzita chlazení klesá a tím se usnadňuje relaxace smykového napětí vyvolaného tokem taveniny, které způsobuje orientaci vláken plniva i makromolekul matrice. [6,8,9,11,14]



**Obrázek 10 Tokový a rychlostní profil taveniny při vstřikování [14]**

- Dalším vlivem je **smrštění**. Smrštění představuje objemovou změnu při tuhnutí polymerních tavenin, za kterou stojí tepelná roztažnost a kontrakce plastů. U semikrystalických plastů se přidávají také objemové změny vlivem krystalizace. Makromolekuly v tavenině amorfních polymerů a amorfní části semikrystalických polymerů se sbalují do statistického klubka a makromolekuly semikrystalických polymerů do lamel. To vše za účelem zaujmutí stavu/tvaru o co nejnižší energii. Jelikož jsou makromolekuly v lamelách uspořádány těsněji než ve statistických klubkách, zaujímají v konečném stavu menší prostor, a proto jsou hodnoty smrštění/objemové změny při tuhnutí semikrystalických materiálů výrazně větší, než smrštění/objemové změny při tuhnutí amorfních materiálů. Míra smrštění při vstřikování se dá procesně snížit dotlakem, kdy se objemové změny během ochlazování kompenzují doplňováním taveniny. Objemové změny při chladnutí plastových dílů jsou příčinou nežádoucích vad, jako jsou lunkry (dutina uvnitř stěny dílu) a vtaženiny (propadlina na povrchu). Tyto defekty se vysky-

tují zejména v nedostatečně chlazených částech dílu s největší tloušťkou stěny, kdy se hromadí materiál. Do určité míry se lze těmto vadám vyvarovat dodržováním zásad správného navrhování plastových dílů a vhodně navrženým chlazením vstřikovací formy a také vhodně zvolenými procesními parametry. Dalším vnějším projevem smrštění je také deformace. [6]



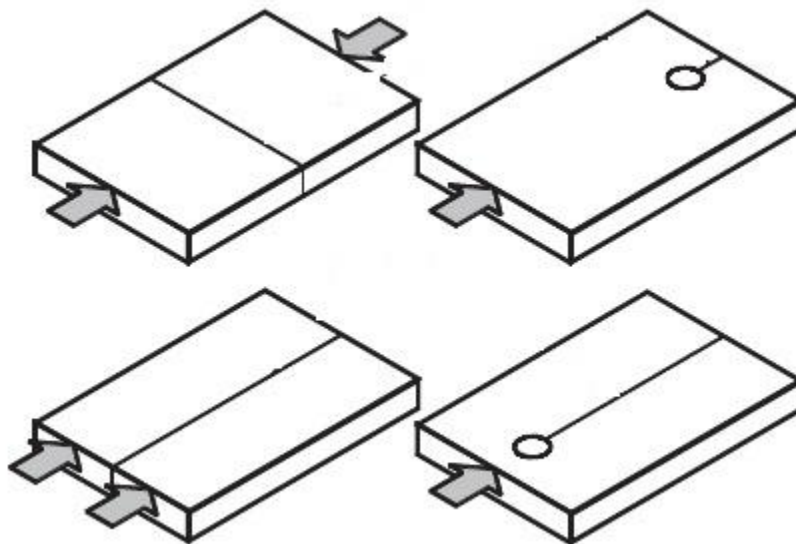
**Obrázek 11** Vliv smrštění na kvalitu výrobku (lunkr, vtaženina) [12]



**Obrázek 12** Deformace vlivem smrštění [12]

- Velmi významným vlivem na výsledné vlastnosti vstřikovaného dílu zejména z pohledu mechanických vlastností je určitě takzvané **vnitřní pnutí**. Jde o druh napětí, které je v dílu fixováno bez okamžitých makroskopických projevů v podobě okamžité deformace. Působí však na daný díl jako dlouhodobé zatížení. Vnitřní pnutí je způsobováno **smrštěním** materiálu. [6,11,14]

- *Studený spoj* je přímo vada dílu způsobená rozdělením čela taveniny a jeho opětovným spojením na konci tokové dráhy nebo po obtečení překážky (Obrázek 13). Čelo taveniny je vždy chladnější než masa materiálu za ním. Spojením dvou čel taveniny vzniká rozhraní materiálu o různé viskozitě a hustotě, tedy takzvaný studený spoj, který má nižší pevnost než samotný materiál. [6,14]



**Obrázek 13** Příklad vzniku studených spojů [14]

K předpovídání míry těchto jevů nám již od návrhu tvaru dílu slouží různé výpočtové konečně-prvkové metody simulace vstřikovacího procesu. Na základě výsledků těchto simulací lze dosahovat vysokého stupně optimalizace procesu již „od stolu“ za vynaložení minimálního úsilí a prostředků. Lze podle nich navrhnout nejvhodnější umístění vtoku, naplánovat chlazení formy, zjistit smrštění, deformace, rozložení vnitřních pnutí, studené spoje, orientaci vláken, způsob a průběh plnění dutiny formy, průběh chlazení, ... a získat spousty dalších informací na základě vložených materiálových dat a CAD modelu uvažovaného dílu.

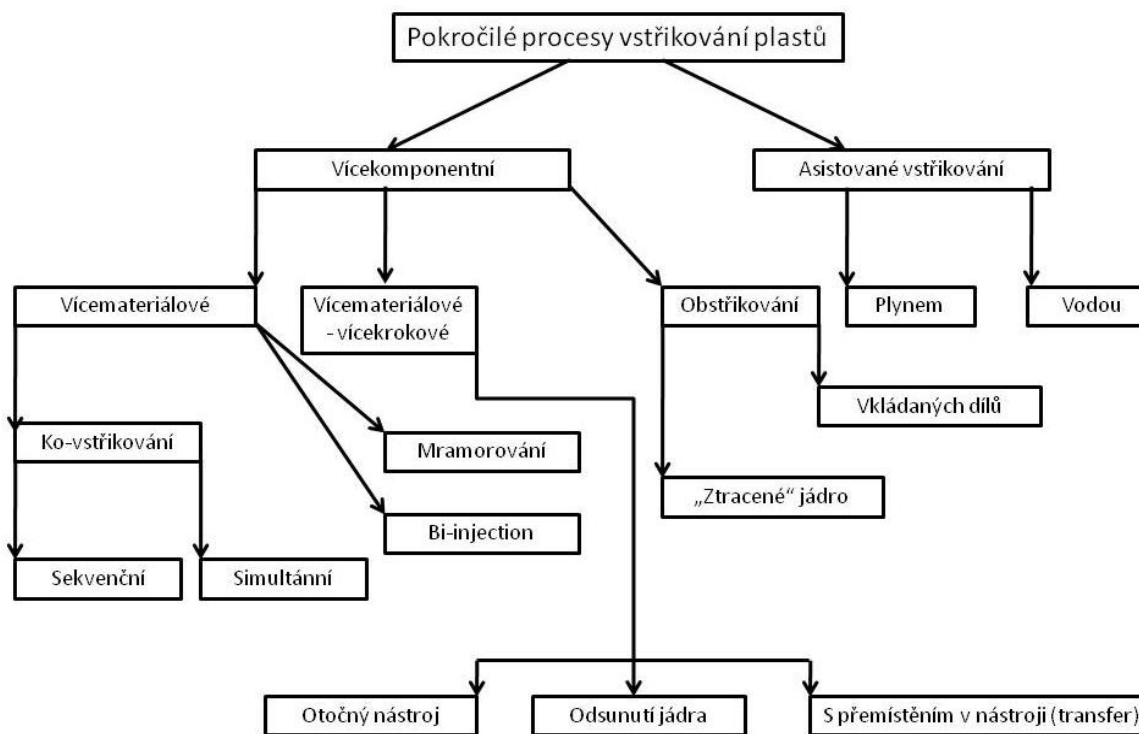


## 2 VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ TERMOPLASTŮ

Zatímco se vstřikování plastů považuje za relativně mladou technologii, stihly se již vyvinout mnohé varianty základního procesu vstřikování plastů. Jako příklad můžeme uvést zastřikování vkládaných součástí, plynem nebo vodou asistované vstřikování, sendvičové vstřikování a další. [16]

Stejně jako v jiných odvětvích, tak i v průmyslu zpracování plastů jsou hnací silou zejména neustále se zvyšující požadavky zákazníků a společnosti na kvalitu vyráběného dílu při co nejnižší finanční náročnosti. U některých výrobků je jejich design již tak specifický, že jakýkoliv jiný způsob výroby, než vícekomponentním vstřikováním, je jak z ekonomického, tak i z technologického hlediska nemyslitelný (tolerance, takt výrobní linky, výrobní náklady na jeden díl, atd.). Jedná-li se o velké série vyráběných dílů, pak často se vyšší počáteční náklady na strojní zařízení (hlavně speciální vstřikovací stroj a nástroj) velmi záhy zaplatí právě zkrácením výrobního cyklu. Pokud by se tentýž díl měl vyrábět montováním několika dílů do sebe (bylo by to vůbec realizovatelné), znamenalo by to sice nižší pořizovací náklady na vybavení (běžný vstřikovací stroj, relativně jednoduchý nástroj na každou část dílu zvlášť, o několik metrů delší montážní linka), ale zato prodloužení výrobního času z několika vteřin (i kdyby desítek vteřin) na celé minuty a více. A to už není jen tak zanedbatelná částka, zvážíme-li, že tyto „vícenáklady“ potrvají po celou dobu sériové výroby dílu.

Každá z dále uváděných technologií nalézá uplatnění v různých průmyslových odvětvích (automobilový průmysl, elektronika a elektrotechnika, spotřební zboží, medicínské aplikace a další). V podstatě se jedná o technologie vyvinuté podle konkrétních požadavků uvažované skupiny výrobků. Na Obrázku 14 jsou pro přehled rozvětvené pokročilé metody/procesy vstřikování plastů. [16]



**Obrázek 14 Rozdělení vícekomponentních technologií** [14, 17]

Vícekomponentní vstřikování plastů můžeme dále ještě rozdělit na vstřikování vícemateriálové, vícemateriálové-víceokrové a obstřikování.

## 2.1 Vícemateriálové vstřikování plastů

Princip technologie spočívá ve vstřikování dvou a více různých materiálů do jediné dutiny formy. Pojem komponenta představuje ve všech případech plast. Při tomto způsobu nejsou definované požadavky na přesnost, tvar, rozhraní a promísení vstřikovaných komponent. Z podtechnologií sem patří sekvenční a simultánní vstřikování, mramorování a tzv. bi-injection moulding. Vstřikovací stroj se většinou může pochlubit dvěma a více vstřikovacími jednotkami. [16,17,18]

## 2.2 Obstřikování (Over-moulding, insert moulding)

Při této technologii se zakládá již vyrobený díl (komponenta) do tvarové dutiny formy a při vstřikovacím procesu dojde k tzv. obstřiknutí vloženého dílu (kov, plast, fólie, textil, ...). Tato technologie se v náročnějších případech dá kombinovat i s těmi vícemateriálovými. [18]

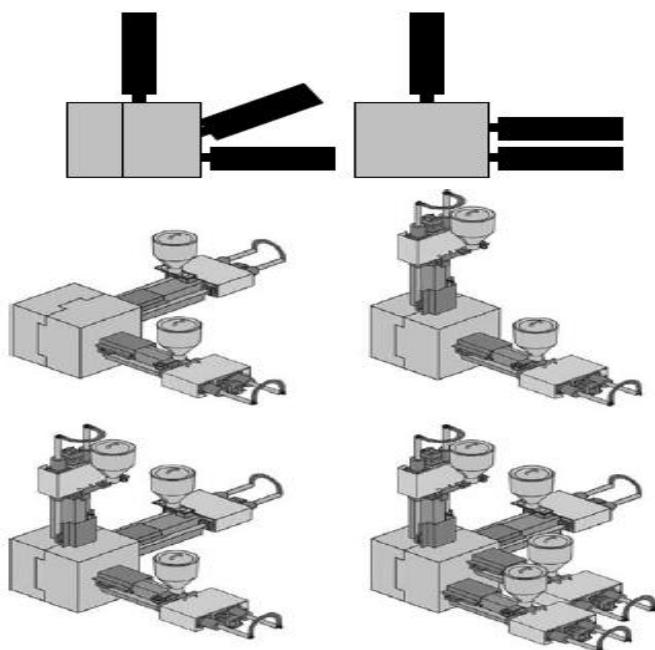
### 2.3 Vícemateriálové – vícekrokové – vícekomponentní vstřikování

Tento postup umožňuje vstřikování různobarevných dílů ze stejného materiálu (např. klávesnice, hřeben, různé hračky), dílů vyrobených sice ze stejného materiálu, ale nerozebíratelně tvarově spojených (využívá se materiálového smrštění, části jsou vůči sobě pohyblivé, ale nerozebíratelné díky tvarovému spojení, příkladem může být plastový kohout na zahradní hadici), dílů vyrobených ze stejného nebo alespoň kompatibilního materiálu s těsným a pevným materiálovým spojem. Kombinace materiálů bývají často tvrdý-měkký materiál (termoplast-termoplastický elastomer; protiskluzové rukojeti, držadla elektrického náradí, některých zubních kartáčků, hřebenů a v neposlední řadě nastřikovaná těsnění) nebo tvrdý-tvrdý materiál. Nemají-li použité materiály podobný chemický základ (nejsou kompatibilní ani mísitelné), nelze je takto spojit a je třeba použít kompatibilizátorů. [11,14,16,17]

### 2.4 Zařízení pro vícekomponentní (vícemateriálové - vícekrokové) vstřikování

#### Vstřikovací jednotka

Počet vstřikovacích jednotek závisí na počtu komponent. Příklad uspořádání vstřikovacích jednotek kolem uzavírací jednotky je znázorněn na Obrázku 15. [11]



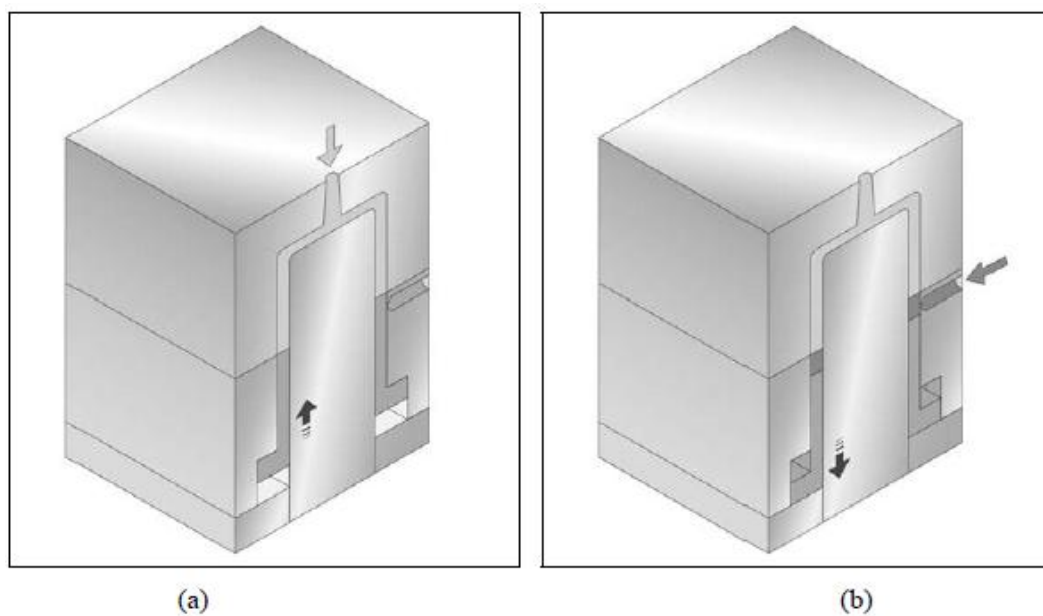
Obrázek 15 Příklad uspořádání vstřikovacích jednotek [11]

Použitím vertikální vstřikovací jednotky lze šetřit místo, a proto je nejpoužívanějším umístěním vstřikovací jednotky pro vícekomponentní vstřikování s tryskou ústící v dělicí rovině.

### Nástroj

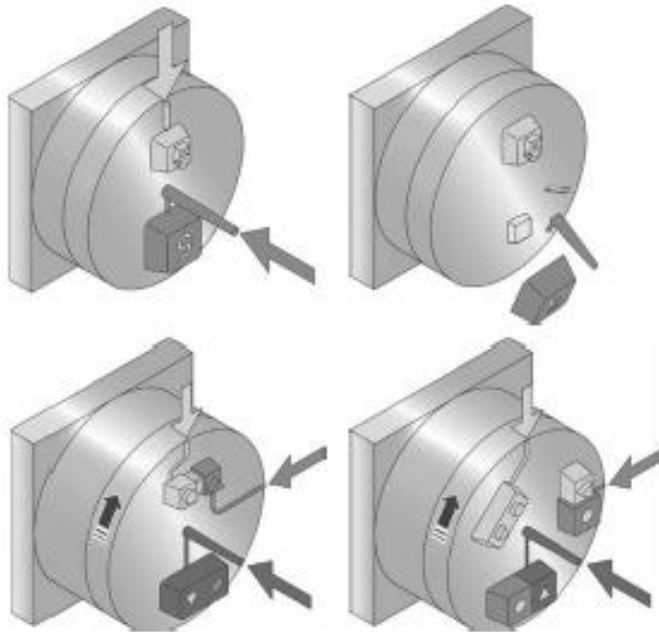
Jsou známy 3 hlavní způsoby řešení nástroje pro vícekomponentní vstřikování.

- Metoda „*core back*“ – Jedná se o řešení jednoduchých vícekomponentních dílů, kdy se do formy vstříkne nejprve tavenina první komponenty, poté odjede šoupátko, nebo také pohyblivé jádro formy, které vytvoří tvarovou dutinu pro další komponentu. Princip metody znázorněný na Obrázku 16. [15]



*Obrázek 16 Core back* [11]

- Použití *otočného nástroje*. Otočným zařízením je ve většině případů otočná tzv. indexová upínací deska vstřikovací formy s rozsahem pohybu až  $180^\circ$  pro dvoukomponentní vstřikování, s otočením o  $120^\circ$  pro tři komponenty, atd. (Obrázek 17). Rozsah otočení závisí na vstřikovacím stroji nebo nástroji. Před každým otočením desky je třeba formu nejprve otevřít. Docílení opětovného natavení při druhém obstřiku je těžší a materiálové spojení není tak pevné, jako při metodě „core back“. [9,11]



**Obrázek 17 Dvoukomponentní (nahore) a tříkomponentní (dole) nástroj [11]**

- *Transfer moulding* (přemístění v nástroji) – při této metodě se využívá robota, který přemísťuje vstříknutou komponentu do vedlejší kavity pro další obstřik. Čas cyklu je v tomto případě delší, před každým přemístěním z kavity do kavity je třeba mít díl již zchlazený. Docílení opětovného natavení při druhém obstřiku je těžší a materiálové spojení není tak pevné, jako při metodě „core back“. [17,18,19]

### 3 PEVNOST SPOJE VZNIKLÉHO VÍCEKOMPONENTNÍM VSTŘIKOVÁNÍM

Základní mechanizmy spojení jednotlivých částí dílu vyrobeného vícekomponentním vstřikováním mohou být trojího druhu.

- Mechanické/tvarové spojení (části dílu jsou tvarově nerozebíratelně uzamčené, rozhraní těchto částí je zcela oddělené a pokud to tvar dovolí, tak mohou být jednotlivé části vůči sobě i pohyblivé)
- Pevné mechanické spojení za přispění třecích sil (části dílu jsou tvarově nerozebíratelně uzamčené, rozhraní těchto částí je zcela oddělené, ale nelze s nimi vzájemně pohybovat, rozhraní může být v určitých případech a podmínkách i těsné například pro kapaliny)
- Pevné, těsné materiálové spojení na rozhraní jednotlivých částí (pro spojení není třeba částí vzájemně tvarově uzamykat, materiály jednotlivých obšťříků musí vykazovat vzájemnou mísitelnost nebo alespoň kompatibilitu)

A jejich kombinace (tvarový zámek částí dílu vstřikovaných ze vzájemně mísitelných nebo kompatibilních materiálů). [21]

- ***Mísitelnost a kompatibilizace materiálů***

Aby mohlo dojít při vícekomponentním vstřikování ke kvalitnímu materiálovému až molekulárnímu spojení, musí být tyto materiály mísitelné nebo alespoň kompatibilní, jelikož rozhraní jednotlivých komponent je tvořeno tenkou vrstvou směsi zpracovávaných materiálů.

Termodynamika mísitelnost popisuje pomocí změny Gibbsovy volné energie  $\Delta G$  a tvrdí, že systém je mísitelný, je-li změna Gibbsovy volné energie záporná. [22,23,27]

$$\Delta G_M = \Delta H_M - T\Delta S_M$$

Kde  $\Delta H_M$  a  $\Delta S_M$  jsou směšovací entalpie a entropie.

Binární polymerní směs popisuje Flory-Hugginsův vztah, a jeho úprava, pro molární Gibbsovu volnou energii:

$$\frac{\Delta G_M}{RTV} = \frac{\varphi_1}{V_1} \ln \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{V_2} \ln \varphi_2 + \frac{\chi_{12}}{V_1} \varphi_1 \varphi_2$$

$$\Delta G_M = RTV \left( \frac{\varphi_1}{V_1} \ln \varphi_1 + \frac{\varphi_2}{V_2} \ln \varphi_2 \right) + B \varphi_1 \varphi_2$$

$$\frac{\chi_{12}}{V_1} = \chi'_{12} ; B \equiv \chi_{12} RTV / V_1$$

Kde index  $i = 1$  a  $2$ , přičemž index  $1$  se používá pro rozpouštědlo a index  $2$  pro polymer.  $\varphi_i$  je objemový zlomek složky  $i$ ,  $V_i$  je molární objem složky  $i$ ,  $B$  je binární interakční parametr. První dva členy rovnice vyjadřují kombinační směšovací entropii, zatímco třetí člen vyjadřuje směšovací entalpii. U polymerních systémů je  $V_i$  obrovské. To znamená, že po dosazení nabyde entropická složka zanedbatelně malých hodnot a proto rozhodujícím faktorem pro mísitelnost nebo nemísitelnost systému se stává entalpická složka, respektive třetí člen Flory-Hugginsovy rovnice. [22,23,24,25,26,27]

Flory-Hugginsov model však trpí nedostatkem v neschopnosti vysvětlit obecnou vlastnost polymerních roztoků, jakou je fázová separace při zahřívání. K vysvětlení tohoto problému se momentálně využívá modelů stavové rovnice (=Equation of State model = EoS). [25]

### Mísitelné polymerní směsi

Tvoří jednofázový systém, polymery jsou promíseny na segmentální úrovni. To určuje závislost  $\Delta G_M$  na  $\varphi_2$ . Mísitelné polymery dělíme na dva druhy. Na neomezeně mísitelné polymery, které se mísí v celém rozsahu složení, a na omezeně mísitelné polymery, které se mísí jen do určité koncentrace minoritní složky. Fyzikální vlastnosti těchto směsí se sice nesčítají, ale přinejmenším odpovídají průměru vlastností složek. Mísitelnost směsí polymer-polymer se vyskytuje velmi zřídka. Je známo dohromady asi jen 1000 případů, ale tyto směsi a podmínky jejich mísitelnosti jsou výjimečné, proto se s většinou z nich tak často nesetkáváme.

I mísitelné polymery se rozpouštějí velmi pomalu. Je to dáno jejich velkou viskozitou. Proto je nutné mícháním získat velmi malé domény nebo rozpustit složky ve společném rozpouštědle. To se ale po rozpuštění a smísení musí ze směsi odstranit pryč.. [22,23,24,25,26,27]

### Faktory ovlivňující mísitelnost

- Polarita (u polymerů se stejnou nebo podobnou polaritou roste pravděpodobnost jejich úspěšného smísení)

- Specifické interakce (*disperzní síly, vodíkové můstky, přenos náboje, interakce kyselina-zásada, dipólové interakce jako například dipól-dipól, iont-dipól, indukovaný dipól-dipól, apod. podporují mísitelnost*)
- Molární hmotnost (*Nižší molární hmotnosti polymerů podporují náhodnost míchání a tím nárůst entropie, která vede ke zlepšení mísitelnosti. Polymery s podobnou molární hmotností jsou lépe mísitelné, než polymery s rozdílnou molární hmotností, i když jde o tentýž polymer.*)
- Poměr složek (*U některých nemísitelných polymerů může nastat situace, kdy lze malé množství jednoho polymeru rozpustit ve velkém množství druhého polymeru. Na tomto principu je postavená kompatibilita.*)
- Krystalinita (*Vyšší podíl krystalické složky je z hlediska mísení nevýhodný. Výjimkou je stav, kdy při současné krystalizaci více složek v systému tyto vytvoří jednu společnou, tzv. ko-krystalizační fázi.*) . [14,23,25,27]

### **Kompatibilizace polymerních směsí**

Potřebujeme-li vytvořit polymerní směs z kombinace dvou nemísitelných a chemicky odlišných polymerů, stačí zajistit kompatibilitu na rozhraní fází. Kompatibilizace snižuje mezifázové napětí. Tím zabraňuje koalescenci částic a přispívá ke zjemnění struktury systému a tím i k jeho větší soudržnosti a propojení.

Při kompatibilizaci se používají různé postupy, jako například:

- a) Přidání malého množství látky, třetí komponenty, která je buď mísitelná s oběma fázemi (společné rozpouštědlo), nebo jde o přesně definovaný kopolymer, jehož jedna část je mísitelná s jednou fází a druhá část je mísitelná s druhou fází (0,5-2 hm. %, obvykle blokový kopolymer, méně často roubovaný).
- b) Přidání velkého množství, až 35 %, kopolymeru typu "jádro-slupka", který se chová jako kompatibilizátor a rázový modifikátor v jednom.

Reaktivní kompatibilizace, navržená k ovlivnění interakcí domén a vytvoření jemnější struktury realizací chemických vazeb mezi dvěma homopolymery během procesu polymerace, respektive kopolymerace, nebo během procesu tváření. . [22,23,24,25,26]



## 4 CÍLE PRÁCE

Ze zadání diplomové práce vyplývají následující cíle:

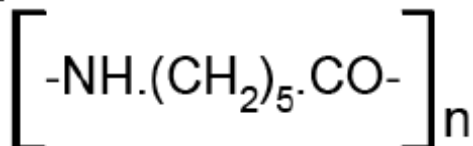
1. Navrhnout zkušební postup
  - design a provedení zkušebního tělesa, tvar a rozměry materiálového rozhraní
  - výběr možných faktorů (procesní parametry a koncentrace kompatibilizovaného materiálu včetně rozsahu) ovlivňujících pevnost a vůbec vznik materiálového spojení
  - plánování experimentu (vyloučení méně významných faktorů, provedení detailnějšího průzkumu vlivů významných faktorů)
  
2. Testování pevnosti rozhraní fází/materiálů
  - tahová zkouška (maximální tahové zatížení [N])
  - porovnání a vysvětlení s trendem DSC analýzy směsí
  
3. Optimalizace procesních parametrů zkušebního postupu a přenesení získaných poznatků na reálný díl/proces formou doporučení (lessons learned)

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 POUŽITÉ MATERIÁLY

Pro výrobu 2K tahových tělísek byly zvoleny dále uvedené materiály. Jejich materiálové listy jsou v příloze.

### 5.1 Polyamid 6 (PA 6) -Ultramid B3EG6 (fa. BASF)



*Obrázek 18 Chemický vzorec PA 6*

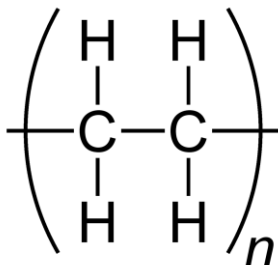
Vyrábí se z kyseliny 6 - aminokapronové.

Produkt hydrolytické polymerace je tvrdý, světle žlutý, použitelný v rozmezí -30 °C až +100 °C dlouhodobě, houževnatý, odolný vůči oděru, rozpustný ve fenolech, kyselině mravenčí a bezvodé kyselině octové, neodolává anorganickým kyselinám a oxidačním činidlům, je navlhavý. Vyrábí se z něj textilní vlákna, ložiska, ozubená kola a ovládací elementy, nejčastěji se mísí s 30 % skleněných vláken. . [28,29,30]

| <b>Kompatibilizace PA přidáním kompatibilizátoru</b> |  |   |
|--|--|---|
| SMĚS   | KOMPATIBILIZÁTOR   | POZNÁMKY                                  |
| PP/PA 6  | maleinanhydridem modifikovaný PP (PP-MA)                     |   |
| PE/PA 6  | maleinanhydridem modifikovaný SEBS (SEBS-MA),<br>do 10 hm. % | snižuje mezifázové napětí, zvyšuje adhezi |

*Tabulka 1 Kompatibilizace PA přidáním kompatibilizátoru [25]*

## 5.2 Vysokohustotní polyetylén (PE-HD) – Novatec HJ221 (fa. Japan Polyethylene)



*Obrázek 19 Chemický vzorec polyetylénu*

Polyetylén má teplotu tání mezi 125 – 136 °C, krystalinitu 65 – 95 %, hustotu 0,954–0,970 g/cm<sup>3</sup> a dobré tokové vlastnosti.

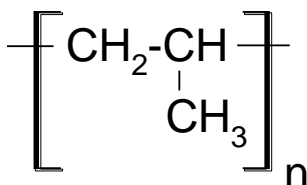
Vyrábí se různé typy lišící se zejména ITT, doporučeným způsobem zpracování (vytlačovací, vstříkovací) a účelem použití (trubky, fólie, desky, atd.)

Zpracovává se hlavně vstříkáním, vytlačováním a vyfukováním.

Používá se na vstříkované výrobky denní spotřeby, trubky, desky, velkoobjemové nádoby, fólie i velmi tenké MIKROTEN, orientované pásy, pytle atd.

Pro kompatibilizaci s PA6 se roubuje maleinanhydridem. . [2,3,5,25,28,29]

### 5.3 Polypropylén (PP) – Moplen EP540P (fa. LyondellBasell)



**Obrázek 20** Chemický vzorec polypropylénu

Je druhým nejvýznamnějším polyolefinem. Pod bodem mrazu je křehký, má dobré tokové vlastnosti, krystalinita je 60 až 70 %, krátkodobě jej lze používat až do 135 °C, má vyšší pevnost a tvrdost, odolnost vůči trhlinám, ochotně fotooxiduje. Vlastnosti kolísají s krystalinitou a ta závisí na zpracování. Je použitelný, může sloužit i k výrobě vláken. Zpracovává se vstřikováním, vytlačováním, lisováním, modifikované typy se mohou válcovat. Je svařitelný a po speciální úpravě i lepitelný. Vyrábí se z něj trubky, fólie, desky, předměty domácí spotřeby s vyšší tuhostí a tepelnou odolností, orientované pásy, vlákna, další aplikace v podobě kompozitů se skelnými vlákny.

Pro kompatibilizaci s PA6 se roubuje maleinanhydridem. [2,3,5,25,28,29]

### 5.4 Kompatibilizovaný vysokohustotní polyetylén - Bondyram 5108 (fa. Polyram)

Maleinanhydridem roubovaný vysokohustotní polyetylén určený pro vstřikování. Přidává se do polyetylénu pro zlepšení adheze ke skleněným plnivům a polyamidu. Obsah maleinanhydridu do 1% hmotnosti.

### 5.5 Kompatibilizovaný polypropylén – Bondyram 1001 (fa. Polyram)

Maleinanhydridem roubovaný polypropylén určený pro vstřikování. Přidává se do polypropylénu pro zlepšení adheze ke skleněným plnivům a polyamidu. Obsah maleinanhydridu do 1% hmotnosti.

## 6 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

### 6.1 Tahová zkouška

Patří mezi statické zkoušky mechanických vlastností plastů. Principem této zkoušky je měření síly působící na zkušební těleso a protažení zkušební tělesa při konstantní rychlosti tahové deformace.

Z těchto základních veličin lze pak dopočítat mechanické hodnoty materiálu, jakými je mez pevnosti, mez kluzu, modul pružnosti, tažnost.

Při namáhání v oblasti pružných deformací dochází ke zvětšování deformace materiálu úměrně s rostoucím napětím dle **Hookova zákona** [31]

$$\sigma = E \cdot \varepsilon ,$$

kde  $\sigma$  je **napětí** vypočtené ze síly působící na plochu průřezu zkušební tělesa

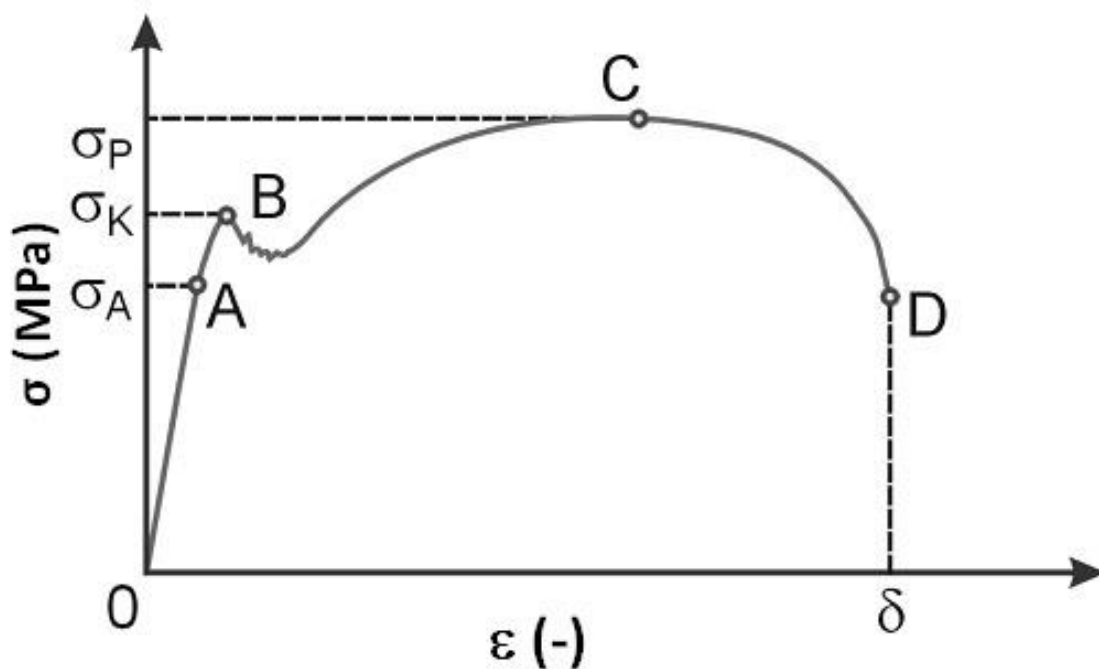
$$\sigma = \frac{F}{S}$$

( $F$  je síla v Newtonech a  $S$  je plocha průřezu zkušební tělesa v  $mm^2$ ) udávané v  $MPa$ ,  $E$  je materiálová konstanta **Youngův modul pružnosti** v  $MPa$  a  $\varepsilon$  je **poměrné prodloužení** vypočtené jako

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0},$$

kde  $L$  je aktuální délka zkušební tělesa v  $mm$  a  $L_0$  je délka tělesa před začátkem tahové zkoušky. Poměrné prodloužení  $\varepsilon$  je bezrozměrná veličina.

Výstupem z tahové zkoušky bývá mimo naměřených a dopočítaných veličin také **tahová křivka** (Obrázek 21) závislosti právě napětí  $\sigma$  na poměrném prodloužení  $\varepsilon$ . [31]



**Obrázek 21 Tahová křivka jako výstup tahové zkoušky polymerního materiálu**

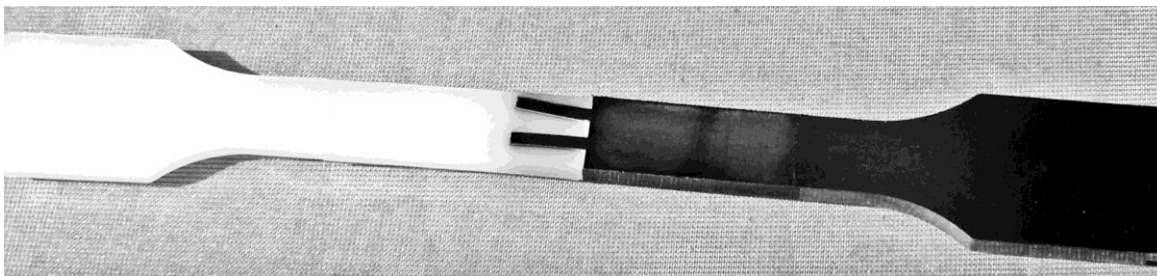
Na diagramu jsou znázorněny body (označeny A-D), ve kterých dochází ke změnám chování zkoušeného materiálu. Těmto bodům odpovídají jednotlivé hodnoty napětí vyznačené na ose  $y$ , kterými jsou napětí na mezi úměrnosti ( $\sigma_A$ ) v bodě **A**, napětí na mezi pružnosti/kluzu ( $\sigma_K$ ) v bodě **B**, napětí na mezi pevnosti ( $\sigma_P$ ) v bodě **C** a napětí při přetržení v bodě **D**.

Bod A se značí jako mez úměrnosti. V oblasti 0-A platí Hookeův zákon a modul pružnosti  $E$  se vypočítá ze směrnice této přímky.

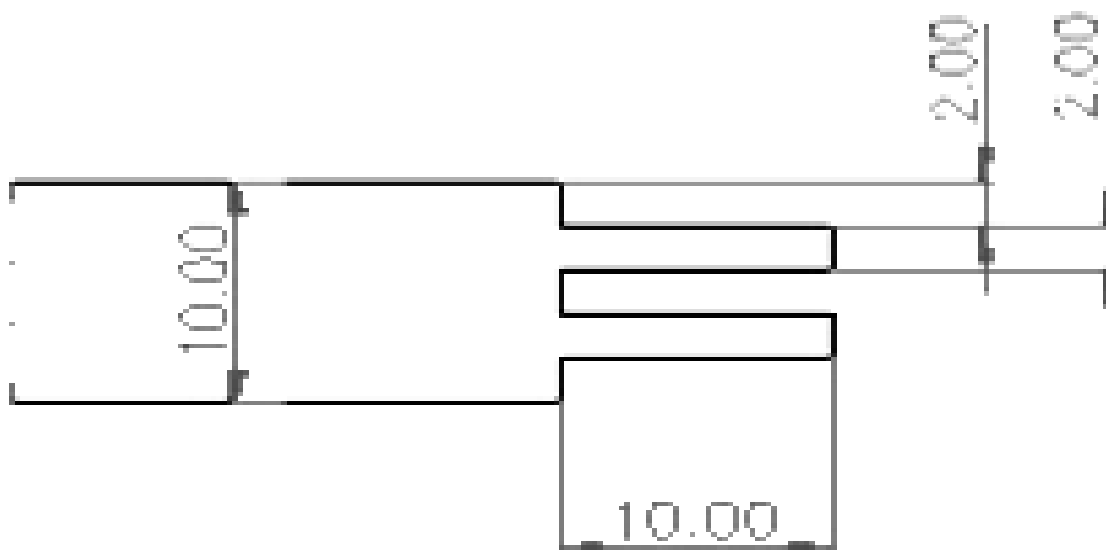
Bod B označuje mez pružnosti. V oblasti A-B dochází k pružné deformaci a v případě uvolnění přiloženého napětí, materiál zaujme své původní rozměry. Po překročení hodnoty napětí na mezi pružnosti se dostáváme do oblasti B-C, která se označuje jako plastický tok. Zde se již těleso nevratně deformuje, až do bodu C. Ten je označován jako mez pevnosti s maximálním naměřeným napětím. Od tohoto bodu napětí již klesá až do bodu D, kdy dojde k porušení a přetržení zkoušeného vzorku. [31]

Tělesa pro tahovou zkoušku mají normalizované rozměry dle *ČSN EN ISO 527-3*. Standardizovaná tahová zkouška polymerních materiálů poté probíhá podle normy *ČSN EN ISO 527-1*.

Pro účely experimentální práce však nebyla použita přímo normalizovaná zkušební tělesa. Jejich tvar i rozměry z nich ale z velké části vycházejí.



*Obrázek 22 Dvoukomponentní zkušební tahové tělísko*



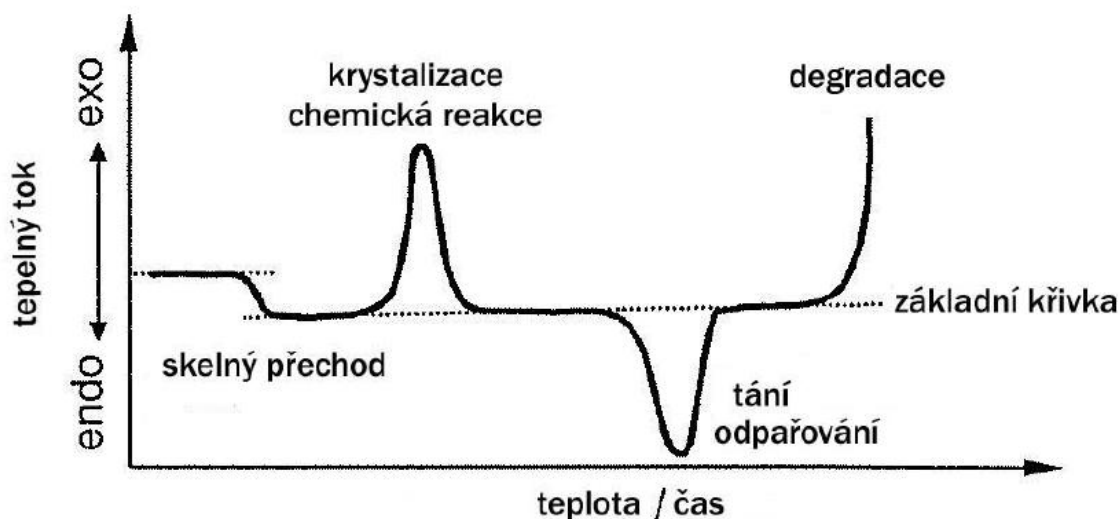
*Obrázek 23 Detail a rozměry (v mm) tvaru rozhraní první a druhé komponenty zkušebního tahového tělíška*

Měření probíhalo při pokojových podmínkách (teplota 23 °C, vlhkost 50 %) na přístroji Instron 3367 s ovládacím softwarem Bluehill. Rychlost posuvu čelistí byla nastavena na 20 mm/min.

## 6.2 DSC – Diferenciální snímací kalorimetrie

DSC je metoda termické analýzy založená na měření příkonu elektrické energie potřebného k udržení konstantní nastavené lineární rychlosti ohřevu, případně teploty vzorku v porovnání s referenčním materiálem. Zpracováním výstupního signálu získáme grafické znázornění závislosti tepelného toku na teplotě, případně čase, takzvaný termogram (Obrázek 24).





Obrázek 24 Příklad termogramu semikrystalického polymeru (PET - polyethylentereftalát)

Tepelné vlastnosti daných polymerů vychází z jejich endo- a exotermických přechodů. Metodou DSC lze tedy určit charakteristické teploty polymerů (teplota skelného přechodu, teplota tání, teplota krystalizace, teplota dekompozice), jejich tepelné vlastnosti, mezi které patří například měrná tepelná kapacita, nebo lze zjistit v neposlední řadě také podíl krystalické fáze analyzovaného polymeru. [23,32,33]

Metoda DSC byla pro účely této práce zvolena jen jako kontrolní zkouška, při které se zjišťovaly tepelné vlastnosti vstřikováním vyrobených směsí zkoušených materiálů. Byla použita zkušební metoda jednoho ohřevu z 0 °C na 300 °C a následného zchlazení z 300 °C na 50 °C u směsi s obsahem PA6 a ohřevu z 0 °C na 200 °C a následného zchlazení na 50 °C u PE-HD a PP. Všechny vzorky byly zahřívány i chlazené rychlostí 30 °C/min a mezi ohřevem a chlazením nebylo setrváváno na konstantní teplotě. Hmotnost všech vzorků byla  $8 \text{ mg} \pm 0,3 \text{ mg}$ .

### 6.3 Optická mikroskopie

Optická mikroskopie je nejstarší a nejčastěji používanou metodou analýzy struktury a vybraných vlastností polymerních materiálů. Její rozlišovací schopnost je obecně v rámci vlnových délek viditelného spektra záření. V technické praxi se používá zejména k analýze svarových a lepených spojů, pozorování struktury materiálů (sférolitů), k primární analýze lomových ploch, vyhodnocování měření povrchového napětí a k mnoha dalším.

V této práci byla použita pro ověření vzniku materiálového spojení u dvoukomponentního zkušebního tahového tělíska.

#### **6.4 Systematika Design of Experiment, statistický program Minitab 15**

Pro lepší přehlednost, plánování a vyhodnocování experimentů bylo použito nástroje řízení jakosti ve formě statistického programu Minitab 15. Tento program se stále častěji používá při vývoji nových výrobních procesů ve firmě Bosch, spol. s.r.o. v Českých Budějovicích. Uspodňuje dodržování systematiky vývoje procesů právě svou pomocí při navrhování a plánování experimentů, při analýze vlivů vstupujících do procesu, posuzování jejich významnosti, následné začlenění do optimalizace procesních parametrů pro zajištění spolehlivosti, opakovatelnosti a robustnosti procesu.

Pro potřeby experimentů v této práci bylo využito nástroje Design of Experiment pro vytvoření a vyhodnocení dvouúrovňového faktoriálového a obecného plně faktoriálového návrhu experimentu.

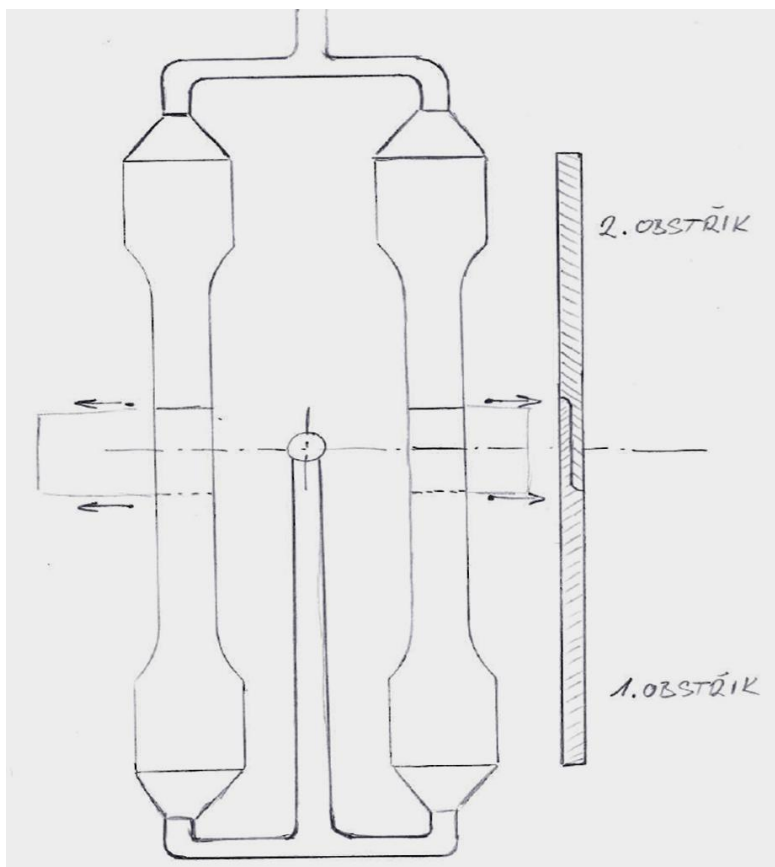
## 7 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 7.1 Výběr materiálu a návrh zkušebního tělesa

Nejprve bylo třeba najít na trhu dostupné komerční produkty maleinanhydridem kompatibilizovaného vysokohustotního polyetylenu (MaPE-HD) a polypropylénu (MaPP). Mezi hlavní požadované vlastnosti materiálu patřila zpracovatelnost vstřikováním a kompatibilita s polyamidem 6. Nakonec bylo rozhodnuto pro první vzorkování pořídit produkty firmy DuPont s obchodními názvy Fusabond E265 (MaPE-HD) a Fusabond P613 (MaPP) a produkty izraelské firmy Polyram s obchodními názvy Bondyram 5108 (MaPE-HD) a Bondyram 1001 (MaPP). V případě polyamidu byl zvolen běžně používaný Ultramid B3EG6 od firmy BASF (PA6 GF30 = 30 hm. % skelných vláken, černé barvy), pro vysokohustotní polyetylén byl zvolen produkt firmy Japan Polyethylene (JPE) s názvem Novatec HJ221 (PE-HD neplněný, přírodní/bílé barvy) a nakonec pro polypropylén byl použitý produkt firmy LyondellBasell s názvem Moplen EP540P (PP přírodní/bílé barvy).

Poté bylo třeba zvážit mechanismus spojení a zároveň splnit podmínku, aby nejčastější místo přetržení/porušení zkušebního tělesa při tahových zkouškách bylo právě materiálové spojení. Podle toho pak navrhnout zkušební těleso. Základní tvar vychází ze zkušebního tělesa pro tahové zkoušky. Pro dvoukomponentní účely bylo třeba vybavit dvojnásobný vstřikovací nástroj druhým ústím vtoku a posuvným vozíkem/šoupátkem, který dával tvar rozhraní materiálů vstřikovaných komponent.

První návrh geometrie rozhraní materiálů a řešení nástroje je znázorněný na Obrázku 25.



**Obrázek 25 První návrh dvoukomponentního zkušebního tahového tělíska**

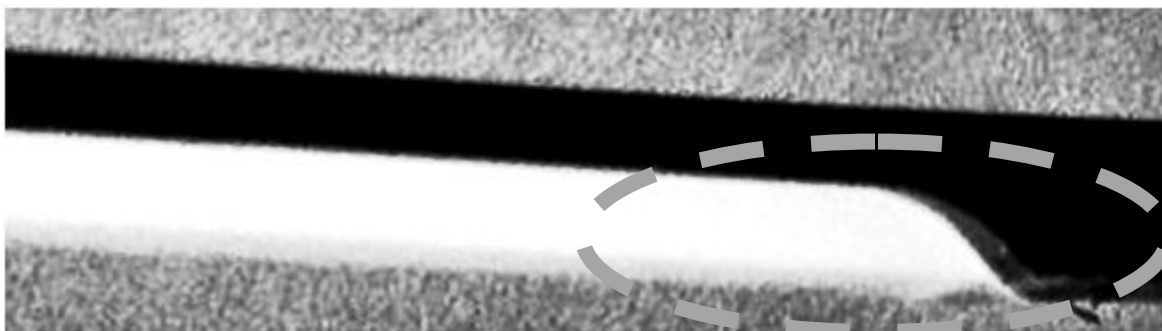


**Obrázek 26 Tahové tělísko s první geometrií (pohled z profilu)**

Šlo o řešení, kdy se materiály prvního a druhého obstříku překrývaly po délce asi 5 cm. Tloušťka jedné vrstvy byla polovina tloušťky běžného tahového tělíska, čili 2 mm. Šířka této části tahového tělíska odpovídá šířce běžného tahového tělíska, tudíž 1 cm.

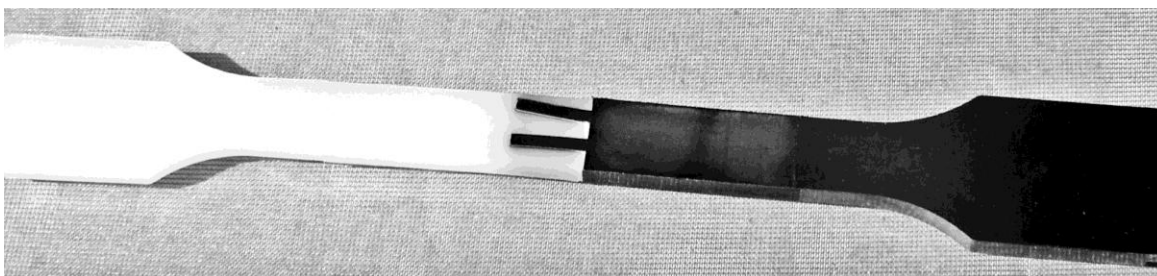
O první návrh geometrie se jedná proto, že po prvních vstřikovacích zkouškách byl zjištěný problém ve vyrobitelnosti 2K tahového tělíska, jelikož podélné smrštění polyetylenu proti smrštění polyamidu 6 vyztuženého ještě 30 hm. % skelných vláken bylo tak značné, že byla spíše výjimka, když se tahové tělísko samo od sebe nerozpadlo již při vyhazování z formy právě silami působícími na spoj, které vznikají vlivem podélného smrštění (smrštěním deformované-prohnuté tahové tělísko na Obrázku 26). Na Obrázku 27 je patrný výrazný rozdíl

rozměrů bílé polyetylenové části spoje proti černé části polyamidové, respektive proti původnímu tvaru.

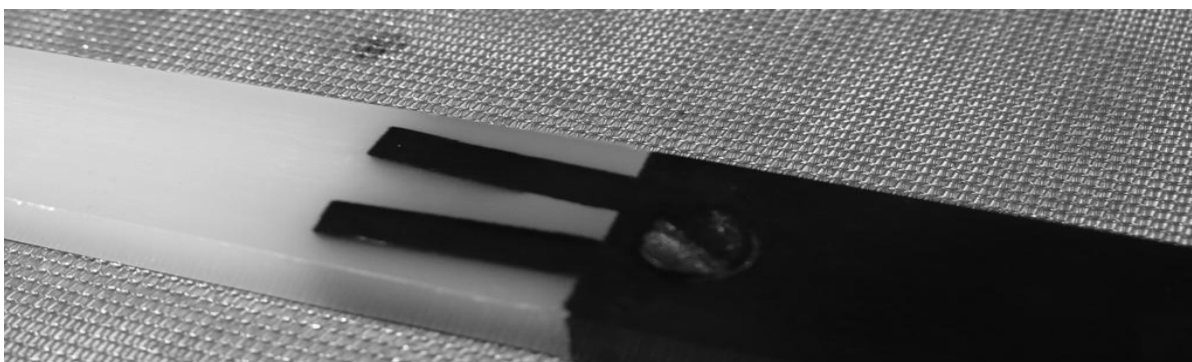


**Obrázek 27** Podélná kontrakce vlivem smrštění

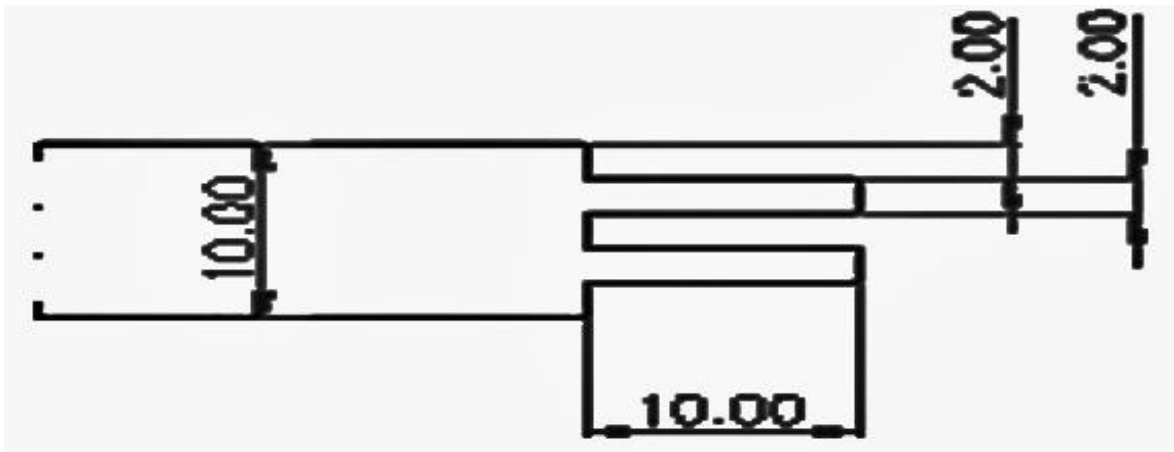
Bylo tedy rozhodnuto, že je třeba změnit tvar spojení. Podmínkou bylo, aby plocha spoje byla pokud možno co největší, ale délka tohoto spoje ve směru toku taveniny dutinou formy, co nejkratší. Konečný tvar rozhraní materiálů je znázorněn na Obrázku 28. Na Obrázku 29 detail rozhraní a na Obrázku 30 jsou pak vyznačené i charakteristické rozměry spoje.



**Obrázek 28** Tvar rozhraní materiálů na dvoukomponentním tahovém tělisku po změně



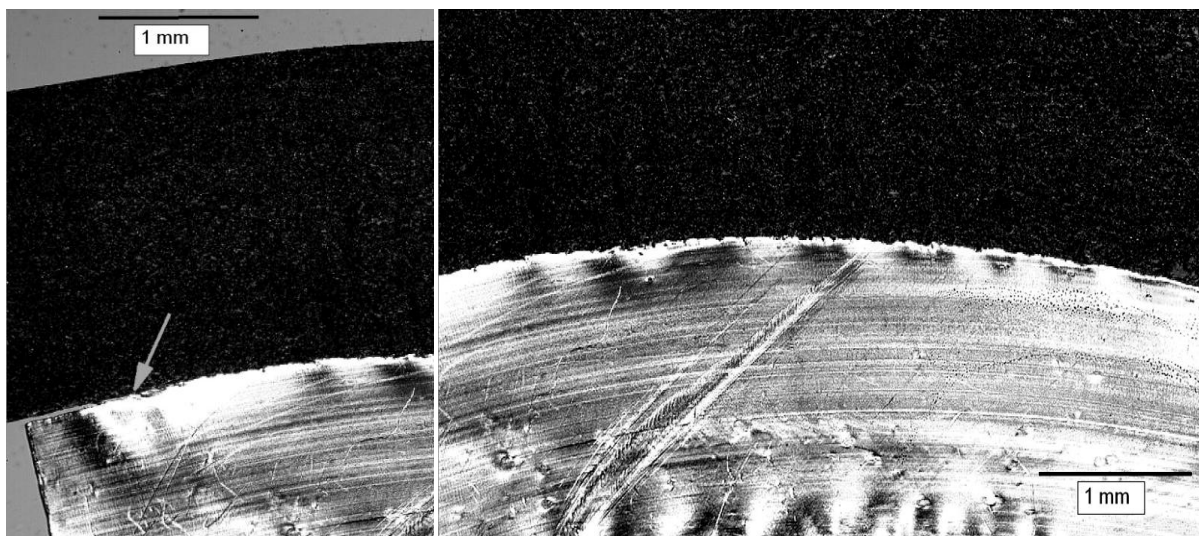
**Obrázek 29** Detail nové geometrie rozhraní materiálů na dvoukomponentním tahovém tělisku



**Obrázek 30** Detail nové geometrie s rozměry v milimetrech

Vstříkovací cyklus pro výrobu zkušebního tělíska zjednodušeně vypadal následovně.

1. Zavření formy
2. Vstříknutí první komponenty (polyamid 6)
3. První dotlak/začátek počítání časové prodlevy
4. Pootevření formy, odjetí šoupátka
5. Zavření formy
6. Vstříknutí druhé komponenty (kompatibilizovaný vysokohustotní polyetylén nebo kompatibilizovaný polypropylén) /konec počítání časové prodlevy se započítáním vstříkování
7. Dotlak, chlazení
8. Otevření formy, vyhození 2 ks zkušebního tělíska

**Materiálové spojení na rozhraní komponent:**

**Obrázek 31** Příklad vzniku materiálového spojení na obrázku vpravo a příklad místa nespojeného

## 7.2 Posouzení vstřikovacích parametrů podle vlivu na pevnost materiálového spojení a výběr nejvýznamnějších z nich

V první části experimentu byly k posouzení vybrané následující procesní parametry ve zvoleném rozsahu hodnot.

- Obsah kompatibilizovaného materiálu ( $c$ ) 10 – 50 hm. %
- Teplota formy ( $T_f$ ) 60 – 100 °C
- Teplota taveniny 1. komponenty (PA6) ( $T_{\text{tav. K1}}$ ) 250 – 290 °C
- Teplota taveniny 2. komponenty (PE-HD, PP) ( $T_{\text{tav. K2}}$ ) 240 – 270 °C
- Rychlost vstřikování 2. Komponenty (PE-HD, PP) ( $v_{\text{vs.}}$ ) 20 – 60 mm/s
- Časová prodleva mezi 1. a 2. obstřikem ( $\Delta t$ ) 10 – 20 s

Na základě těchto vstupů byl sestaven 2 úroňový faktoriálový plán experimentu pro posouzení vlivu jednotlivých parametrů na pevnost (zatížení na mezi pevnosti  $F [N]$ ) materiálového spojení (Tabulka 2).

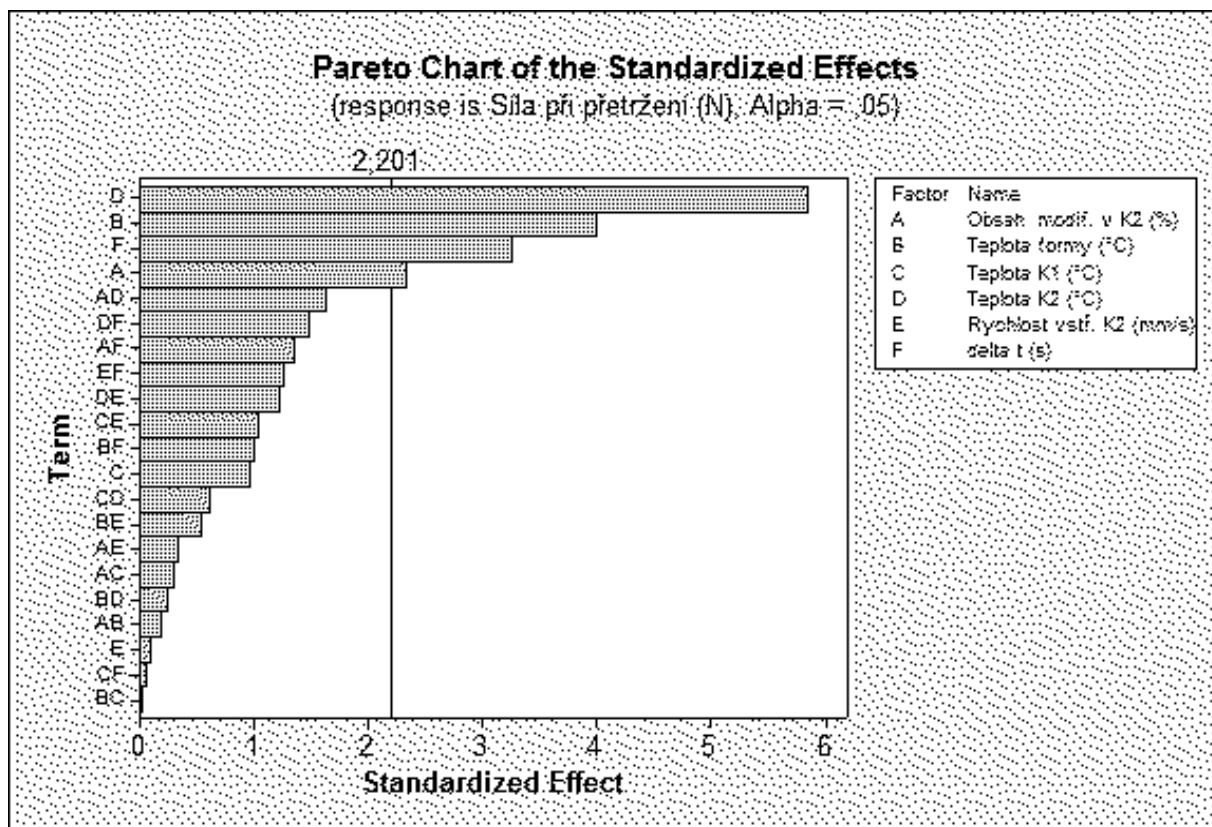
| Varianta číslo | C (%) | T <sub>f</sub> (°C) | T <sub>tav. K1</sub> (°C) | T <sub>tav. K2</sub> (°C) | V <sub>vs</sub> K2 (mm/s) | Δt (s) | Průměr F (N) |
|----------------|-------|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------|--------------|
| 1              | 10    | 60                  | 250                       | 240                       | 20                        | 10     | 579,30       |
| 2              | 50    | 100                 | 250                       | 240                       | 60                        | 20     | 672,28       |
| 3              | 50    | 60                  | 250                       | 270                       | 20                        | 10     | 722,04       |
| 4              | 10    | 100                 | 250                       | 270                       | 60                        | 20     | 812,16       |
| 5              | 50    | 100                 | 250                       | 240                       | 20                        | 10     | 661,10       |
| 6              | 10    | 60                  | 290                       | 240                       | 60                        | 10     | 626,04       |
| 7              | 10    | 100                 | 250                       | 270                       | 20                        | 10     | 840,63       |
| 8              | 50    | 60                  | 290                       | 270                       | 60                        | 10     | 771,65       |
| 9              | 50    | 60                  | 290                       | 240                       | 20                        | 10     | 671,47       |
| 10             | 10    | 100                 | 290                       | 240                       | 60                        | 20     | 471,89       |
| 11             | 10    | 60                  | 290                       | 270                       | 20                        | 10     | 747,05       |
| 12             | 50    | 100                 | 290                       | 270                       | 60                        | 20     | 835,86       |
| 13             | 10    | 100                 | 290                       | 240                       | 20                        | 10     | 635,50       |
| 14             | 50    | 60                  | 250                       | 270                       | 60                        | 20     | 735,92       |
| 15             | 50    | 100                 | 290                       | 270                       | 20                        | 10     | 849,71       |
| 16             | 30    | 80                  | 270                       | 255                       | 40                        | 15     | 763,77       |
| 17             | 50    | 60                  | 250                       | 240                       | 20                        | 20     | 646,40       |
| 18             | 10    | 100                 | 250                       | 240                       | 60                        | 10     | 724,44       |
| 19             | 10    | 60                  | 250                       | 270                       | 20                        | 20     | 530,16       |
| 20             | 50    | 100                 | 250                       | 270                       | 60                        | 10     | 802,56       |
| 21             | 10    | 100                 | 250                       | 240                       | 20                        | 20     | 529,57       |
| 22             | 50    | 60                  | 290                       | 240                       | 60                        | 20     | 409,03       |
| 23             | 50    | 100                 | 250                       | 270                       | 20                        | 20     | 765,05       |
| 24             | 10    | 60                  | 290                       | 270                       | 60                        | 20     | 706,25       |
| 25             | 10    | 60                  | 290                       | 240                       | 20                        | 20     | 511,71       |
| 26             | 50    | 100                 | 290                       | 240                       | 60                        | 10     | 805,26       |
| 27             | 50    | 60                  | 290                       | 270                       | 20                        | 20     | 707,86       |
| 28             | 10    | 100                 | 290                       | 270                       | 60                        | 10     | 838,84       |
| 29             | 50    | 100                 | 290                       | 240                       | 20                        | 20     | 754,69       |
| 30             | 10    | 60                  | 250                       | 270                       | 60                        | 10     | 735,73       |
| 31             | 10    | 100                 | 290                       | 270                       | 20                        | 20     | 829,32       |
| 32             | 30    | 80                  | 270                       | 255                       | 40                        | 15     | 763,77       |
| 33             | 10    | 60                  | 250                       | 240                       | 60                        | 20     | 339,20       |
| 34             | 50    | 60                  | 250                       | 240                       | 60                        | 10     | 655,76       |

*Tabulka 2 Plán experimentu s doplněnými průměrnými hodnotami zatížení na mezi pevnosti F [N] pro kombinaci PA6 – kompatibilizovaná směs PE-HD*

**V této fázi došlo k definitivnímu vyloučení kombinace PA6 – PP z dalších pokusů, jelikož nebyly nalezeny žádné podmínky, při kterých by bylo možné tyto dva materiály spojit a podrobit tahové zkoušce.**



Po provedení tahové zkoušky na 10 tahových tělískách od každé varianty bylo provedeno základní vyhodnocení významnosti vlivů/parametrů v programu Minitab 15.



**Obrázek 32** Paretova analýza míry vlivu změny jednotlivých faktorů a případně jejich dvojkombinací na výsledné zatížení spoje na mezi pevnosti

Z grafu je patrné, že na hodnotu zatížení spoje na mezi pevnosti mají nejvýznamnější vliv jen čtyři parametry:

- Teplota taveniny kompatibilizované směsi PE-HD
- Teplota formy
- Časová prodleva
- Obsah kompatibilizovaného PE-HD

To znamená, že do obecného plně faktoriálního plánu experimentu budou vstupovat už jen 4 výše uvedené faktory a tudíž rychlost vstřikování druhé komponenty a teplotu taveniny první komponenty „zanedbáme“, stejně tak i nastavíme konstantní obsah PE-HD. Určitě ne zcela,

ale použijeme optimalizačního nástroje pro přibližné odečtení nejvhodnějších hodnot zanedbávaných parametrů.

| New<br>D<br>1,0000                                 | Obsah kompatibilizovaného PE-HD |           | Teplota formy | Teplota taveniny K1 | Teplota taveniny K2 | Rychlost vstřiku K2 | Časová prodleva |
|--|---------------------------------|-----------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
|  | Hi<br>Cur<br>Lo                 |           |               |                     |                     |                     |                 |
|  |                                 | 50,0      | 100,0         | 290,0               | 270,0               | 60,0                | 20,0            |
|  |                                 | [31,0495] | [100,0]       | [270,0]             | [270,0]             | [38,4941]           | [16,9963]       |
|  |                                 | 10,0      | 60,0          | 250,0               | 240,0               | 20,0                | 10,0            |
| Síla při Maximum<br>$y = 895,5499$<br>$d = 1,0000$ |                                 |           |               |                     |                     |                     |                 |

**Obrázek 33** Optimalizace zanedbávaných parametrů

Do dalších experimentů bude mít rychlost vstřiku druhé komponenty přibližně 40 mm/s a teplota taveniny první komponenty, tedy PA6, bude mít hodnotu 270 °C (viz Obrázek 32).

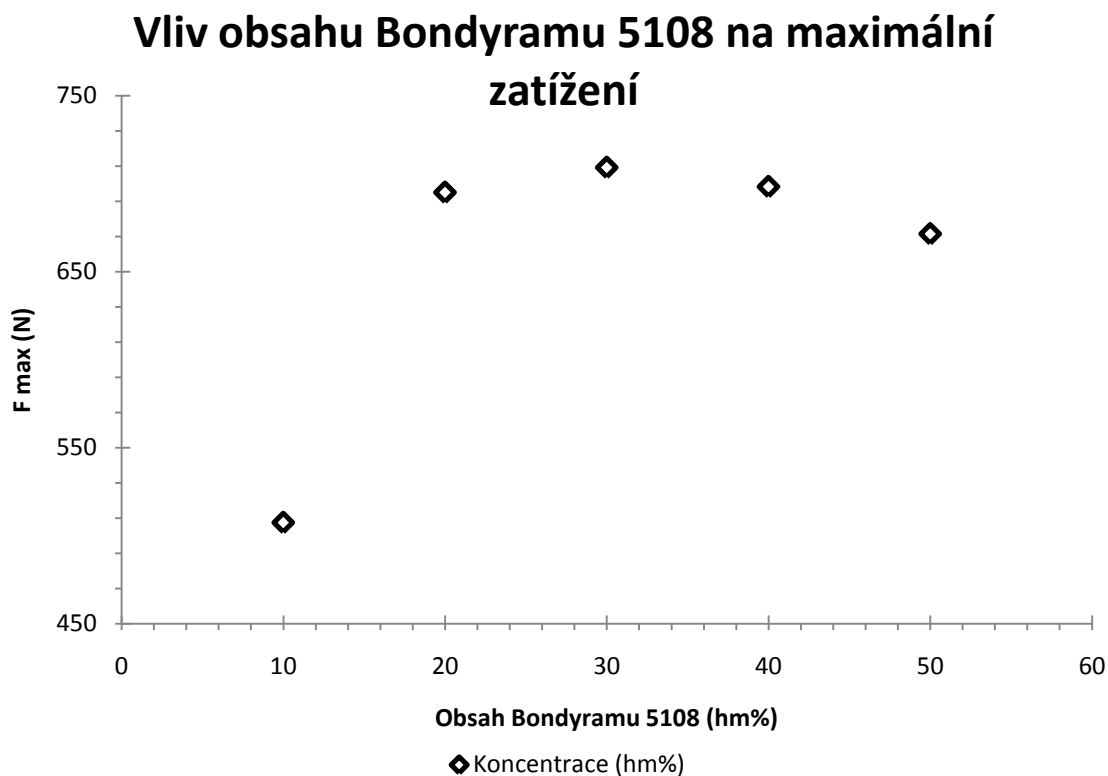
### 7.3 Vliv obsahu kompatibilizovaného PE-HD na zatížení spoje na mezi pevnosti $F$ (N) za konstantních vstřikovacích parametrů

Experiment v plném rozsahu zkoušek pro detailnější posouzení vlivu obsahu kompatibilizovaného materiálu byl navržen s následujícími parametry a jejich jmenovitými hodnotami.

- Obsah kompatibilizovaného materiálu (c) 10, 20, 30, 40, 50 hm. %
- Teplota formy ( $T_f$ ) 100 °C
- Teplota taveniny 1. komponenty (PA6) ( $T_{tav. K1}$ ) 270 °C
- Teplota taveniny 2. komponenty (PE-HD, PP) ( $T_{tav. K2}$ ) 270 °C
- Rychlost vstřikování 2. Komponenty (PE-HD, PP) ( $v_{vs.}$ ) 40 mm/s
- Časová prodleva mezi 1. a 2. obstřikem ( $\Delta t$ ) 20 s

| C (%) | $T_f$ (°C) | $T_{tav. K1}$ (°C) | $T_{tav. K2}$ (°C) | $V_{vs. K2}$ (mm/s) | $\Delta t$ (s) | Průměr F (N) |
|-------|------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|--------------|
| 10    | 100 °C     | 270 °C             | 270 °C             | ca. 40              | 20 s           | 508          |
| 20    |            |                    |                    |                     |                | 695          |
| 30    |            |                    |                    |                     |                | 709          |
| 40    |            |                    |                    |                     |                | 698          |
| 50    |            |                    |                    |                     |                | 672          |

**Tabulka 3** Experiment posouzení vlivu obsahu kompatibilizovaného PE-HD na  $F$  (N)



***Obrázek 34 Vliv obsahu Bondyramu 5108 na maximální zatížení***

Z obrázku jasně vyplývá, že největší pevnosti nabývá materiálové spojení při **30% (hm.)** obsahu Bondyramu 5108 v PE-HD. Další pokles pevnosti spoje se dá přičítat zvýšení polarity PE-HD, tím zvýšení kohezní energie systému vedoucím ke většímu smrštění, namáhání spoje a tím i snížení jeho pevnosti.

#### 7.4 Vliv vstřikovacích parametrů za konstantního obsahu kompatibilizovaného materiálu

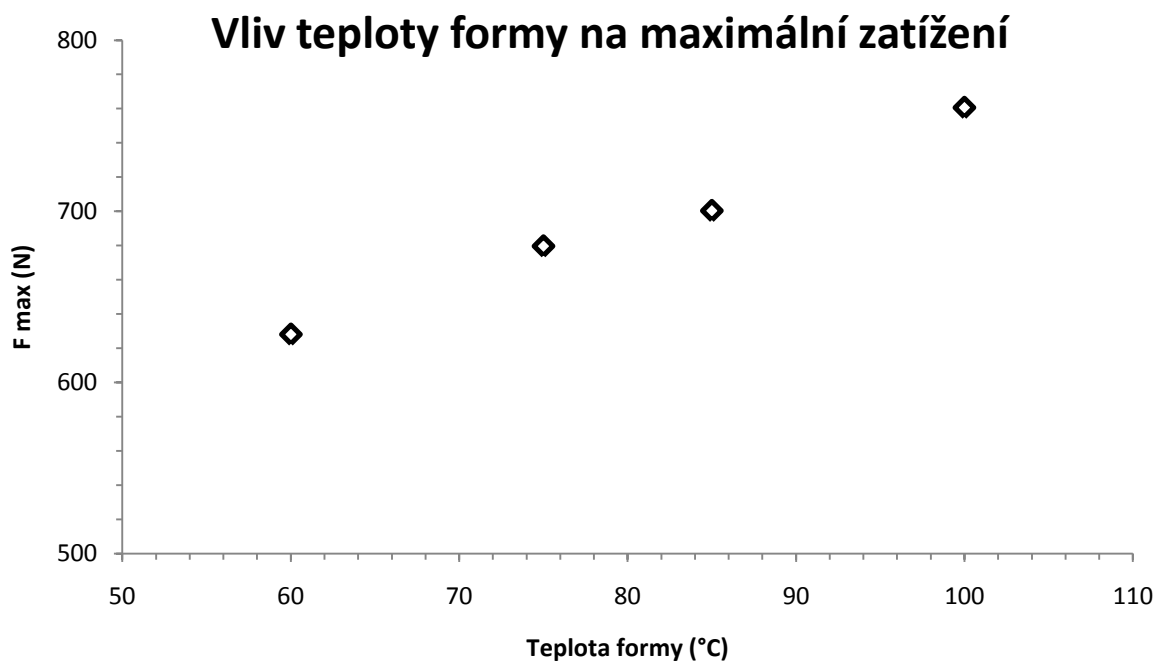
Experiment v plném rozsahu zkoušek pro detailnější posouzení procesních podmínek byl navržen s následujícími parametry a jejich jmenovitými hodnotami. Byl „zanedbaný“ vliv obsahu kompatibilizovaného materiálu.

- Obsah kompatibilizovaného materiálu (c) 30 hm. %
- Teplota formy ( $T_f$ ) 60 °C, 75 °C, 85 °C, 100 °C
- Teplota taveniny 1. komponenty (PA6) ( $T_{tav. K1}$ ) 270 °C
- Teplota taveniny 2. komponenty (PE-HD, PP) ( $T_{tav. K2}$ ) 240 °C, 250 °C, 260 °C, 270 °C
- Rychlost vstřikování 2. Komponenty (PE-HD, PP) ( $v_{vs.}$ ) 40 mm/s
- Časová prodleva mezi 1. a 2. obstřikem ( $\Delta t$ ) 10 s, 15 s, 20 s

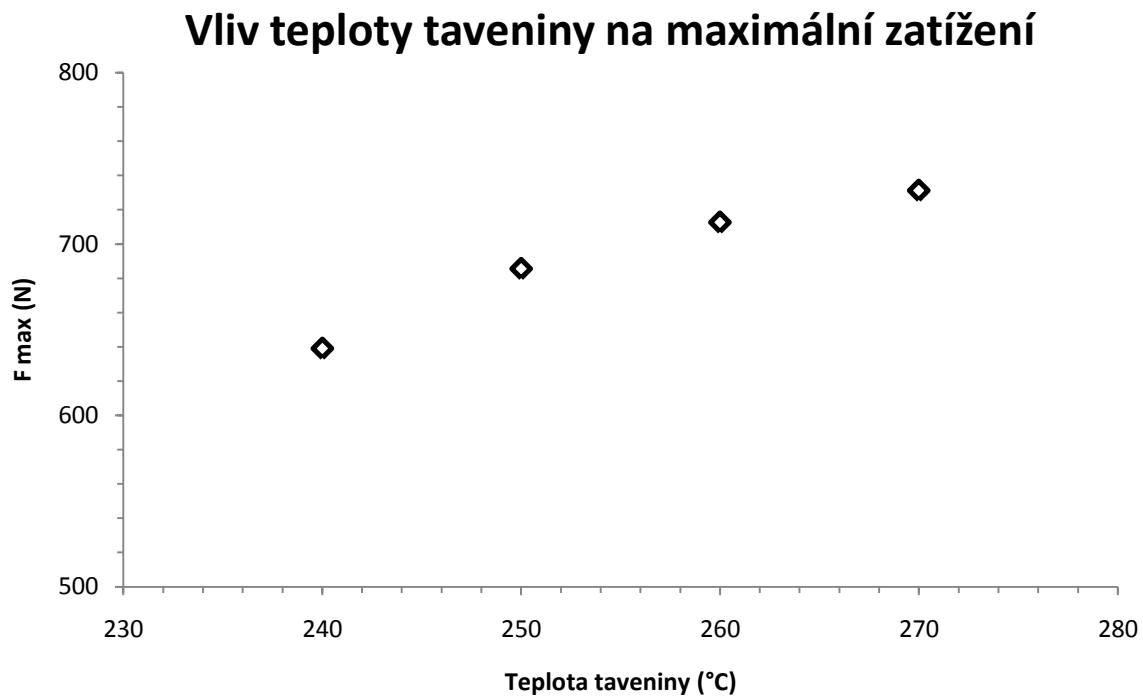
| Varianta číslo | $T_f$ (°C) | $T_{\text{tav. K2}}$ (°C) | $\Delta t$ (s) | Průměr F (N) |
|----------------|------------|---------------------------|----------------|--------------|
| 1              | 60         | 240                       | 10             | 599,63       |
| 2              | 60         | 240                       | 15             | 623,34       |
| 3              | 60         | 240                       | 20             | 447,89       |
| 4              | 60         | 250                       | 10             | 642,04       |
| 5              | 60         | 250                       | 15             | 644,51       |
| 6              | 60         | 250                       | 20             | 610,08       |
| 7              | 60         | 260                       | 10             | 671,68       |
| 8              | 60         | 260                       | 15             | 645,02       |
| 9              | 60         | 260                       | 20             | 654,86       |
| 10             | 60         | 270                       | 10             | 662,41       |
| 11             | 60         | 270                       | 15             | 663,33       |
| 12             | 60         | 270                       | 20             | 672,26       |
| 13             | 75         | 240                       | 10             | 655,66       |
| 14             | 75         | 240                       | 15             | 638,71       |
| 15             | 75         | 240                       | 20             | 600,64       |
| 16             | 75         | 250                       | 10             | 700,07       |
| 17             | 75         | 250                       | 15             | 656,15       |
| 18             | 75         | 250                       | 20             | 653,35       |
| 19             | 75         | 260                       | 10             | 656,15       |
| 20             | 75         | 260                       | 15             | 718,49       |
| 21             | 75         | 260                       | 20             | 683,53       |
| 22             | 75         | 270                       | 10             | 744,91       |
| 23             | 75         | 270                       | 15             | 718,30       |
| 24             | 75         | 270                       | 20             | 729,87       |
| 25             | 85         | 240                       | 10             | 662,14       |
| 26             | 85         | 240                       | 15             | 615,48       |
| 27             | 85         | 240                       | 20             | 691,15       |
| 28             | 85         | 250                       | 10             | 695,10       |
| 29             | 85         | 250                       | 15             | 706,29       |
| 30             | 85         | 250                       | 20             | 658,98       |
| 31             | 85         | 260                       | 10             | 750,13       |
| 32             | 85         | 260                       | 15             | 734,08       |
| 33             | 85         | 260                       | 20             | 705,27       |
| 34             | 85         | 270                       | 10             | 738,44       |
| 35             | 85         | 270                       | 15             | 736,33       |
| 36             | 85         | 270                       | 20             | 710,76       |
| 37             | 100        | 240                       | 10             | 723,43       |
| 38             | 100        | 240                       | 15             | 710,55       |
| 39             | 100        | 240                       | 20             | 700,32       |
| 40             | 100        | 250                       | 10             | 765,24       |
| 41             | 100        | 250                       | 15             | 761,75       |
| 42             | 100        | 250                       | 20             | 733,79       |
| 43             | 100        | 260                       | 10             | 785,25       |
| 44             | 100        | 260                       | 15             | 777,55       |
| 45             | 100        | 260                       | 20             | 770,43       |
| 46             | 100        | 270                       | 10             | 806,50       |
| 47             | 100        | 270                       | 15             | 793,45       |
| 48             | 100        | 270                       | 20             | 798,93       |

*Tabulka 4 Vliv vstřikovacích parametrů za konstantního obsahu kompatibilizovaného Bondyramu 5108*

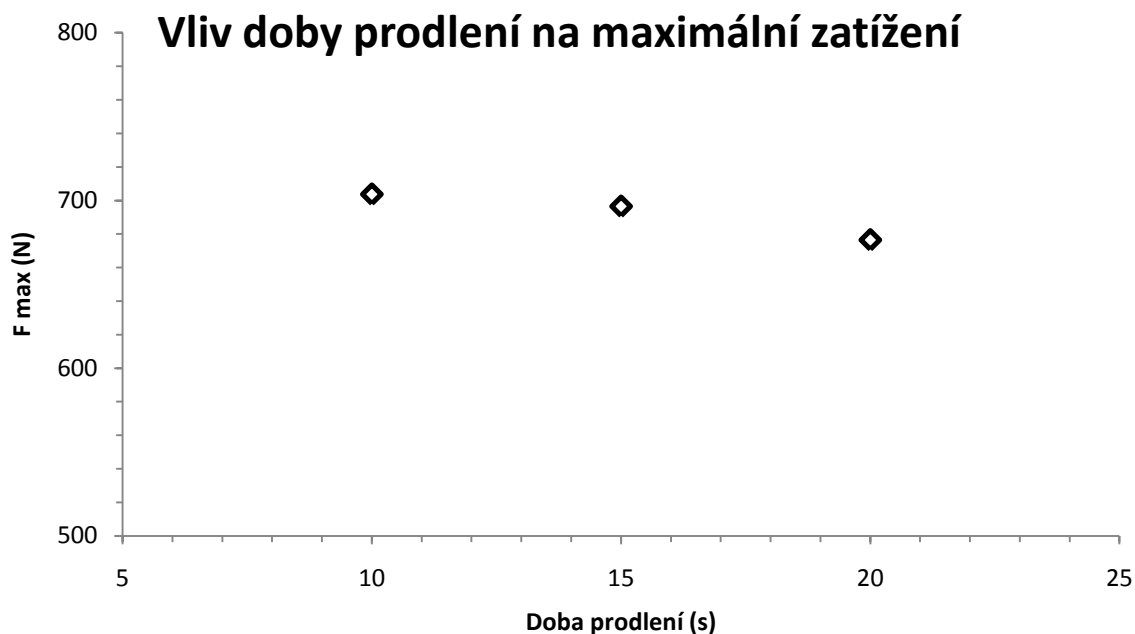
a) Závislost zatížení na mezi pevnosti  $F$  (N) na jednotlivých testovaných parametrech



Obrázek 35 Závislost zatížení na mezi pevnosti  $F$  (N) na změně teploty formy

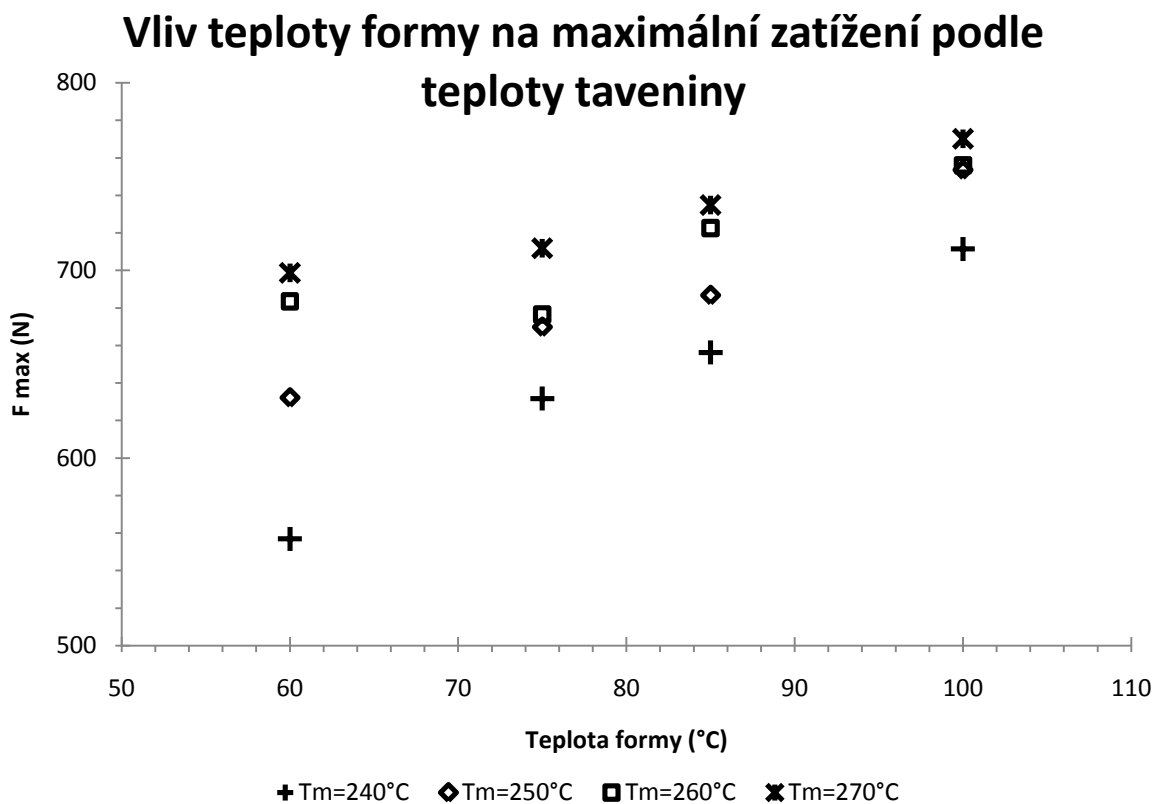


Obrázek 36 Závislost zatížení na mezi pevnosti  $F$  (N) na změně teploty taveniny PE-HD

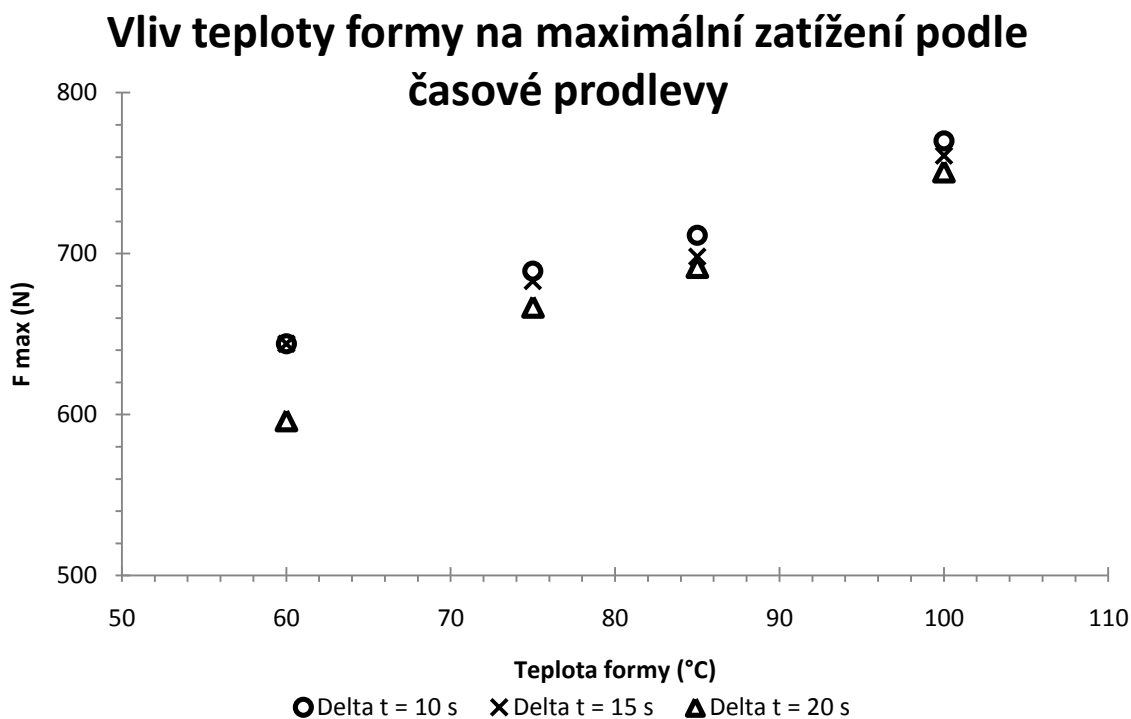


Obrázek 37 Závislost zatížení na mezi pevnosti  $F$  (N) na změně doby prodlení

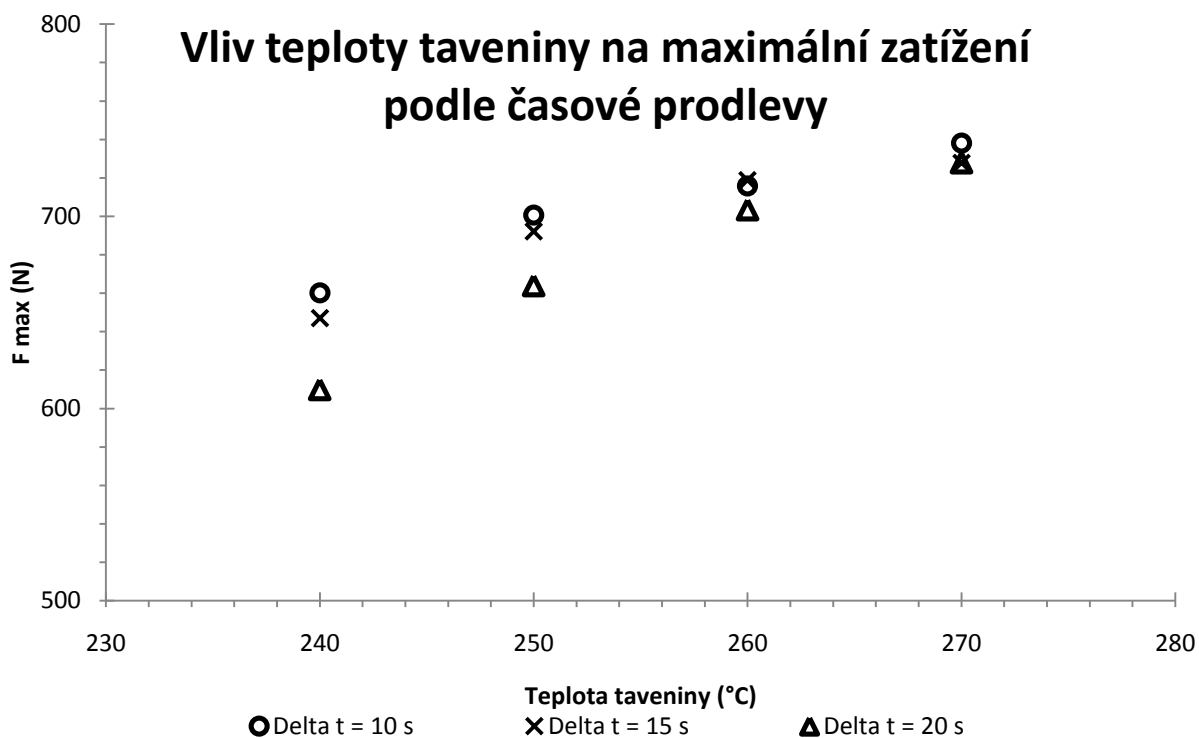
b) Závislost zatížení na mezi pevnosti  $F$  (N) na kombinacích parametrů



Obrázek 38 Vliv teploty formy na maximální zatížení podle teploty taveniny

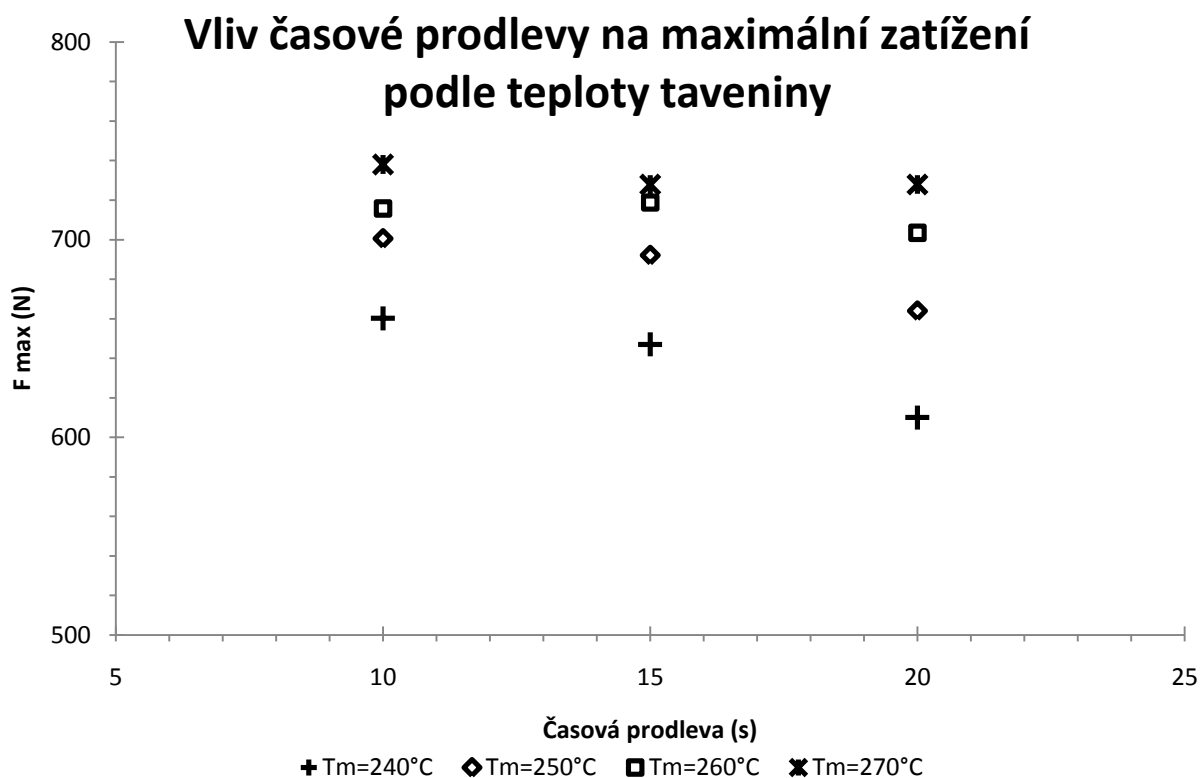


Obrázek 39 Vliv teploty formy na maximální zatížení podle časové prodlevy



Obrázek 40 Vliv teploty taveniny na maximální zatížení podle časové prodlevy





**Obrázek 41** Vliv časové prodlevy na maximální zatížení podle teploty taveniny

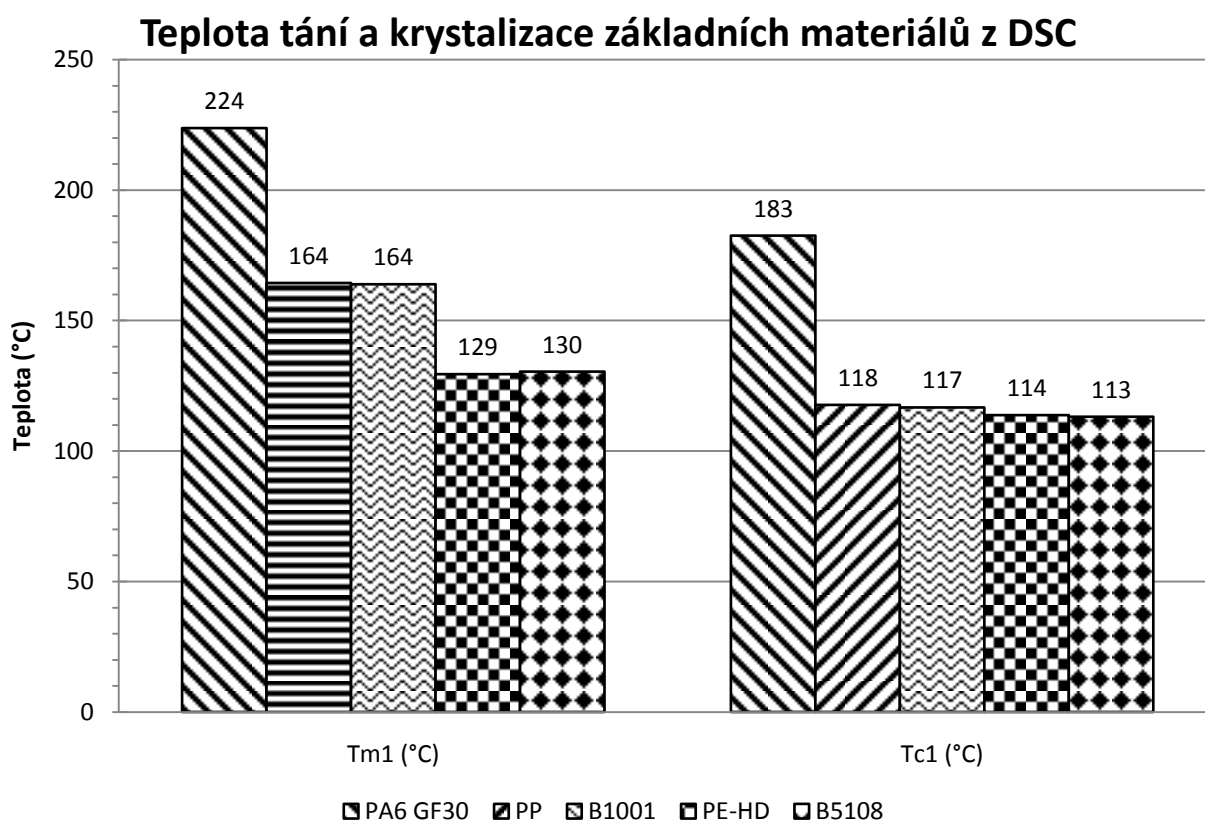
Máme-li shrnout výsledky ve výše uvedených grafech, pak by se obecně dalo soudit, že s rostoucími teplotními parametry, jako je teplota taveniny nebo teplota formy přímo úměrně roste pevnost dvoukomponentního materiálového spojení. Zato co se týká prodlužující se doby prodlení, je trend pevnosti spojení klesající.

V podstatě to potvrzuje logické úvahy. Čím vyšší teplotu má materiál při vstupu do dutiny formy, tím déle setrvává ve formě taveniny a tudíž prohřátí a natavení vrstvičky polyamidu proběhne o to snáz, o co více tepla může v tomto případě polyetylén předat. To plyne ve snazší vzájemné promísení jednotlivých komponent a vytvoření materiálového spojení na jejich rozhraní. Oproti tomu, čím déle se v dutině formy chladí polyamidová komponenta, tím více tepla potřebuje dodat k natavení a tudíž s rostoucí dobou časové prodlevy mezi vstřikováním první a druhé komponenty se pevnost spoje na rozhraní materiálů snižuje.

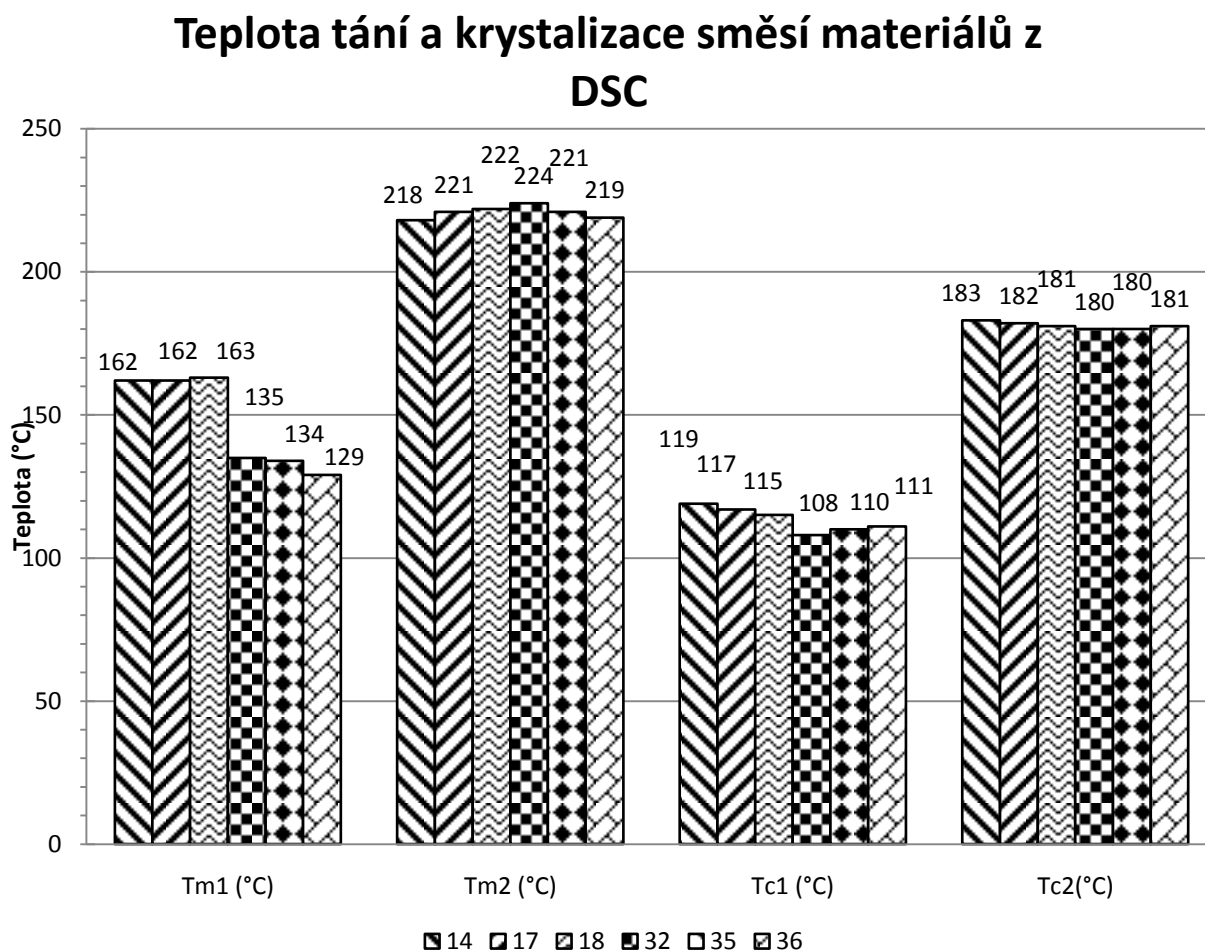
## 7.5 DSC analýza vybraných směsí

Pro lepší pochopení hlavně kde se stala chyba při pokusu o spojení kombinace PA6 – PP byla provedena DSC analýza několika směsí PA6 – PE-HD a PA6 – PP o různém obsahu kompatibilizovaného materiálu Bondyram 5108 v případě PE-HD a Bondyram 1001 v případě PP.

Teplota tání a krystalizace se při daných podmínkách měření u všech analyzovaných směsí pohybovala v rozmezí  $\pm 3$  °C kolem hodnoty naměřené u základního materiálu (Obrázky 42 a 43).



**Obrázek 42** Teplota tání a krystalizace základních materiálů z DSC



*Obrázek 43 Teplota tání a krystalizace směsí materiálů z DSC*

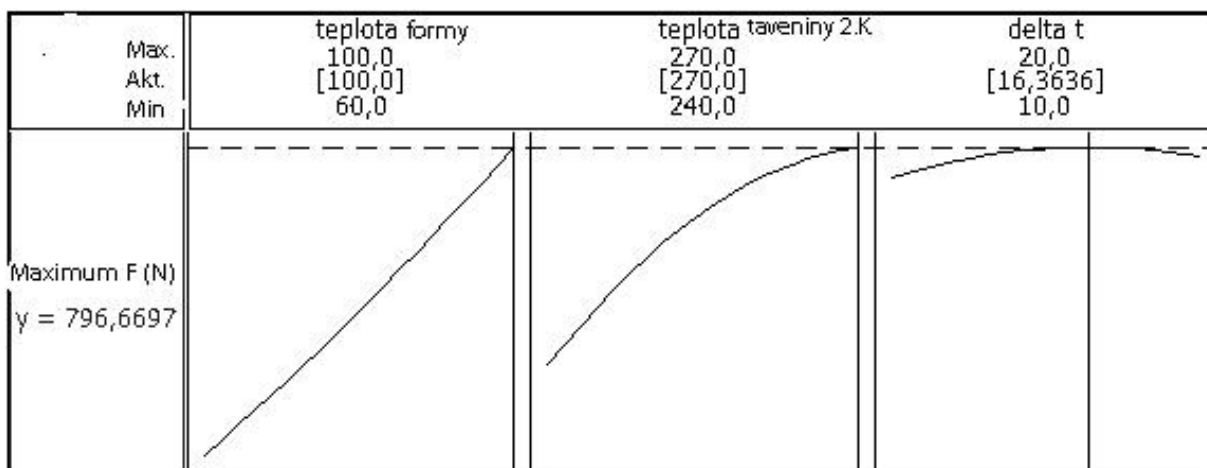
Složení směsí uvedených v grafu:

| Směs číslo | Obsah PA6 (hm.%) | Obsah PP (hm.%)   | Obsah B1001 (hm.%) |
|------------|------------------|-------------------|--------------------|
| 32         | 70               | 30                | 0                  |
| 35         | 70               | 15                | 15                 |
| 36         | 70               | 0                 | 30                 |
| Směs číslo | Obsah PA6 (hm.%) | Obsah HDPE (hm.%) | Obsah B5108 (hm.%) |
| 14         | 70               | 30                | 0                  |
| 17         | 70               | 15                | 15                 |
| 18         | 70               | 0                 | 30                 |

*Tabulka 5 Složení směsí měřených na DSC*

## 8 NÁVRH PROCESNÍCH PARAMETRŮ

Pro optimalizaci parametrů byl opět použit program Minitab 15. Na základě takto získaných přehledů bylo sestavené doporučení procesních parametrů pro dosažení co nejpevnějšího spojení na rozhraní materiálů jednotlivých částí dvoukomponentního tahového tělíska.



**Obrázek 44** Optimalizační diagram – maximální pevnost materiálového spojení

### Procesní doporučení:

Pro dosažení maximální pevnosti materiálového spojení se na základě provedených zkoušek doporučuje pro kombinaci **PA6 – PE-HD/Bondyram 5108** zvolit:

- Obsah Bondyramu 5108                      30 hm. %
- Teplotu formy                                      100 °C
- Teplotu PA6                                        270 °C
- Teplotu PE-HD                                    270 °C
- Rychlost vstřikování                            40 mm/s
- Časová prodleva                                 16 s

Obecné doporučení k procesním parametrům by pak mohlo být v duchu zvyšování teplot (formy, taveniny) a zkracování časové prodlevy pro lepší pevnost spojení materiálů.

**Tvarové/designové doporučení:**

Plocha spoje by neměla být příliš dlouhá ve směru toku taveniny. Doporučuje se k samotnému materiálovému spojení využít pomoci ještě spojení tvarového. Různá cimbuří, lemy, čepy a podobné. Lze tak ve prospěch těsnosti nebo pevnosti využít smrštění PE-HD, které se kolem PA6 GF30 s menším smrštěním (kvůli plnění skelnými vlákny) obemkne, dojde k mírnému předpětí a tím i pevnějšímu spojení.

## ZÁVĚR

V teoretické části je vypracovaná literární rešerše a vysvětlený základní princip technologie vstřikování plastů, dále se teoretická část okrajově zabývá jednotlivými technologiemi více-komponentního vstřikování plastů a přechází k samotným mechanismům spojování při více-komponentním vstřikování.

Teoretická část končí definicí cílů práce.

Praktická část začíná přehledem zkoušených materiálů a seznámením s použitými zkušebními metodami, jako je tahová zkouška, diferenciální snímací kalorimetrie a optická mikroskopie. Úvod experimentální části také obsahuje informaci o možnosti využití systematiky navrhování experimentů (Design of Experiment) jako možného dalšího nástroje statistického a kvalitativního charakteru pro vývoj procesů zpracování plastů.

Hlavní část experimentálního oddílu obsahuje výsledky a jejich diskuze provedených analýz a měření. Z těchto výsledků vyplývá hned na začátku nevhodnost kombinace polypropylénu s polyamidem 6 pro vznik materiálového spojení při vícekomponentním vstřikování. Usuzuje se tak proto, že se stávajícím zařízením a znalostmi se nepodařila najít vhodná kombinace zpracovatelských parametrů. Další experimenty tedy pokračují již s vysokohustotním polyetylénem. Nakonec se dají procesní parametry shrnout do třech obecných skupin, které tvoří obsah kompatibilizovaného materiálu, teploty a časová prodleva. Přičemž obsah kompatibilizovaného materiálu má své maximum kolem 30 hm.%, s rostoucí teplotou jak formy, tak i taveniny pevnost spoje taktéž roste a s prodlužující se časovou prodlevou pevnost naopak klesá.

Zcela na závěr je stručné shrnutí ve formě doporučení zpracovatelských podmínek a zásad.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] T. Černohorská; Zlepšení adheze polymerů při vícekomponentním vstřikování; bakalářská práce; Fakulta technologická Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně; dostupná v univerzitní knihovně; 2009; 55 stran.; Zlín
- [2] V. Ducháček; Polymery-Výroba, Vlastnosti a Použití; Vysoká Škola Chemico-Technologická v Praze; 2006; 278 stran.; ISBN 8070806176; Praha
- [3] M. Mleziva, J. Šňupárek; Polymery-Výroba, Struktura, Vlastnosti a Použití; Sobotáles; 2000; 544 p.; ISBN 8085920727; 2nd ed.; Praha
- [4] M. Maňas; Výrobní Stroje a Zařízení I. Stroje Gumárenské a Plastikářské I; Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně; 2007; 264 p.; ISBN 9788073185961; Zlín
- [5] D. V. Rosato, D. V. Rosato 2, M. G. Rosato; Injection Molding Handbook; Cluwer Academic Publishers; 2000; 1485 p.; ISBN 9781591247043; 3rd edition; Boston / Dordrecht / London
- [6] L. Zeman; Vstřikování plastů; BEN; 2009; 248 stran; ISBN 978-80-73-250-3; Praha
- [7] K. Stoklasa; Vlastnosti polymerních materiálů; cyklus přednášek stejnojmenného předmětu; Fakulta Technologická Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně; letní semestr 2009-2010; Zlín
- [8] G. W. Ehrenstein; Handbuch der Verarbeitungstechnik; Karl Hanser; 2004; München
- [9] W. Michaeli; Einführung in die Kunststoffverarbeitung; 4. Vydání, Karl Hanser; 1999; München
- [10] InjectionMolding (online); citováno 11.8.2011; dostupné z [www](http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding):  
<<http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>>
- [11] V. Goodship; Practical guide to injection moulding; Rapra technology limited a Arburg limited; 2004; 278 stran; ISBN 7-85957-444-0; UK
- [12] Vstřikování plastů (online); citováno 11.8.2011; dostupné z [www](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plastu/55-zakonceni%20snek.jpg):  
<[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04-vstrikovani%20plastu/55-zakonceni%20snek.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plastu/55-zakonceni%20snek.jpg)>
- [14] I. Kühnert; Grenzflächen beim Mehrkunststoffspritzgießen; disertační práce; Fakulta strojní Technické Univerzity v Chemnitz; dostupná v online databázi měsíčníku Kunststoffe; 2005; 117 stran.; Chemnitz
- [15] I. Kühnert; Grenzflächen beim Mehrkunststoffspritzgießen; disertační práce; Fakulta strojní Technické Univerzity v Chemnitz; dostupná v online databázi měsíčníku Kunststoffe; 2005; 117 stran.; Chemnitz
- [16] G. Menges, R. Sarholz; Spritzgießen: Verfahrensablauf, Verfahrensparameter, Prozessführung; Carl Hanser, 1979, München
- [17] F. Johannaber, W. Michaeli; Handbuch der Kunststoff-Verbindungstechnik; Carl Hanser; 2001; München

- [18] H. Thoma; Rationalisieren durch Mehrkomponenten-Spritzguss; Kunststoffe 78 (1988) 8; s.665-669
- [19] G. W. Ehrenstein; Mehrkomponentenspritzgießen – Technologie, Prozess und Verbundeigenschaften; Springer – VDI; 1997; s. 104-126
- [20] P. Breuer; Spritzgießen mehrerer Komponenten – Verfahrensabläufe, Maschinentechnik und Anwendungen
- [21] M. Brummel; Rozměrově přesné výrobky z plastů; vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření; Praha; 1977
- [22] Avraam I. Isayev; Encyclopedia of Polymer Blends : Fundamentals.; Vol. 1. Germany : WILEY-VCH Verlag, 2010. 313 s. ISBN 978-3-527-31929-9.
- [23] B. Meissner; Fyzika polymerů : Struktura a vlastnosti polymerních materiálů; SNTL; 306 s; Praha; 1987
- [24] M. L. Robeson; Polymer blends: a comprehensive review; Carl Hanser Verlag; 461 s Munich; 2007
- [25] L. A. Utracki; Thermodynamics of Polymer Blends; in: L. A. Utracki; Polymer Blends Handbook; Kluwer Academic Publishers; ISBN 1402011148; 2002; Dordrecht-Netherlands
- [26] O. G. Shonaike, et al.; Polymer Blends and Alloys. New York : Marcel Dekker, 1999. 745 s. ISBN 0-8247-1980-8.
- [27] L. Šimek, J. Hrnčířik; Fyzikální chemie II: Koloidní a Makromolekulární Systémy; učební texty Fakulty Technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně; 2005; 94 p.; ISBN 8673183250; Zlín
- [28] K. Stoklasa; Makromolekulární Chemie II; cyklus přednášek stejnojmenného předmětu; Fakulta Technologická Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně; zimní semestr 2008-2009; Zlín
- [29] K. Stoeckhert; Kunststoff Lexikon; Carl Hanser Verlag; München – Wien; 1998
- [30] H. Bottlenbruch; Polyamid – Handbuch; Carl Hanser Verlag; München – Wien; 1996
- [31] Tensile Strength Testing [online]. - [cit. 2011-05-04]. Instron. Dostupné z WWW: <[http://www.instron.us/wa/applications/test\\_types/tension/default.aspx](http://www.instron.us/wa/applications/test_types/tension/default.aspx)>
- [32] G. W. Ehrenstein, et al.; Thermal Analysis of Plastics : Theory and Practice; Carl Hanser Publishers; Munich; 2004; 367 s; ISBN 1-56990-362-X
- [33] I. Fortelný; Aplikovaná Makromolekulární Chemie – Struktura Polymerů a Její Zkoušení; cyklus přednášek stejnojmenného předmětu; Fakulta Technologická Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně; zimní semestr 2008-2009; Zlín



## SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| <i>Obrázek 1 Schéma vstřikovacího stroje</i> .....  | 13 |
| <i>Obrázek 2 Schéma a popis vstřikovací jednotky vstřikovacího stroje [10]</i> .....                                | 14 |
| <i>Obrázek 3 Příklad šneku a jeho zakončení [12]</i> .....  | 15 |
| <i>Obrázek 4 Schéma a popis uzavírací jednotky vstřikovacího stroje [10]</i> .....                                  | 16 |
| <i>Obrázek 5 Vstřikovací forma – rozložená [10]</i> .....   | 17 |
| <i>Obrázek 6 Příklad umístění dělicí roviny ve formě [10]</i> .....   | 18 |
| <i>Obrázek 7 Vzájemné umístění uzavírací a vstřikovací jednotky [11]</i> .....                                      | 19 |
| <i>Obrázek 8 Znárodnění vstřikovacího cyklu [4]</i> .....   | 19 |
| <i>Obrázek 9 Schéma vstřikovacího cyklu [7]</i> .....   | 20 |
| <i>Obrázek 10 Tokový a rychlostní profil taveniny při vstřikování [14]</i> .....                                    | 22 |
| <i>Obrázek 11 Vliv smrštění na kvalitu výrobku</i> .....  | 23 |
| <i>Obrázek 12 Deformace</i> .....   | 23 |
| <i>Obrázek 13 Příklad vzniku studených spojů [14]</i> .....   | 24 |
| <i>Obrázek 14 Rozdělení vícekomponentních technologií [14, 17]</i> .....  | 26 |
| <i>Obrázek 15 Příklad uspořádání vstřikovacích jednotek [11]</i> .....  | 27 |
| <i>Obrázek 16 Core back [11]</i> .....  | 28 |
| <i>Obrázek 17 Dvoukomponentní (nahore)</i> .....  | 29 |
| <i>Obrázek 18 Chemický vzorec PA 6</i> .....  | 35 |
| <i>Obrázek 19 Chemický</i> .....  | 36 |
| <i>Obrázek 20 Chemický</i> .....  | 37 |
| <i>Obrázek 21 Tahová křivka jako výstup tahové zkoušky polymerního materiálu</i> .....                              | 39 |
| <i>Obrázek 22 Dvoukomponentní zkušební tahové tělísko</i> .....   | 40 |
| <i>Obrázek 23 Detail a rozměry (v mm) tvaru rozhraní první a druhé komponenty zkušebního tahového tělíska</i> ..... | 40 |
| <i>Obrázek 24 Příklad termogramu semikrystalického polymeru (PET - polyetylentereftalát)</i> .....                  | 41 |
| <i>Obrázek 25 První návrh dvoukomponentního zkušebního tahového tělíska</i> .....                                   | 44 |
| <i>Obrázek 26 Tahové tělísko s první geometrií (pohled z profilu)</i> .....   | 44 |
| <i>Obrázek 27 Podélná kontrakce vlivem smrštění</i> .....   | 45 |
| <i>Obrázek 28 Tvar rozhraní materiálů na dvoukomponentním tahovém tělísku po změně</i>                              | 45 |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Obrázek 29 Detail nové geometrie rozhraní materiálů na dvoukomponentním tahovém tělísku .....</i>   | <i>45</i> |
| <i>Obrázek 30 Detail nové geometrie s rozměry v milimetrech .....</i>  | <i>46</i> |
| <i>Obrázek 31 Příklad vzniku materiálového spojení na obrázku vpravo a příklad místa nespojeného.....</i>  | <i>47</i> |
| <i>Obrázek 32 Paretova analýza míry vlivu změny jednotlivých faktorů a případně jejich dvojkombinací na výsledné zatížení spoje na mezi pevností .....</i> | <i>49</i> |
| <i>Obrázek 33 Optimalizace zanedbávaných parametrů .....</i>   | <i>50</i> |
| <i>Obrázek 34 Vliv obsahu Bondyramu 5108 na maximální zatížení.....</i>  | <i>51</i> |
| <i>Obrázek 35 Závislost zatížení na mezi pevnosti <math>F (N)</math> na změně teploty formy.....</i>   | <i>54</i> |
| <i>Obrázek 36 Závislost zatížení na mezi pevnosti <math>F (N)</math> na změně teploty taveniny PE-HD .....</i>   | <i>54</i> |
| <i>Obrázek 37 Závislost zatížení na mezi pevnosti <math>F (N)</math> na změně doby prodlení.....</i>   | <i>55</i> |
| <i>Obrázek 38 Vliv teploty formy na maximální zatížení podle teploty taveniny .....</i>  | <i>55</i> |
| <i>Obrázek 39 Vliv teploty formy na maximální zatížení podle časové prodlevy .....</i>   | <i>56</i> |
| <i>Obrázek 40 Vliv teploty taveniny na maximální zatížení podle časové prodlevy .....</i>  | <i>56</i> |
| <i>Obrázek 41 Vliv časové prodlevy na maximální zatížení podle teploty taveniny .....</i>  | <i>57</i> |
| <i>Obrázek 42 Teplota tání a krystalizace základních materiálů z DSC .....</i>   | <i>58</i> |
| <i>Obrázek 43 Teplota tání a krystalizace směsí materiálů z DSC .....</i>  | <i>59</i> |
| <i>Obrázek 44 Optimalizační diagram – maximální pevnost materiálového spojení .....</i>  | <i>60</i> |


**SEZNAM TABULEK**

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Tabulka 1 Kompatibilizace PA přidáním kompatibilizátoru [25] .....</i>  | <i>35</i> |
| <i>Tabulka 2 Plán experimentu s doplněnými průměrnými hodnotami zatížení na mezi<br/>pevnosti <math>F</math> [N] pro kombinaci PA6 – kompatibilizovaná směs PE-HD.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Tabulka 3 Experiment posouzení vlivu obsahu kompatibilizovaného PE-HD na <math>F</math> (N). ..</i>   | <i>50</i> |
| <i>Tabulka 4 Vliv vstřikovacích parametrů za konstantního obsahu kompatibilizovaného<br/>Bondyramu 5108 .....</i>  | <i>53</i> |
| <i>Tabulka 5 Složení směsí měřených na DSC .....</i>   | <i>59</i> |

**SEZNAM PŘÍLOH**

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Materiálový list Ultramid B3EG6 | 45 |
| Materiálový list Novatec HJ221  | 47 |
| Materiálový list Moplen EP540P  | 48 |
| Materiálový list Bondyram 5108  | 49 |
| Materiálový list Bondyram 1001  | 50 |

# 1 MATERIÁLOVÝ LIST ULTRAMID B3EG6

|                            |                        |   |
|----------------------------|------------------------|---|
| <b>Product Information</b> |                        |   |
| 03/2006                    | <b>Ultramid® B3EG6</b> |   |
|                            | <b>PA6-GF30</b>        |   |
|                            |                        | <br>The Chemical Company |

## Product description

Glass fibre reinforced injection moulding grade for industrial articles and electrical insulating parts.

## Physical form and storage

Ultramid® is supplied dry and ready to use in moisture-proof packaging in the form of cylindrical or flat pellets. Its bulk density is about 0,7g/cm<sup>3</sup>. Standard packs are the special 25kg bag and the 1000kg bulk container (octagonal IBC= intermediate bulk container made from corrugated board with a liner bag). Subject to agreement other forms of packaging and shipment in tankers by road or rail are also possible. All containers are tightly sealed and should be opened only immediately prior to processing. To ensure that the perfectly dry material delivered cannot absorb moisture from the air the containers must be stored in dry rooms and always carefully sealed again after portions of material have been withdrawn. Ultramid® can be kept indefinitely in the undamaged bags. Experience has shown that product supplied in IBCs can be stored for about 3 months without any adverse effects on processing properties due to moisture absorption. Containers stored in cold rooms should be allowed to equilibrate to normal temperature so that no condensation forms on the pellets.

## Product safety

Ultramid® melts are thermally stable at the usual temperature for A, B and C up to 310°C and 350°C for T and do not give rise to hazards due to molecular degradation or the evolution of gases and vapors. Like all thermoplastic polymers Ultramid® decomposes on exposure to excessive thermal load, e.g. when it is overheated or as a result of cleaning by burning off. In such cases gaseous decomposition products are formed. Decomposition accelerates above 310°C (T >350°C) approximately, the initial products formed being mainly carbon monoxide and ammonia, and caprolactam too in the case of Ultramid® B. At temperatures above about 350°C (T>400°C) small quantities of pungent smelling vapors of aldehydes, amines and other nitrogenous decomposition products are also formed. Further safety information see safety data sheet of the individual product.

## Note

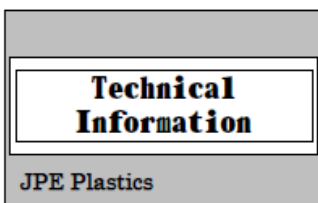
The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our product, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the product for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the product. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed. In order to check the availability of products please contact us or our sales agency.

| Typical values at 23°C <sup>1)</sup>                            | Test method <sup>2)</sup> | Unit                   | Values <sup>3)</sup> |
|---|---------------------------|------------------------|----------------------|
| <b>Properties</b>   |                           |                        |                      |
| Polymer abbreviation  | -                         | -                      | PA6-GF30             |
| Density   | ISO 1183                  | kg/m <sup>3</sup>      | 1360                 |
| Viscosity number (0.5% in 96 % H2SO4)                           | ISO 307, 1157, 1628       | cm <sup>3</sup> /g     | 140                  |
| Water absorption, saturation in water at 23°C                   | similar to ISO 62         | %                      | 6.3 - 6.9            |
| Moisture absorption, equilibrium 23°C/50% r.h.                  | similar to ISO 62         | %                      | 1.9 - 2.3            |
| <b>Processing</b>   |                           |                        |                      |
| Melting point   | ISO 11357-1/-3            | °C                     | 220                  |
| Melt volume-flow rate MVR                                       | ISO 1133                  | cm <sup>3</sup> /10min | 50                   |
| Temperature   | ISO 1133                  | °C                     | 275                  |
| Load  | ISO 1133                  | kg                     | 5                    |
| Melt temperature, injection moulding/extrusion                  | -                         | °C                     | 270 - 290            |
| Mould temperature, injection moulding                           | -                         | °C                     | 80 - 90              |
| Moulding shrinkage, constrained <sup>4)</sup>                   | -                         | %                      | 0.35                 |
| <b>Flammability</b>   |                           |                        |                      |
| UL 94 rating at 1,6 mm thickness                                | UL 94                     | class                  | HB                   |
| Automotive materials (Thickness >= 1mm)                         | -                         | -                      | +                    |
| <b>Mechanical properties</b>                                    |                           |                        |                      |
|   |                           |                        | dry / cond.          |
| Tensile modulus   | ISO 527-1/-2              | MPa                    | 9500 / 6200          |
| Stress at break   | ISO 527-1/-2              | MPa                    | 185 / 115            |
| Strain at break   | ISO 527-1/-2              | %                      | 3.5 / 8              |
| Flexural modulus  | ISO 178                   | MPa                    | 8600 / 5000          |
| Flexural strength   | ISO 178                   | MPa                    | 270 / 180            |
| Charpy unnotched impact strength (23°C)                         | ISO 179/1eU               | kJ/m <sup>2</sup>      | 95 / 110             |
| Charpy unnotched impact strength (-30°C)                        | ISO 179/1eU               | kJ/m <sup>2</sup>      | 80 / -               |
| Charpy notched impact strength (23°C)                           | ISO 179/1eA               | kJ/m <sup>2</sup>      | 15 / 30              |
| Charpy notched impact strength (-30°C)                          | ISO 179/1eA               | kJ/m <sup>2</sup>      | 11 / -               |
| Izod notched impact strength 1A (23°C)                          | ISO 180/1A                | kJ/m <sup>2</sup>      | 15.5 / 20            |
| Izod notched impact strength 1A (-30°C)                         | ISO 180/1A                | kJ/m <sup>2</sup>      | 11 / -               |
| <b>Thermal properties</b>                                       |                           |                        |                      |
| HDT A (1.80 MPa)  | ISO 75-1/-2               | °C                     | 210                  |
| HDT B (0.45 MPa)  | ISO 75-1/-2               | °C                     | 220                  |
| Max. service temperature (short cycle operation)                | -                         | °C                     | 200                  |
| Temperature index at 50% loss of tensile strength after 5000 h  | IEC 216                   | °C                     | 165                  |
| Temperature index at 50% loss of tensile strength after 20000 h | IEC 216                   | °C                     | 135                  |
| Coefficient of linear thermal expansion, longitudinal (23-80)°C | ISO 11359-1/-2            | E-4/°C                 | 0.2 - 0.25           |
| Coefficient of linear thermal expansion, transverse (23-80)°C   | ISO 11359-1/-2            | E-4/°C                 | 0.6 - 0.7            |
| Thermal conductivity  | DIN 52612-1               | W/(m K)                | 0.36                 |
| Specific heat capacity  | -                         | J/(kg*K)               | 1500                 |
| <b>Electrical properties</b>                                    |                           |                        |                      |
|   |                           |                        | dry / cond.          |
| Relative permittivity (1 MHz)                                   | IEC 60250                 | -                      | 3.8 / 6.8            |
| Dissipation factor (1 MHz)                                      | IEC 60250                 | E-4                    | 230 / 2200           |
| Volume resistivity  | IEC 60093                 | Ohm*m                  | 1E13 / 1E10          |
| Surface resistivity   | IEC 60093                 | Ohm                    | * / 1E10             |
| Comparative tracking index, CTI, test liquid A                  | IEC 60112                 | -                      | 575                  |

Footnotes

- 1) If the product definition doesn't state otherwise.  
2) Specimens according to CAMPUS.  
3) The asterisk symbol "\*" signifies inapplicable properties.  
4) Test box with central gating, dimensions of base (107\*47\*1,5) mm, processing condition: TM = 280°C, TW = 80°C

## 4 MATERIÁLOVÝ LIST NOVATEC HJ221



**High Density PE**  
**NOVATEC<sup>®</sup> HD**

**HJ221**

- **Applications** : large sized blow molding  
**Advantages** : processability      durability

- **Table of Physical Properties**

| Properties                           | Units             | Test Method  | Typical Value |
|--------------------------------------|-------------------|--------------|---------------|
| Melt Flow Rate                       | g/10min           | ISO 1872-2   | HL 13         |
| Density                              | g/cm <sup>3</sup> | ISO 1872-1,2 | 0.949         |
| Stress at Yield                      | MPa               | ISO 1872-2   | 26            |
| Nominal Strain at Break              | %                 | ISO 1872-2   | >400          |
| Flexural Modulus                     | MPa               | ISO 1872-2   | 1000          |
| Charpy Notched Impact Strength       | kJ/m <sup>2</sup> | ISO 1872-2   | 23            |
| Durometer Hardness                   | (HDD)             | ISO 868      | 62            |
| Vicat Softening Temperature          | °C                | ISO 306      | 121           |
| Melting Temperature(DSC Method)      | °C                | ISO 11357-3  | 131           |
| Stress-Cracking<br>(Constant Strain) | h                 | ASTM D1693   | >1000         |
| Brittleness Temperature              | °C                | ISO FDIS974  | <-70          |
| Moulding Method for Test Specimens   |                   |              | compression   |

The values indicated in this table are typical, not guaranteed

## 6 MATERIÁLOVÝ LIST MOPLEN EP540P

### Moplen EP540P Polypropylene Impact Copolymer LyondellBasell Industries



Prospector

#### Product Description

"Moplen" EP640P is a nucleated heterophasic copolymer, suitable for injection moulding applications. It exhibits a high stiffness combined with a good impact balance.

"Moplen" EP640P is typically used in luggage, houseware items, containers, caps and closures.

"Moplen" EP640P is suitable for food contact.

#### General

|                   |   |  |             |
|-------------------|---|--|-------------|
| Material Status   | • Commercial: Active                                  |  |             |
| Availability      | • Africa & Middle East                                | • Europe                               |             |
| Additive          | • Nucleating Agent                                    |  |             |
| Features          | • Food Contact Acceptable<br>• Good Impact Resistance | • Good Stiffness<br>• Impact Copolymer | • Nucleated |
| Uses              | • Caps<br>• Closures                                  | • Containers<br>• Household Goods      | • Luggage   |
| Forms             | • Pellets   |  |             |
| Processing Method | • Injection Molding                                   |  |             |

| Physical                                    | Nominal Value Unit          | Test Method |
|---|-----------------------------|-------------|
| Density                                     | 0.906 g/cm <sup>3</sup>     | ISO 1183    |
| Melt Mass-Flow Rate (MFR) (230°C/2.16 kg)   | 16 g/10 min                 | ISO 1133    |
| Melt Volume-Flow Rate (MVR) (230°C/2.16 kg) | 20.0 cm <sup>3</sup> /10min | ISO 1133    |
| Mechanical                                  | Nominal Value Unit          | Test Method |
| Tensile Modulus                             | 1400 MPa                    | ISO 527-2   |
| Tensile Stress (Yield)                      | 28.0 MPa                    | ISO 527-2   |
| Tensile Strain                              |                             | ISO 527-2   |
| Yield                                       | 6.0 %                       |             |
| Break                                       | > 60 %                      |             |
| Impact                                      | Nominal Value Unit          | Test Method |
| Charpy Notched Impact Strength              |                             | ISO 179/1eA |
| -20°C                                       | 3.0 kJ/m <sup>2</sup>       |             |
| 0°C   | 3.6 kJ/m <sup>2</sup>       |             |
| 23°C  | 7.0 kJ/m <sup>2</sup>       |             |
| Charpy Unnotched Impact Strength            |                             | ISO 179/1eU |
| -20°C                                       | 80 kJ/m <sup>2</sup>        |             |
| 0°C   | 120 kJ/m <sup>2</sup>       |             |
| 23°C  | No Break                    |             |
| Hardness                                    | Nominal Value Unit          | Test Method |
| Ball Indentation Hardness (H 358/30)        | 63.0 MPa                    | ISO 2039-1  |
| Thermal                                     | Nominal Value Unit          | Test Method |
| Heat Deflection Temperature                 |                             | ISO 75-2/B  |
| 0.45 MPa, Unannealed                        | 90.0 °C                     |             |
| Ductile / Brittle Transition Temperature    | -45.0 °C                    | ISO 6603-2  |
| Vicat Softening Temperature                 |                             |             |
| --  | 161 °C                      | ISO 306/A50 |
| --  | 68.0 °C                     | ISO 306/B50 |

#### Notes

<sup>1</sup> Typical properties: these are not to be construed as specifications.

1 of 1

Copyright © 2011 - IDES - The Plastics Web © | 800-766-4668 or 307-742-9227 | [www.ides.com](http://www.ides.com)

#### Revision History

Document Created: Wednesday, August 10, 2011  
Added to Prospector: October, 2001  
Last Updated: 5/02/2008

The information presented on this datasheet was acquired by IDES from the producer of the material. IDES makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, IDES assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

7

8



## 9 MATERIÁLOVÝ LIST BONDYRAM 5108



### Bondyram® 5108 Maleic Anhydride-Modified Polyethylene

#### Product Description:

Bondyram® 5108 is a Maleic Anhydride Modified High Density Polyethylene recommended for coupling of Polyethylene and other fillers in PE composites.

#### Typical Property Data

| Property               | ASTM Test Method      | Unit              | Bondyram®<br>5108 |
|------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| MFI                    | D-1238, 190° C/2.16kg | g/10min           | 8                 |
| Density                | D-792                 | g/cm <sup>3</sup> | 0.95              |
| Maleic Anhydride level | FTIR                  | %                 | ~1%               |

#### Packaging

Supply in pallet form, 20 kg in PE bags, 600 kg in pallet, also available in 600 kg carton boxes.

The technical data contained herein are guides to use Polyram resins. Information contained herein is to the best knowledge, true and Assure. The customer is nevertheless obliged to run an incoming material control.



**Polyram, Ram-On Industries LP.** Ram-On 19205 Israel. Tel: 972-4-6599900  
Fax: 972-4-6499763 www.polyram.co.il E-Mail: mail@polyram.co.il



## 11 MATERIÁLOVÝ LIST BONDYRAM 1001



### Bondyram® 1001

Maleic Anhydride-Modified Polypropylene

#### Product Description:

Bondyram® 1001 is a Maleic Anhydride Modified Homo-polypropylene recommended for coupling of glass and other fillers in polypropylene composites.

#### Typical Properties Data

| Property               | ISO Test Method      | Unit              | Bondyram®<br>1001 |
|------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| MFI                    | 1133, 190° C/2.16 kg | g/10min           | 100               |
| Density                | 1183                 | g/cm <sup>3</sup> | 0.90              |
| Melting point          | DSC                  | °C                | 160               |
| Maleic Anhydride level | FTIR                 | %                 | 1                 |

#### Packaging

Supply in pallet form, 20 kg in PE bags,  
600 kg in pallet, also available in 600 kg carton boxes.

The technical data contained herein are guides to use Polyram resins.  
Information contained herein is to the best knowledge, true and  
Assure.  
The customer is nevertheless obliged to run an incoming material control.

Version A  
28.08.2008



Polyram, Ram-On Industries LP. Ram-On 19205 Israel. Tel: 972-4-6599900  
Fax: 972-4-6499763 www.polyram.co.il E-Mail: mail@polyram.co.il

