

# Využití Moldflow MPX při optimalizaci vstřikovacího cyklu

Bc. Vlastimil Zábojník

---

Diplomová práce  
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Zadání

Zadání

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá moderní technologií zpracování polymerních materiálů – vstřikováním. Práce je rozdělena na dvě části. V první, části teoretické, jsou popsány polymerní materiály, jejich vlastnosti a použití. Následují kapitoly věnované principům technologie vstřikování s popisem jednotlivých částí vstřikovacího stroje. Druhá část se zabývá samotnou optimalizací vstřikovacího procesu. Jsou zde zahrnuty analýzy v CAE softwaru, jejich aplikace na vstřikovacím stroji a výsledky optimalizace použitých materiálů. Část je také věnována vadám vystříknutých výrobků.

Klíčová slova:

Vstřikování plastů, polymerní materiály, zkušební tělíska

## **ABSTRACT**

This work is deal with modern process technology of polymeric materials - injection molding. Work is divided into the two parts. Also first, theoretic part, there are described the polymeric materials, their properties and using. The follow chapters are devoted principles of injection molding technology with describing several parts of injection molding machine. Second part is interested about optimization of injection molding process. Here are included CAE analysis, their application into the machine and results of optimization used materials. A fraction of this is devoted to the deffects of injected parts.

Keywords:

Injection molding of plastics, plastic materials, testing samples

Poděkování:

Za cenné rady, připomínky a odborné vedení mé práce bych touto cestou rád poděkoval panu Ing. Michalu Staňkovi Ph.D., panu Ing. Vladimíru Šumberovi a panu Ing. Štěpánu Šandovi.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a vedoucího ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor. Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně 29.04.2009

.....

Podpis

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 POLYMERNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>11</b>
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY Z OBORU MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE.....	11
1.1.1 Makromolekulární řetězce.....	12
1.1.2 Amorfní struktura.....	13
1.1.3 Semikrystalická struktura.....	14
1.2 FÁZOVÉ STAVY POLYMERŮ.....	14
1.3 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI .....	16
1.3.1 Viskozita .....	16
1.3.2 Tok taveniny ve formě .....	17
1.4 TERMOPLASTY, VLASTNOSTI, POUŽITÍ .....	18
1.4.1 Polypropylen (PP) .....	19
1.4.2 Akrylonitril-butadien-styren (ABS) .....	19
1.4.3 Polyamid (PA).....	21
1.4.4 Polymethylmetakrylát (PMMA).....	22
1.4.5 Polykarbonát (PC).....	23
1.4.6 Polyethylen (PE).....	24
1.5 REAKTOPLASTY.....	24
1.6 ELASTOMERY .....	25
1.7 PŘÍSADY .....	25
1.7.1 Přísady modifikující fyzikální vlastnosti plastů .....	25
1.7.2 Přísady mající ochranný účinek vůči degradačním procesům.....	26
1.8 RECYKLACE .....	26
<b>2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ</b> .....	<b>28</b>
2.1 SKLADOVÁNÍ A DOPRAVA MATERIÁLU .....	28
2.2 PŘÍPRAVA MATERIÁLU.....	29
2.2.1 Sušení termoplastů .....	29
2.3 PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU.....	30
2.4 VADY VÝROBKŮ.....	33
<b>3 VSTŘIKOVACÍ STROJE</b> .....	<b>36</b>
3.1 PLASTIKAČNÍ JEDNOTKA.....	36
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	37
3.2.1 Mechanický systém uzavírání .....	38
3.2.2 Hydraulický systém uzavírání .....	38
3.2.3 Elektrický systém uzavírání .....	39
3.3 FORMA .....	39
3.3.1 Vstřikovací část.....	40

3.3.2	Pohyblivá, vyhazovací část .....	41
3.3.3	Temperace .....	41
3.3.4	Odvzdušnění.....	42
<b>4</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>43</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>MOLDFLOW PLASTIC XPERT.....</b>	<b>45</b>
5.1	NASTAVENÍ PROCESU .....	45
5.1.1	Optimalizace rychlostního profilu.....	48
5.1.2	Postupy používané při optimalizaci rychlostní fáze.....	51
5.1.3	Optimalizace tlakové fáze .....	53
5.1.4	Postupy optimalizace tlakové fáze .....	53
5.2	OPTIMALIZACE PROCESU .....	55
5.2.1	Design of experiment (DOE) .....	55
5.2.2	Průběh optimalizace .....	55
5.2.3	Procesní okno .....	56
5.3	KONTROLA PROCESU .....	57
<b>6</b>	<b>VSTŘIKOVACÍ STROJ .....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>OPTIMALIZOVANÉ VÝROBKY .....</b>	<b>61</b>
7.1	ZKUŠEBNÍ TĚLÍSKA .....	61
7.2	DESTIČKY .....	62
<b>8</b>	<b>OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK – PP, 30 % SKELNÝCH VLÁKEN.....</b>	<b>63</b>
8.1	AUTOMATICKÉ NASTAVENÍ PROCESU .....	63
8.1.1	Optimalizace rychlosti vstřikování.....	63
8.1.2	Optimalizace tlakové fáze cyklu .....	65
8.1.3	Optimalizace procesu .....	66
8.1.4	Kontrola procesu .....	68
8.2	POLOAUTOMATICKÉ NASTAVENÍ PROCESU .....	68
8.3	MANUÁLNÍ NASTAVENÍ PROCESU .....	70
8.4	NAHRÁNÍ PROFILU Z CAE MOLFLOW PLASTIC INSIGHT 6.2.....	72
8.5	SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH METOD OPTIMALIZACE.....	74
<b>9</b>	<b>OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK – PMMA .....</b>	<b>75</b>
<b>10</b>	<b>OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK – HDPE.....</b>	<b>78</b>
<b>11</b>	<b>OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK – PA66.....</b>	<b>80</b>
<b>12</b>	<b>OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66 .....</b>	<b>82</b>
<b>13</b>	<b>OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66, 15 % SKELNÝCH VLÁKEN.....</b>	<b>85</b>
<b>14</b>	<b>OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66, 25 % SKELNÝCH VLÁKEN.....</b>	<b>87</b>
<b>15</b>	<b>OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66, 30 % SKELNÝCH VLÁKEN.....</b>	<b>91</b>
<b>16</b>	<b>OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66, 35 % SKELNÝCH VLÁKEN.....</b>	<b>93</b>

<b>17</b>	<b>OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66, 50 % SKELNÝCH VLÁKEN.....</b>	<b>95</b>
<b>18</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>98</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>100</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>101</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>103</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>104</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>108</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>109</b>



## ÚVOD

Výroba plastů představuje jednu z nejrozšířenějších technologií výroby. Nové druhy polymerních materiálů a technický rozvoj přináší stále nové možnosti jejich využití. S tím jdou ruku v ruce i nové technologie. Jednou z takových technologií je i vstřikování plastů do forem. Vstřikovat lze jak termoplasty, tak reaktoplasty či elastomery. Výrobky vyráběné vstřikováním nacházejí uplatnění v širokých oblastech průmyslových odvětví. Vždyť představa života bez výrobků elektrotechnického, automobilového či spotřebního průmyslu již v dnešní moderní společnosti není možná. Z možností aplikace plastových výrobků vyplývá, že tyto produkty obklopují život lidí každým dnem. Většina vstřikovaných výrobků je z plastů hlavně proto, že dokáží konkurovat tradičním materiálům, jako jsou např. kovové materiály, svou cenou a v mnoha směrech také svými vlastnostmi.

Technologií vstřikování se vyrábějí výrobky různých velikostí, ale hlavně složitých tvarů. To však nemusí být podmínkou, i malé výrobky mohou být zhotoveny vstřikováním. Důvodem může být hlavně to, že tato technologie umožňuje na jeden zdvih produkovat jeden, dva či více kusů výrobků – dle konstrukce formy. Čím více kusů je na jeden zdvih stroj schopen udělat, tím levnější bude výroba. Je však nutné podotknout, že výroba vícenásobných forem bývá podstatně dražší a složitější na výrobu.

Vstřikování jak jednoduchých, tak složitých dílů může při výrobě provázet řada složitých, na sobě vzájemně závislých jevů, vyplývajících z nastavení procesních podmínek. Výrobní proces je proto nutné optimalizovat tak, aby výsledné výrobky byly shodné, neměly žádné, ať už povrchové či jiné vady. Produkce kvalitních a jakost splňujících výrobků pak znamená důvěru u zákazníka a tudíž možnost rozšíření vyráběného sortimentu zboží.

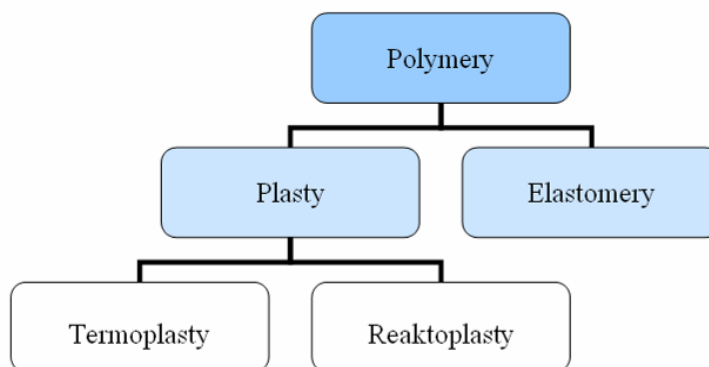
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Materiály, které se nazývají polymery, byly známy již v minulosti. Od počátku byl život závislý na polymerech (potrava, kožešiny, kůže, textilie, dřevo atd.). Přírodní pryskyřice a gumy byly lidmi používány odedávna. [1] Problematikou polymerních materiálů se zabývá makromolekulární chemie, která tvoří jedno z odvětví, tvořící chemii jako celistvý vědní obor.

Makromolekulární chemie je relativně mladý vědní obor – jeho základy byly položeny ve dvacátých letech minulého století, tedy v době, kdy již dávno byly úhledně uspořádány široké poznatky z anorganické i organické chemie nízkomolekulárních látek. Makromolekulární chemie se zabývá zákonitostmi syntézy a charakterizací polymerů, tj. sloučenin tvořených mimořádně velkými molekulami – makromolekulami, pro něž je typické mnohonásobné opakování jednoho či více typů základních strukturních jednotek. [2]

Polymery jsou chemické látky neobvyklé šíře vlastností, obsahující ve svých obrovských molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků. Polymery jsou ve formě výrobku prakticky v určitém stádiu zpracování ve stavu v podstatě kapalném, dovolujícím, většinou za zvýšené teploty a tlaku udělit budoucímu výrobku nej-různější tvar, podle předpokládaného použití. [3] Podle obr. 1 jsou děleny polymery na plasty a elastomery.



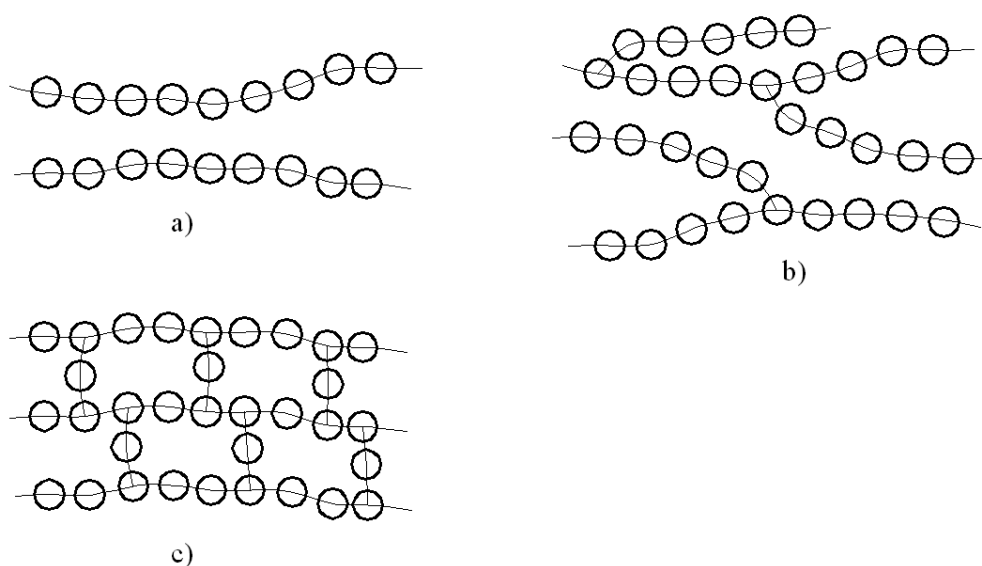
Obr. 1 Rozdělení polymerních materiálů

### 1.1 Základní pojmy z oboru makromolekulární chemie

Makromolekulární látky jsou nazývané obvykle polymery (poly = mnoho, meros = část), protože vznikají z mnoha dílů jednodušší sloučeniny – monomeru (monos = jediný). [1]

### 1.1.1 Makromolekulární řetězce

Spojováním molekul dvojfunkčního monomeru ve výstavbové polyreakci vzniká nejjednodušší typ makromolekul – makromolekuly lineární (obr. 2a). Lineární jsou makromolekuly v tom smyslu, že každá monomerní jednotka je spojena pouze se dvěma sousedními jednotkami. Neznamená to tedy, že je lineární ve smyslu napřimená. V důsledku otáčivosti atomů kolem jednoduchých vazeb mohou makromolekuly zaujímat různé konformace. Energeticky nejvýhodnější, a tudíž nejpravděpodobnější je výskyt makromolekul ve tvaru klubka. [2]



Obr. 2 Makromolekulární řetězce

a) lineární, b) rozvětvený, c) zesíťovaný

Makromolekuly s postranními řetězci (obr. 2b) se označují jako rozvětvené. Vznikají polyreakcí troj nebo vícefunkčních monomerů, mohou však vznikat i v důsledku vedlejších reakcí při polyreakci monomeru dvojfunkčního. Větvenou makromolekulu plně charakterizuje polymerizační stupeň, počet a délka postranních řetězců. [2]

Se vzrůstající délkou a počtem postranních řetězců ve větvených makromolekulách vzrůstá pravděpodobnost jejich vzájemného spojení. Spojí-li se vzájemně všechny řetězce v trojrozměrném prostoru, vzniká zesíťovaný polymer (obr. 2c). Je charakterizován hustotou sítě a délkou řetězců mezi místy zesíťování. Trojrozměrná polymerní síť může vznikat nejen polyreakcí troj- a vícefunkčních monomerů, ale i spojováním lineárních, nebo větvených makromolekul, jako např. při vulkanizaci kaučuku. [2]

K nežádoucímu nesíťování lineárních nebo větvených polymerů může docházet při dostatečně vysokých teplotách i vlivem vedlejších reakcí. [2]

Některé mery jsou tvořeny jen mery jednoho druhu, zatímco jiné mery různých druhů. Polymery s makromolekulárními řetězci prvního typu, jakými jsou např. právě polyethylen, polybutadien, polystyren, polyakrylonitril, ale i polyvinylchlorid, jejichž řetězce je možno schematicky naznačit AAAAAAAAAA, jestliže A označuje mer, nazýváme homopolymery. Polymery druhého typu se označují jako kopolymery. [3]

Kopolymery dále členit na:

- statistické, jejichž řetězce jsou tvořeny nepravidelně, statisticky nahodile se střídajícími mery AAABABBABBBAABAAB,
- blokové, jejichž řetězce jsou tvořeny dvěma nebo více bloky merů jednoho druhu AAAAAAAAAABBBBBBB,
- roubované, které mají na základním řetězci merů jednoho druhu „naroubované“ postranní řetězce merů druhu jiného (obr. 3). [3]



Obr. 3 Roubovaný kopolymer [3]

Roubované a blokové polymery se odlišují vlastnostmi od kopolymerů statistických i při stejném chemickém složení. To proto, že jednotlivé kopolymerní bloky jsou dostatečně velké, aby výsledný blokový nebo roubovaný kopolymer neztratil všechny vlastnosti odpovídajících homopolymerů, ale shrnoval jejich kvality a navíc se vyznačoval vlastnostmi, které nemá žádný z homopolymerů. [3]

### 1.1.2 Amorfní struktura

Amorfni jsou takové polymery, které mají makromolekuly uspořádané nahodile (obr. 4a). Pokud neobsahují barviva, vyznačují se transparentností, jsou většinou křehké a velmi dobře rozpustné v řadě rozpouštědel. Do této skupiny polymerů patří např. polystyren, po-

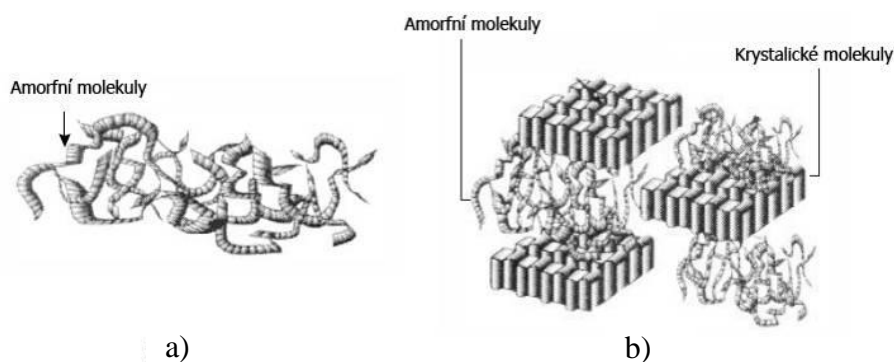
lymethylmetakrylát, polyvinylchlorid, nevytvrzené pryskyřice. Dají se zpracovávat všemi známými technologiemi s výjimkou zvlákňování. [4]

### 1.1.3 Semikrystalická struktura

Materiály s molekulami uspořádanými v určitých oblastech pravidelně jsou nazývány semikrystalické. Krystalizace polymerů představuje pravidelné uspořádání jednotek v prostoru. Podle schopnosti krystalizace jsou rozlišovány polymery:

- se sklonem k samovolné krystalizaci,
- samovolně nekystalizující,
- nekystalizující za žádných okolností.

Vlastnosti makromolekulárních látek nedovolují jejich úplnou krystalizaci. To tedy znamená, že mezi oblastmi krystalickými jsou ještě oblasti amorfní (obr. 4b). Podíl krystalické části bývá označován jako stupeň krystalinity a může být ovlivněn technologickými podmínkami během zpracování. Stupeň krystalinity závisí silně na samotném materiálu. Čím jednodušší je struktura řetězce, tím vyšší je stupeň krystalinity. Amorfní a semikrystalické polymery mají různé zpracovatelské vlastnosti a vykazují taky různé užité vlastnosti. [4]



Obr. 4 Struktury polymeru

a) amorfní, b) semikrystalický [5]

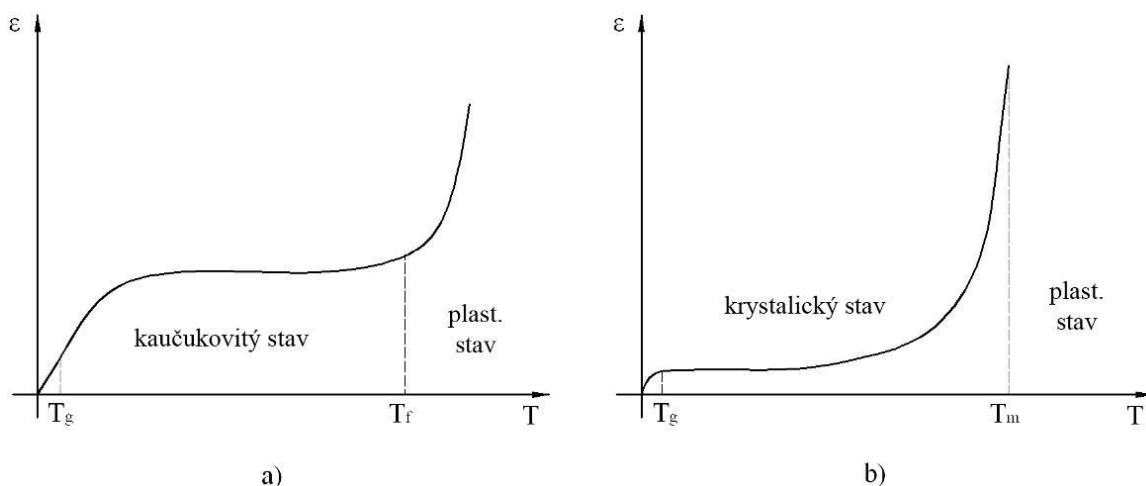
## 1.2 Fázové stavy polymerů

Polymery se mohou vyskytovat pouze ve stavu kapalném nebo tuhém. Podle pravidelnosti geometrického uspořádání makromolekulárních řetězců v tuhé fázi jsou rozlišovány vysoce uspořádaný stav krystalický a prakticky neuspořádaný stav sklovitý. Malou mírou uspořá-

danosti polymerních řetězců odpovídá sklovitý stav kapalnému, ale jeho schopnost téci je potlačena. V takovém stavu se mohou v zásadě vyskytovat všechny amorfnní látky. Pro polymery je charakteristický ještě přechodový stav mezi sklovitým a kapalným – tzv. stav kaučukovitý. Polymer lze v tomto stavu poměrně malou silou do neobvyklé míry deformovat, takže jej nelze definovat jako tuhoun látku, ale nelze jej definovat ani jako kapalinu, protože při deformaci nedochází k nevratnému toku, který charakterizuje stav plastický.

O tom, v jakém stavu se polymer za běžných podmínek nachází a jak široké je teplotní rozmezí existence tohoto stavu, rozhoduje především chemické složení a molekulová hmotnost makromolekulární látky. [4]

Z hlediska chování za různých teplot lze amorfnní polymer charakterizovat tzv. teplotou zesklelnění ( $T_g$  – z ang. „glas“ – sklo), krystalický teplotou tání ( $T_m$  – z ang. „melt“ – tát). Schematicky lze tyto stavy popsat tzv. termomechanickou křivkou, charakteristickou pro každý polymer. Znázorňuje závislost deformace vznikající působením určité síly na teplotě – obr. 5. Teplota  $T_g$  ohraničuje oblast sklovitého stavu, teplota  $T_m$  ohraničuje oblast krystalického stavu. Rozmezí teplot  $T_g$  a  $T_f$  odpovídá kaučukovité oblasti, ve které se deformace s teplotou mění velmi málo a je převážně vratná. Teprve v oblasti teploty toku ( $T_f$  – z ang. „flow“ – tok) vede zahřívání k poměrně náhlému a značnému růstu deformace, neboť se začne projevovat viskózní tok vyznačující se nevratnou deformací. Nad teplotou  $T_f$  se polymer nachází v plastickém stavu. [4]



Obr. 5 Termomechanické křivky polymerů [4]

a) amorfnní b) krystalický

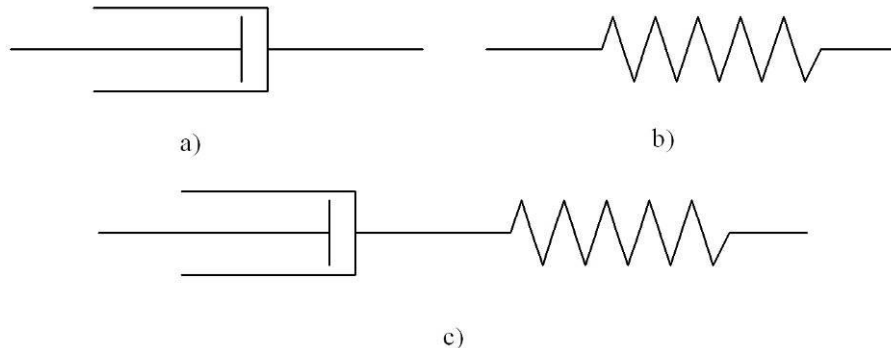
### 1.3 Reologické vlastnosti

Reologie představuje vědní obor, který se zabývá tečením látek jak kapalných, tak pevných, za současného působení vnějších sil.

Určení tokových vlastností a znalost reologického chování jsou velmi důležité, jak pro výrobce surovin, tak pro výrobce strojů a zpracovatele. Dodavatelé surovin využívají výsledky měření viskozity k zjištění stejnoměrné kvality a kontroly provozních parametrů při výrobě. [4]

Reologické chování je označováno jako viskoelastické. To znamená, že tavenina se chová viskózně (jako kapalina), ale zároveň taky elasticky (jako pružná látka). Nejjednodušší viskózní model kapaliny je Newtonský  $\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}$ , který si lze představit mechanickým analogem (obr. 6a). Nejjednodušší elastický model tuhé látky je Hookův (pružina)  $\tau = G \cdot \gamma$ , který může být znázorněn mechanickým analogem (obr. 6b). [4]

Kombinací těchto modelů je dosaženo modelu Maxwellova, jenž dobře popisuje veličiny s viskoelastickým chováním (obr. 6c).



Obr. 6 Reologické modely [4]

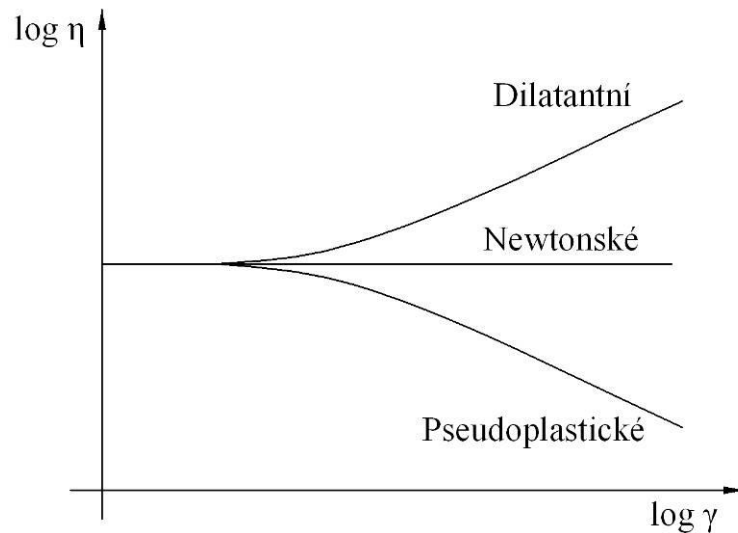
a) viskózní, b) elastický, c) Maxwellův

#### 1.3.1 Viskozita

Viskozita je definována jako odpor kapaliny k tečení a je určena podílem smykového napětí a smykové rychlosti. Nižší viskozita znamená nižší odpor k toku. Viskozita běžných tekutin jako je voda nebo olej může být ovlivněna teplotou, ale je konstantní při změně rychlosti toku nebo smykové rychlosti. Tyto tekutiny jsou nazývány Newtonské. Viskozita plastů je však mnohem složitější. V oblasti velmi nízkých smykových rychlostí je polymer



v podstatě Newtonský. Ve vyšších smykových rychlostech se materiál stává klesající viskozitou neneutonským. Většina polymerních materiálů je tedy svým tokem charakterizována jako pseudoplastická, neneutonská. Viskozita pseudoplastického materiálu neneutonské tekutiny se sníží se stoupající smykovou rychlostí (obr. 7). Na rozdíl od toho, viskozita dilatantního neneutonského materiálu roste se zvyšující se smykovou rychlostí. [6]



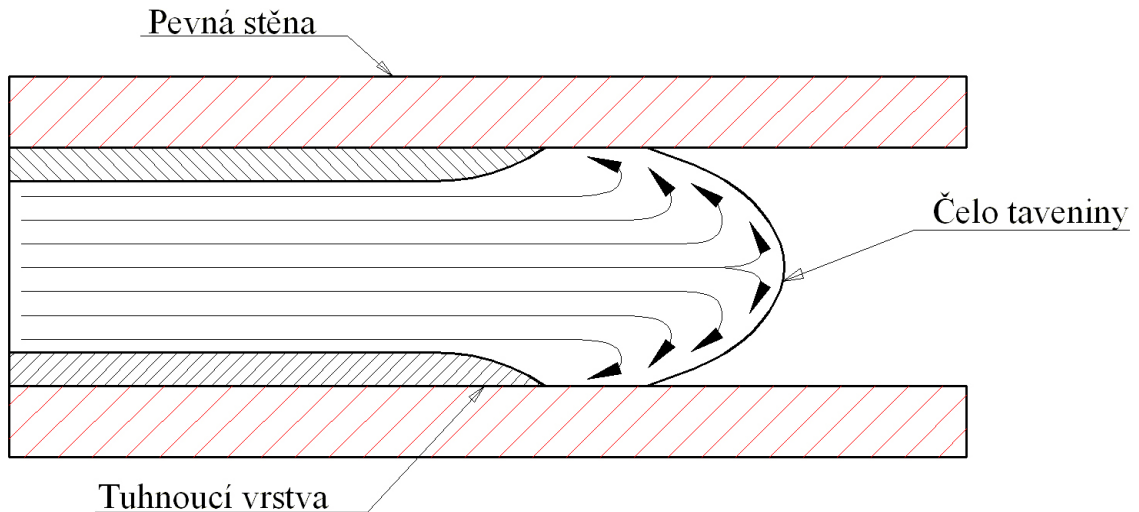
Obr. 7 Závislost viskozity a smykové rychlosti [6]

Viskozitu tavenin polymerních materiálů lze měřit na následujících přístrojích: viskozimetru válec – válec, kužel – deska a kapilárním viskozimetru. [4]

Smykový tok se objevuje z důvodů adheze k přilehlým povrchům. Více technická definice by tedy viskozitu představovala jako odpor proti smykovému namáhání. [4]

### 1.3.2 Tok taveniny ve formě

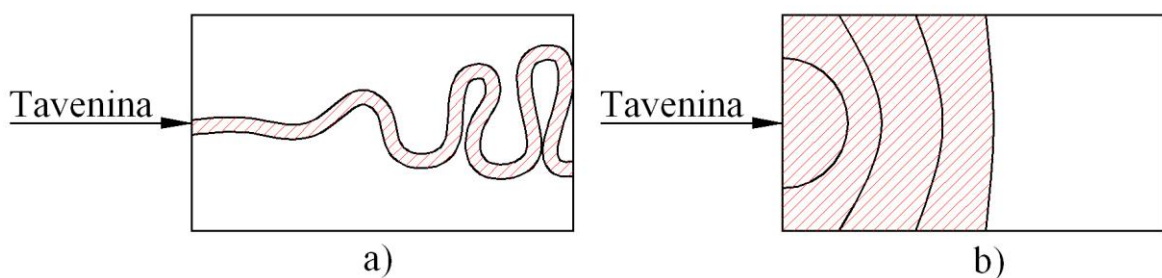
Během vstřikování polymer teče tzv. „fontánovým tokem“ (obr. 8). Při toku materiálu ve formě první materiál zůstává na stěnách kanálu a tuhne. Tavenina tedy teče středem kanálu a to rychleji. Tím pádem pak vzniká parabolický rychlostní profil. Materiál na čele taveniny je ustavičně tlačěn na stěny kanálu, kde tuhne, jak nový materiál postupuje vpřed.



Obr. 8 Fontánový tok [6]

Pokud nedojde k vytvoření kontaktu taveniny se stěnou, dochází k jevu nazývanému „jetting“ – tryskový tok.

Jetting (obr. 9a) je defekt, který vyplývá ze špatné kombinace vysokého objemového průtoku ústí vtoku, nízkou pevností roztaveného polymeru a nevhodný návrh vtoku. Jestliže je vstříknut polymer skrz ústí vtoku bez kontaktu se stěnou a nevytvoří tvar toku tvaru vějíře (obr. 9b), existuje předpoklad pro vznik jettingu. Výsledkem jettingu je vznik několikanásobného počtu studených spojů a tím pádem snížení mechanických vlastností výrobku. Nejefektivnějším řešením, jak se vyvarovat tohoto jevu je vhodné umístění vtoku tak, aby vytvořil kontakt se stěnou formy. Další možností je snížení vstřikovací rychlosti.



Obr. 9 Výstup taveniny z ústí vtoku [7]

a) jetting, b) ideální plnění dutiny

#### 1.4 Termoplasty, vlastnosti, použití

Pod pojmem termoplasty je definována skupina polymerních materiálů, které jsou v určité teplotní oblasti snadno tvarovatelné a tuto vlastnost si zachovávají do té doby, pokud ne-

ochladnou na teplotu okolního prostředí. Proces tvrdnutí je reverzibilní – po ochlazení je možné materiál opět roztavit a tvarovat do jiného tvaru.

#### 1.4.1 Polypropylen (PP)

Polypropylen patří do skupiny polyolefinů. Je to krystalický polymer o stupni krystalinity 60 až 75 %. Díky tomu je PP neprůhledný. Bod tání čistého izotaktického PP je 176 °C. Polypropylen má nízkou hustotu (0,9 až 0,92 g /cm<sup>3</sup>). [8]

PP se zpracovává vstřikováním při teplotě 205 až 280 °C a vytlačováním na trubky, desky, folie a profily při teplotě 200 až 270 °C. Desky a bloky lze také lisovat z granulí při teplotě 180 až 250 °C. Trubky se spojují svařováním polypropylenovým drátem (pistolí pro svařování horkým plynem o teplotě 200 až 220 °C). Folie, stejně jako u PE, lze svařovat sálavým teplem nebo impulsem. Velikost smrštění při ochlazení činí 1,5 až 2 %. [8], [9]

PP lze použít na různé výrobky, u nichž jsou žádány tuhost, mechanická pevnost a dobré elektroizolační vlastnosti. V automobilovém průmyslu se např. uplatňují vstřikované dílce z PP na přístrojové desky, ventilátory aj. Ve spotřebním průmyslu se uplatňuje jako součásti vysavačů, ventilátorů, sušičů na vlasy, mixérů, hraček aj. Odolnost vůči sterilizačním teplotám umožňuje použít polypropylen na dílce injekčních stříkaček aj. Trubky mají dobrou chemickou odolnost a jsou vhodné např. pro kanalizační odpady v chemickém průmyslu. Folie se používají pro balení potravin (těstovin, bonbónů) a pro výrobu varných sáčků. Stále významnější, i když náročná je aplikace polypropylenů pro výrobu kondenzátorů. Zavádějí se i zpěňovatelné typy PP pro lehčené dílce. [8]



*Obr. 10 Injekční stříkačka z PP*

#### 1.4.2 Akrylonitril-butadien-styren (ABS)

Polymery ABS představují kombinaci monomerů akrylonitril-butadien-styren s výrazně lepší chemickou odolností a houževnatostí než má polystyren a to při zachování dostatečné

tuhosti. Prostým smícháním homopolymerů (PAN, PS a PB) vznikají nepoužitelné směsi. [8]

Poměr jednotlivých složek se pohybuje v rozmezí 40 až 70 % styrenu, 10 až 30 % akrylonitrilu, 15 až 50 % butadienu. [8]

Na trhu je řada typů ABS, které mají charakteristickou houževnatost, dobré mechanické vlastnosti, jsou snadno zpracovatelné, mají malý elektrostatický náboj, odolnost proti řadě chemikálií, tvrdý a lesklý povrch, nevyžadují dodatečnou úpravu a atraktivní vzhled. Vzhledem k heterogenosti jsou ABS vždy neprůhledné. Tvarově stále jsou podle typu od 80 až 105 °C. [8]

Polymery ABS lze dobře zpracovávat všemi běžnými technologickými postupy používanými u termoplastů – vstřikováním, válcováním, vyfukováním, tvarováním za tepla i lisováním. Kvantitativně nejvýznamnější (55 %) je vstřikování při teplotě 180 až 250 °C, pak následuje vytlačování na desky a profily při 150 až 215 °C (35 %); na ostatní technologie připadá 10 %. [8]

Z cenového hlediska patří polymery ABS mezi levnější konstrukční termoplasty. Jsou sice dražší než houževnatý polystyren nebo polyolefiny, ale mnohem levnější než polyamidy, polyacetalu a polykarbonáty. Mají nízkou hustotu (1,02 až 1,08 g /cm<sup>3</sup>), a proto je jejich použití výhodné i v přepočtu cen za objemovou jednotku. Používají se zejména na náročné technické aplikace, jsou-li vedle vysoké houževnatosti kladeny nároky i na chemickou odolnost. Nejvíce se používají pro vnitřní a vnější díly motorových vozidel (přístrojové desky, ozdobné pokovené mřížky masek), spotřebiče pro domácnost (vysavače, mixéry, sušičky, pračky, ledničky, holicí strojky), zavazadla (60 % zavazadel s tuhým povrchem), nekomunikační a elektroakustické přístroje (telefony, skříňky televizorů a magnetofonů), nábytek (skořepiny křesel, sedačky), sportovní potřeby (čluny, obytné přívěsy), optické přístroje, potrubí aj. [8]

Mechanickou pevnost lze zvýšit přidáním 20 až 40 % skleněné výztuže. [8]



*Obr. 11 Typický výrobek z ABS*

### 1.4.3 Polyamid (PA)

Polyamidy jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny – CONH –. Vlastnosti polyamidů se mění v závislosti na výchozích monomerech. Typické polyamidy jsou v tuhém stavu z 30 až 50 % krystalické a neprůhledné. Řetězové molekuly jsou propojovány vodíkovými můstky mezi amidovými skupinami. Jejich množství ovlivňuje krystalickou strukturu, bod tání,  $T_g$  a většinu dalších vlastností. Vysoká houževnatost, tvrdost, odolnost proti oděru a dobré elektroizolační charakteristiky jsou vlastnosti, na nichž spočívá použití polyamidů jako plastů i vláken. Molekulové vlastnosti jsou závislé na typu, molekulové hmotnosti a obsahu vody. Nasákavost je dána koncentrací amidových skupin. Vedle nasákavosti se jednotlivé typy liší výrazně bodem tání,  $T_g$  a rozpustností v různých koncentrovaných kyselinách mravenčí za normální teploty. [8]

Polyamid 6 je tvrdá, světle žlutá hmota rohovitého vzhledu tající při teplotě 215 až 220 °C. [8] Hustota PA6 je 1,12 g /cm<sup>3</sup>. Důležitou vlastností je navlhavost, která činí 11 hm. %. Pro krátkodobé použití lze materiál vystavit i teplotám v rozmezí 140 až 180 °C. [3]

PA6 dosahuje hodnoty smrštění při vstřikování v rozmezí od 1 až 1,25 %.

Polyamid 6 má dobré mechanické vlastnosti, nízký koeficient tření, mimořádnou odolnost proti otěru, dobrou rázovou houževnatost, dobré elektroizolační vlastnosti, ovšem dosti značnou navlhavost. Neodolává anorganickým kyselinám a oxidačním činidlům. Používá se pro výrobu textilních vláken a významné je i jeho použití jako konstrukčního materiálu pro výrobu ložisek, ozubených kol, vaček, cívek, ovládacích elementů aj. [8]



*Obr. 12 Ozubené kola z PA6*

Zvlákňování polyamidu se děje protlačováním jeho taveniny tryskami. Vzniklé vlákno se pak dluží a praním zbavuje monomeru. Z polyamidu 6 se vyrábějí technická vlákna (kordy do koster pneumatik a dopravních pásů, štětiny, žíně, vlasce, vlákna na síta apod.), tak vlákna textilní (hedvábná, kobercová, stříž). Jejich vybarvování nečiní potíže. Textilie z nich připravené se sice rychle špiní, protože se snadno nabíjejí statickou elektřinou a přitahují prach, ale na druhé straně neméně snadno perou ve vlažné vodě. Málo se mačkají. Vlákna mají značnou pevnost a mnohem větší otěruvzdornost než všechna ostatní (přírodní i syntetická). Málo však odolávají zvýšeným teplotám (žehlení) a účinkům povětrnosti (slunečnímu světlu). [3]

Polyamid 66 má výhodu oproti PA6 ve vyšším bodu tání tj. 250 až 260 °C. Hustota tohoto materiálu je téměř shodná a činí 1,13 g/cm<sup>3</sup>. Hodnota smrštění se pohybuje od 1 do 2 %. Dále má tento materiál vyšší pevnost a o něco menší navlhavost než PA66. Velmi rozšířenou technologií pro jeho zpracování je zvlákňování a taktéž se používá pro výrobu folií např. na balení potravin.

#### **1.4.4 Polymethylmetakrylát (PMMA)**

Nejcharakterističtější vlastností PMMA je jeho čirost a naprostá bezbarvost i v tlustých vrstvách. To umožňuje nejen jeho dokonalou průhlednost, ale i snadné vybarvování. Odolností proti povětrnosti předčí PMMA všechny běžné termoplasty. PMMA je při teplotě 130 až 140 °C kaučukovitý a snadno tvarovatelný. Vykazuje i vynikající tvarovou paměť, projevující se vrácením tvarované desky do původního rovného tvaru zahřáním na  $T_m$ . Propustnost světla je u PMMA asi 92 % v celém rozsahu spektra (zasahuje až do UV oblasti). PMMA má dobré mechanické a elektroizolační vlastnosti, odolává vodě, zředěným kyselinám a hydroxidům. Dá se dobře mechanicky obrábět. Tepelná odolnost bez zatížení je kolem 80 °C. [8]

PMMA se zpracovává vstřikováním při teplotě 220 až 250 °C, přičemž optimální teplota formy by se měla pohybovat od 60 do 110 °C. Smrštění hotového výstřiku se pohybuje od 0,3 do 0,8 %. Hustota PMMA je 1,19 g/cm<sup>3</sup>.

Blokový PMMA je relativně drahý plast a jeho užití je na místě tam, kde se uplatní jeho výhodné vlastnosti: při zasklívání oken dopravních prostředků, při výrobě krytů přístrojů, kancelářských potřeb, hodinkových sklíček apod. [8]

Dále je možné výrobky z PMMA vidět na motocyklových helmách, jako ochranné kryty diváků na hokeji nebo jako součástí at' už domácích nebo mořských akvárií. Často tento materiál bývá nazýván pojmem organické sklo, nebo běžněji plexisklo.



*Obr. 13 Světlo z PMMA*

#### **1.4.5 Polykarbonát (PC)**

Polykarbonáty spojují řadu velmi dobrých vlastností, kterých nebylo souhrnně dosaženo u žádného dalšího typu termoplastů. Jsou to hlavně výborné mechanické a dielektrické vlastnosti, konstantní v neobvykle širokém rozmezí teplot (od -70 °C do 140 °C), dále malá nasákavost, značná povětrnostní odolnost a transparence. Tyto vlastnosti jsou spojeny v rozměrovou stabilitou, chemickou odolností a snadnou zpracovatelností. [3]

Největší podíl polykarbonátů se zpracovává vstřikováním při teplotách 280 až 320 °C. Formu je třeba vyhřívat na 80 až 120 °C. Vstřikováním se vyrábějí hlavně technické dílce určené pro použití za vyššího mechanického a tepelného namáhání. Trubky, tyče, profily a tlusté fólie se zhotovují vytlačováním na jednošnekových strojích. [8]

Hustota polykarbonátu je 1,2 g/cm<sup>3</sup> a výstřiky dosahují po ochlazení smrštění 0,7 – 0,8 %. Polykarbonáty se dají dobře třískově opracovávat, svařovat horkým vzduchem (315 °C) a lepit roztokem PC v methylenchloridu. Novou zajímavou možností použití PC je výroba kompaktních disků. Polykarbonáty lze v tavenině mísit s termoplasty (legovat). Zvlášť významné jsou slitiny (blends) z PC a ABS, které představují zajímavou kombinaci vlastností

obou polymerů (tvarové stálosti za tepla, vrubové houževnatosti a odolnosti proti UV-záření). Prosazují se jako vnitřní součásti automobilů (65 % spotřeby), v elektrotechnice (15 %) a u kancelářských zařízení (10 %). [8]



*Obr. 14 Konstrukční díl z PC*

#### **1.4.6 Polyethylen (PE)**

Polyethylen s různými vlastnostmi se dnes ve světě vyrábí řadou výrobních technologií. Vzhledem k tomu, že rozdíly ve struktuře se nejvíce projevují v hustotě PE, dělí se obvykle na polyethylen o nízké hustotě (low density polyethylene, LDPE), který má při 23 °C hustotu pod 0,94 g/cm<sup>3</sup>, zpravidla 0,915 až 0,925 g/cm<sup>3</sup>, a polyethylen o vysoké hustotě (high density polyethylene, HDPE) o hustotě při 23 °C nad 0,94 g/cm<sup>3</sup>, zpravidla 0,950 až 0,960 g/cm<sup>3</sup>. Polyethylen o hustotě 0,925 až 0,940 g/cm<sup>3</sup> bývá často označován jako polyethylen o střední hustotě (medium density polyethylene, MDPE). Malý, ale rychle vzrůstající objem výroby je zaznamenán u lineárního polyethylenu o nízké hustotě (LLDPE s hustotou při 23 °C 0,915 až 0,930 g/cm<sup>3</sup>). [8]

### **1.5 Reaktoplasty**

Reaktoplasty (dříve termosety) jsou druhy polymerních materiálů, které při chladnutí síťují a vytvářejí tak prostorovou trojrozměrnou síť. Po dokončení síťování již není další tvářením polymeru možné. Působením tepelné energie tedy nelze reaktoplast roztavit. Děj, při kterém dochází k síťování, se nazývá vytvrzování.



## 1.6 Elastomery

Elastomery jsou vysoce elastickými polymery, které lze za běžných podmínek, i při zatěžování malou silou, značně deformovat bez porušení. Tyto deformace mají převážně vratný charakter. Nejpočetnější podmnožinu elastomerů tvoří kaučuky, z nichž se vyrábí pryž. [4]

## 1.7 Přísady

Pod pojmem přísady si lze představit látky, které vstupují do polymerů za jistým účelem. Důvodem většinou bývají požadavky na zpracovatelnost materiálu, jeho mechanické či optické vlastnosti. Dle účinku je lze tedy rozdělit na skupinu přísad, která modifikuje fyzikální vlastnosti a na skupinu přísad, které mají ochranný účinek vůči degradačním procesům materiálu. [10]

### 1.7.1 Přísady modifikující fyzikální vlastnosti plastů

Změkčovadla – jsou málo těkavé, kapalné nebo tuhé organické látky, které vytvářejí s organickými polymery roztoky a způsobují, že vzniklý měkčený systém je ohebný a termoplastický při nižších teplotách. Změkčovadel se používá pro dosti omezený počet polymerů, především pro polymery, které jsou v normální teplotě ve sklovitém stavu. [10]

Maziva – používají se při různých způsobech zpracování mnoha polymerů (PVC, PS, PTFE atd.). Jsou-li užívána se znalostmi v tomto směru, usnadňují často nejen zpracovatelský proces, ale navíc zlepšují mnohé vlastnosti výrobků, jako např. povrchový vzhled, tepelnou a světelnou stabilitu, odolnost proti korozi atd. Jako maziva se používají kyselina stearová a její soli, přírodní vosky, minerální a rostlinné oleje, živočišné tuky apod. V principu je však účinek maziv založen na tom, že maziva zabraňují lepení zpracovávané směsi na kovové součásti zpracovatelského zařízení vytvořením mazivové mezivrstvy a zmenšují vnitřní tření ve hmotě, čím také zabraňují jejímu přehřátí účinkem frikčního tepla. Snížení adheze polymeru ke kovovým povrchům a vzrůst rychlosti toku hmoty dovolují zvyšovat výkonnost zařízení a usnadňují vyjímání materiálu z forem. [10]

Plniva, výztuže a vazebné prostředky – jsou to přísady, kterými se upravují vlastnosti materiálu (mechanické, povrchový vzhled, tokové vlastnosti taveniny atd.) nebo se snižuje cena výrobku. Je však nutné mít na zřeteli vhodnou volbu plniva a jeho množství. Přítomností

plniva se mění téměř všechny vlastnosti od hustoty, tvrdosti, pevnosti, zpracovatelnosti atd. až po finální vzhled výrobku. [10]

Ze skleněných plniv lze jmenovat např. skleněná vlákna, skleněné mikrokuličky nebo skleněné vločky. Dále pak jsou to plniva na bázi SiC, SiN, uhlíku a azbestu – tyto jsou ve formě vláken. Co se týká minerálních plniv, jedná se nejčastěji o živec, křemen, křemelina, Al, Zn, Pb. [10]

Pro vybarvování plastů se používají pigmenty, barviva a substráty. Pigmenty (práškové barvy) jsou barevné prášky nerozpustné ve hmotě. Dávají hmotě nebo nátěru barevný odstín a kryvost. Barviva, barevné organické látky, jsou v daném prostředí rozpustné a narušují transparentnost. [10]

### 1.7.2 Přísady mající ochranný účinek vůči degradačním procesům

Ochrana vstříkovaných výrobků před vnějšími vlivy je velmi důležitá. Není potřeba používat všech typů ochranných prostředků, je vhodné použít ten, který ochrání výrobek v prostředí, v němž bude používán. [10]

Antioxidanty – je možno je charakterizovat jako látky, které deaktivují účinek termooxidace. [10]

Světelné stabilizátory – jsou to látky, které chrání polymery před fotooxidačním odbouráváním. Tyto látky musí splňovat základní požadavky jako: stálost na světle, nesmějí zabarvovat polymer, musí být dobře mísitelné, zdravotně nezávadné a nesmějí se vypírat. [10]

Retardéry hoření lze definovat jako chemické sloučeniny, které mění způsob pyrolýzy polymerů nebo modifikují oxidační reakce při hoření tak, že hoření zpomalují nebo dokonce znemožňují. [10]

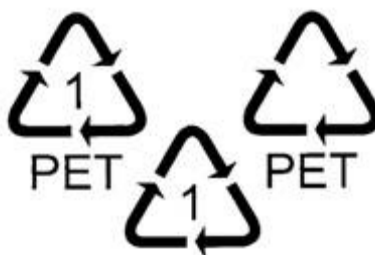
## 1.8 Recyklace

Obrovský rozmach výroby a použití polymerů má kromě velkého významu pro rozvoj národního hospodářství i své negativní vlivy. Jedním z nich je enormně se zvětšující objem odpadu polymerních materiálů. Odpad může v podstatě vznikat již při výrobě (zmetky, přetoky, odřezky, obrus apod.) – tzv. vratný odpad, nebo až o upotřebení výrobku – tzv. odpad sběrový. [3]

Výrobky určené k recyklaci bývají označeny číselným kódem dle Tab. 1., který bývá umístěn uprostřed tzv. recyklačního trojúhelníku značící opětovné použití (obr. 15).

Tab. 1 Číselné označení polymerů

Název polymeru	Značka	Číselný kód
Polyethylentereftalát	PET	01
Vysokohustotní polyetylen	HDPE	02
Polyvinylchlorid	PVC	03
Nízkohustotní polyetylen	LDPE	04
Polypropylen	PP	05
Polystyren	PS	06
Polybutylentereftalát	PBT	07
Polykarbonát	PC	08



Obr. 15 Recyklační trojúhelník PET

Použité plasty viditelně znečišťují mořské dno a akumulují se na skládkách pevného domovního odpadu, v němž obsah plastů není zanedbatelný. Proto se recyklace plastů přímou přeměnou odpadu na použitelné výrobky a využití jeho chemického nebo alespoň energetického obsahu, se dnes jeví jako nezbytné technologické řešení. Navzájem zcela odlišné postupy recyklace mají společná úskalí: sběr a separaci odpadu, cenu recyklace a nalezení trhu pro recyklací získané produkty. To je možná hlavním důvodem, proč mezi recyklovatelnými materiály z komunálního odpadu činí plasty pouze 1 %, zatímco papír asi 15 %, hliník 32 % a sklo 12 %. [8]

## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

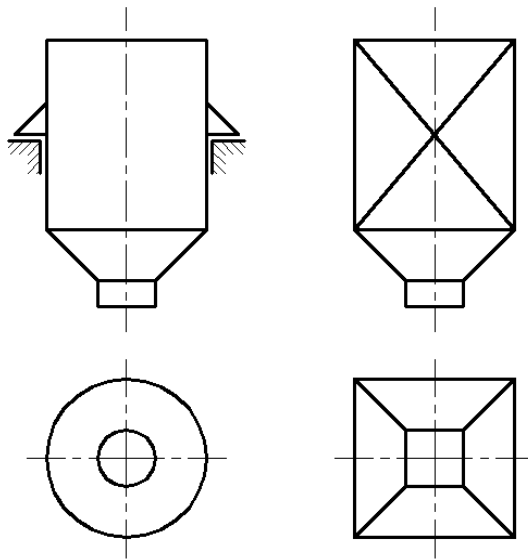
Vstřikování je jeden z nejpoužívanějších výrobních procesů pro výrobu plastových dílů. Tento výrobní postup je založen na teplotní přeměně termoplastů a termosetů do výrobků s konečným použitím: od automobilismu po elektroniku, medicíny po sport a rekreaci, staveb až po spotřební výrobky. Vstřikování je tedy relativně nová metoda výroby součástí. První vstřikovací stroje byly vyráběny a dostupné již v 30. letech, zatímco jiné výrobní postupy byly známy před více než 100 lety.

Podle Society of Plastics Engineers (SPE), je vstřikování definováno jako metoda výroby součástí z teplotou tavitelných polymerních materiálů. Toho je dosaženo pomocí vstřikovacího stroje. Tvar výrobku je dán dutinou v části zvané forma. Vstřikovací stroj má dvě základní části, vstřikovací jednotku a uzavírací jednotku. Vstřikovací jednotka slouží k tavení polymerního materiálu a jeho dopravě rozvodnými kanály do dutiny formy. Účelem uzavírací jednotky je držet formu v uzavřeném stavu, zatímco je pod tlakem vstřikován a dopravován polymerní materiál do dutiny určitého tvaru. Následně po ochlazení otvírá a vyhazuje výrobek z formy. [11]

### 2.1 Skladování a doprava materiálu

Skladování a doprava materiálu patří k základním předpokladům nepřetržitého provozu u automatických linek při vstřikování. Skladování sypkých materiálů lze provádět v obalech (pytle, bedny apod.) nebo také hromadně např. v silech.

Hromadné skladování lze realizovat na volných skládkách (tzv. extenzivní způsob skladování) nebo v zásobnících (intenzivní způsob skladování). Při skladování v zásobnících a silech se dosahuje podstatně vyššího využití skladovací ploch. Je velmi výhodné, že zejména pro zásobování technologických linek, kdy materiál musí být k dispozici podle okamžité potřeby nebo technologického předpisu. Zásobník musí být konstruován tak, aby splňoval všechny funkce, kterou jsou na skladování a dopravy sypkých materiálů kladeny, zejména možnost úplného a snadného vyprázdnění a maximální využití ložné prostoru. Příklady tvarů zásobníků jsou uvedeny na obr. 16. [12] Závěrem lze dodat, že je vhodnější volit konstrukce nekruhových průřezů a to zejména z důvodu lepšího vyplnění místa v dílně a tím také možnost skladování většího množství materiálu.



Obr. 16 Tvary zásobníků [12]

Sypké materiály je třeba do zásobníků a ze zásobníků k dalšímu zpracování dopravovat. K tomu slouží řada dopravních zařízení, z nichž mnohá umožňují při vhodném uspořádání i dávkování. [12]

Z typů nejčastěji používaných lze jmenovat dopravník šnekový, pásový, korečkový, vibrační či pneumatický.

## 2.2 Příprava materiálu

Před zpracováním plastů vstřikování se materiál upravuje v souladu s technologickým postupem, určeným na konkrétní výrobek. Obvykle to bývá sušení granulátu, barvení granulátu, míchání se zbytky rozdrceného odpadu, míchání s nadouvadlem apod.

Všechny uvedené úkony upravují termoplast do takového stavu, aby jeho zpracování bylo bez potíží a výsledná aplikace vyhověla požadavkům na výrobek. [9]

### 2.2.1 Sušení termoplastů

Většina termoplastických materiálů absorbuje vlhkost ze vzduchu. To i při běžných podmínkách může vyvolat degradaci polymeru a tím i snížení kvality některých parametrů a také zhoršení kvality povrchu. Výstřiky jsou pak bez povrchového lesku, v místě vtoku mají povrchové vady a špatně se vyjímají z formy. Proto je nutné materiály předsoušet. [9]

Granulované plasty se dodávají buď vysušené ve vzduchotěsných obalech, nebo nevysušené v papírových nebo plastových pytlích. Vysušené se obvykle zpracovávají hned, ale nevysušené je třeba vysušit. Některé plasty se nemusí předsoušet.

Aby granulát nezvlhl, skladuje se před zpracováním v suchých skladech. V zimním období při převážení ze skladu do dílny se ponechá materiál aklimatizovat asi po 24 hodin při teplotě dílny. Teprve potom se pytle otevírají a tím se zamezí orosení granulátu.

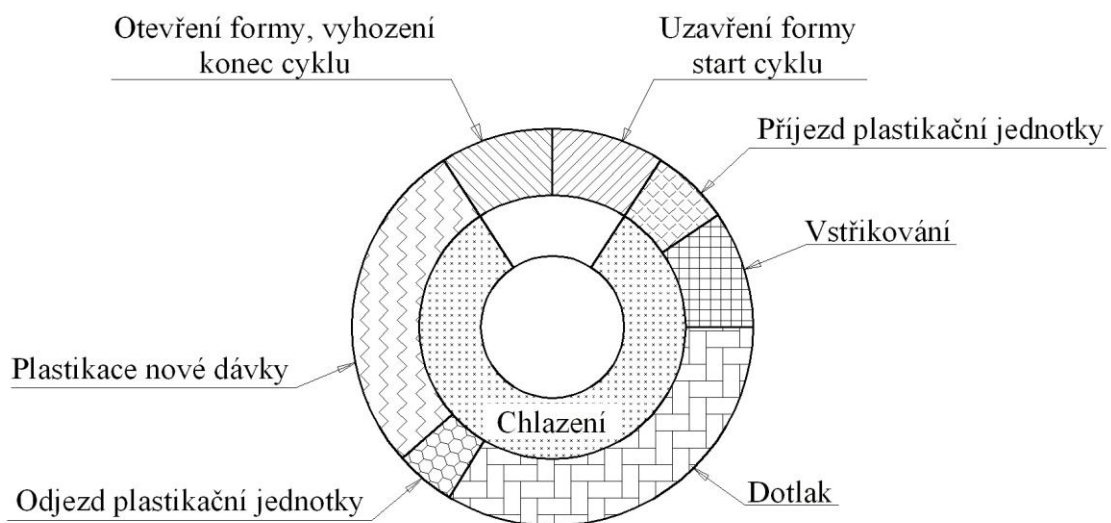
K sušení se používají komorové pece s přirozeně cirkulujícím vzduchem, kde vrstva granulátu je na paletách. Výška vrstvy nesmí přesáhnout 4 cm, u PC jen 2,5 cm. Vysokokapacitní sušárny s nucenou cirkulací ohřátého vzduchu jsou vhodné pro nepřetržitý provoz. [9]

U vstřikovacích strojů s nevytápěnou násypkou je nutné vysušený granulát do 30 minut zpracovat. Obsah vlhkosti v něm se zjistí jednoduchou zkouškou. Ta spočívá v tom, že se mezi skleněné destičky ohřáté na teplotu zpracování plasty vloží ca 4 vysušené granule. [9]

### 2.3 Průběh vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus začíná tehdy, je-li uzavřená forma. Následuje vstříknutí polymeru do dutiny formy. Když je dutina formy naplněná, dotlak kompenzuje materiálové smrštění. V dalším kroku se šnek otáčí a připravuje před sebou materiál pro další cyklus. Poté, co je výrobek dostatečně ochlazen, se forma otevře a díl je vyhozen. [7]

V některých případech není nutné používat dotlaku. To se týká zejména materiálů, které obsahují nadouvadla. Ty po vstříknutí vytvoří v dutině formy obdobný efekt jako je dotlak.

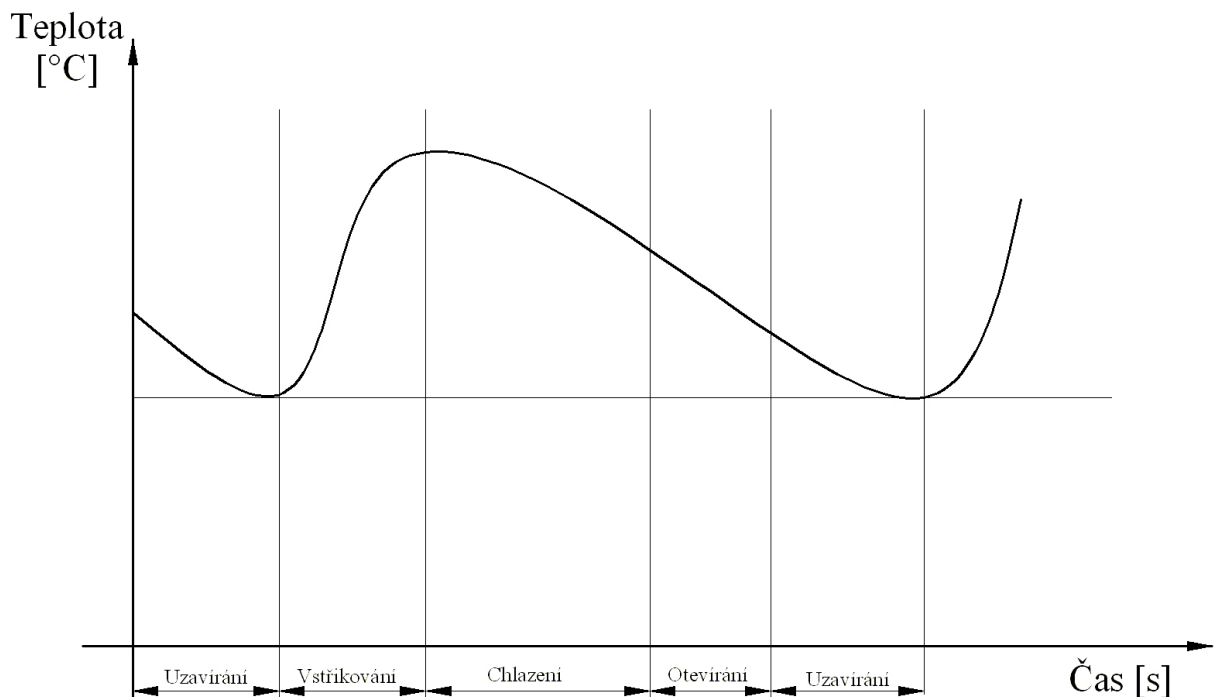


Obr. 17 Vstřikovací cyklus [7]

Obr. 17 představuje sled činností během vstřikovacího cyklu. Je zřejmé, že v cyklu je dominantní doba chlazení výrobku v dutině formy. Celkový čas cyklu se počítá dle vzorce (1), kde uzavírací a vyhazovací čas,  $t_{uzavírání}$  a  $t_{vyhazování}$ , může trvat od zlomku sekundy až po několik sekund, v závislosti na velikosti formy a stroje. [7]

$$t_{\text{cyklu}} = t_{\text{uzavírání}} + t_{\text{chlazení}} + t_{\text{vyhazování}} \quad (1)$$

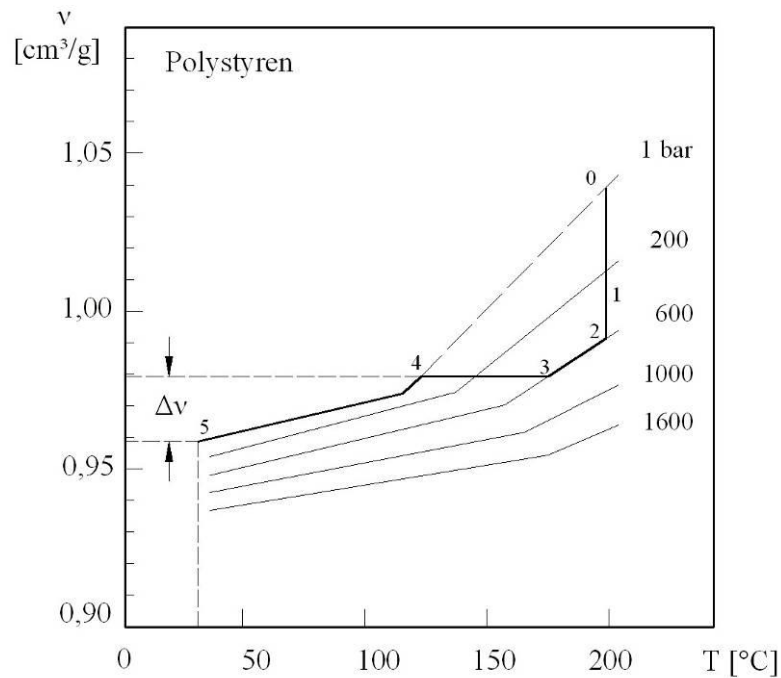
Obdobným způsobem lze popsat i cyklus formy na obr. 18 v závislosti teploty a času. Cyklus začíná uzavíráním formy, kdy otevřená forma ještě chladne. Po vstříknutí polymeru její teplota roste do té doby, dokud není vstřikování ukončeno. Poté následuje chlazení a teplota formy opět klesá až do jejího otevření, kdy se dalším uzavřením cyklus dále opakuje.



Obr. 18 Cyklus formy

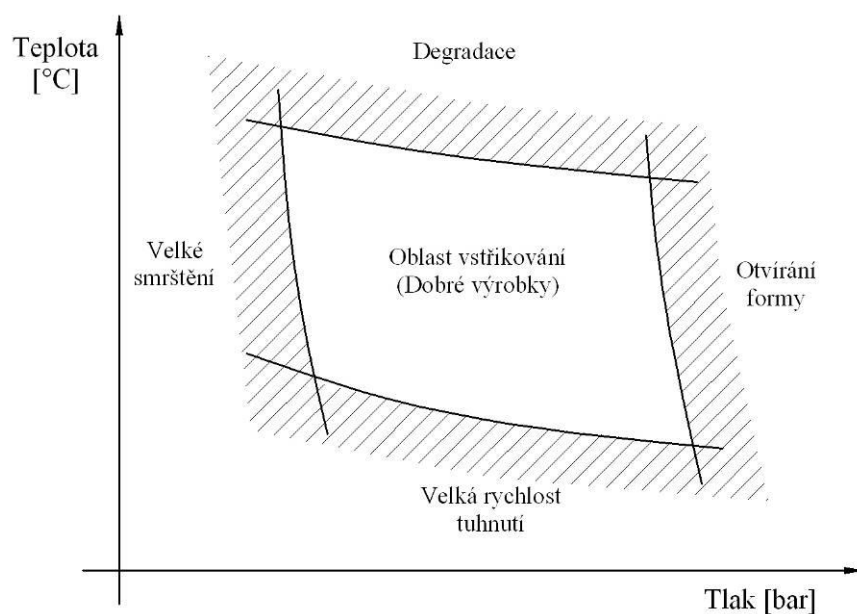
Použitím teplotní historie a historie průběhu tlaku v dutině formy lze proces následně popsat použitím p-v-T diagramu dle obr. 19. Diagram ukazuje čtyři základní procesy: izotermické vstřikování (0-1), s tlakem rostoucím až do dotlaku (1-2), izobarické chlazení během dotlaku (2-3), izochorické chlazení po zamrznutí vtoku s tlakem klesajícím na atmosférický (3-4) a izobarické chlazení na pokojovou teplotu (4-5).

Bod na p-v-T diagramu, kde začíná isobarické chlazení (4) řídí celkové smrštění  $\Delta v$ . Tento bod ovlivňují dvě základní procesní podmínky – teplota taveniny a hodnoty dotlaku. [7]



Obr. 19 Průběh cyklu v  $p$ - $v$ - $T$  diagramu

Samozřejmě, existuje nekonečně mnoho kombinací nastavení procesních podmínek s dobrými výrobky – od minimálních a maximálních teplot a tlaků. Obr. 20 ukazuje tzv. vstřikovací diagram se všemi limitujícími podmínkami. Nízká teplota taveniny vede k velké rychlosti tuhnutí a nevyplnění dutiny formy, vysoká teplota naopak způsobuje degradaci materiálu. Nízký tlak vede k nadměrnému smrštění a špatným rozměrům výrobku, zatímco vysoký způsobuje přetoky, které jsou zapříčiněny otvíráním formy. [7]



Obr. 20 Vstřikovací diagram



## 2.4 Vady výrobků

Vady výrobků jsou jevem, který nastane tehdy, kdy jedna nebo více procesních podmínek byla změněna. Tento prioritní problém musí být co nejdříve odstraněn. Nevýhodou je, že vada není fixována permanentně. Často nastává znovu za několik hodin, dnů nebo i týdnů. Proto je nutné při zpracování, volbě materiálu stále řídit, kontrolovat proces a jakost výrobků. [7]

Vzduchové bubliny – mohou být způsobeny uzavřeným vzduchem nebo vakuem. Při řešení tohoto problému je nutné zjistit, o který typ se jedná. Slouží k tomu test, který se provádí na čerstvě vstříknutém dílu. Místo se nahřeje např. zapalovačem, a jak materiál měkne, bublina buď expanduje, nebo se zmenší. V případě expanze se bude jednat o uzavřený plyn, pokud se zmenší, jedná se o bublinu způsobenou vakuem tzv. lunkr. [7]

Deformace – jedná se o jeden z nejčastějších problémů během procesu. Příčinou je většinou nedostatečná doba chlazení, příliš velký podkos, orientace plniv, špatné umístění vyhazovacích kolíků, špatná volba materiálu nebo také příliš vysoká teplota formy. [9]

Delaminace (štípání) – může být na povrchových plochách nebo lze pozorovat jednotlivé vrstvy pozorovat při zlomení dílu. Příčinou může být použití nesnášenlivých polymerů – znečištění stroje, příliš nízká teplota formy nebo nevhodná rychlost při vstřikování (nízká). [7], [9]

Křehkost dílce – bývá způsobena degradací materiálu nebo jeho špatným vysušením. [9]

Černé skvrny – uhlík nebo jiná kontaminace může způsobovat kosmetické závady, skvrna bývá velikosti granule. Může být způsobena také degradací. Další možností je špatné mísení barev [7] nebo příliš dlouhý prostoje stroje [9].

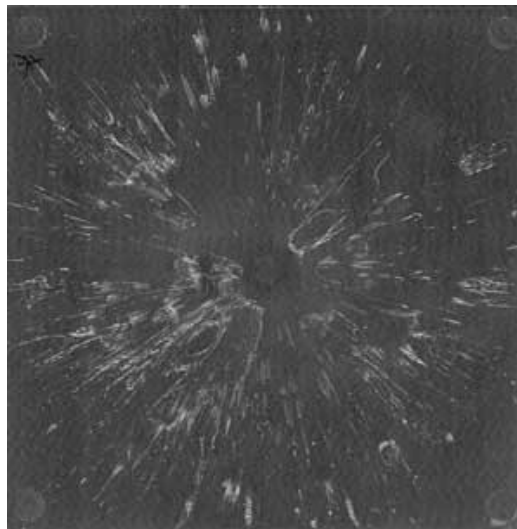
Plastické švy – jsou způsobeny příliš nízkou teplotou materiálu, nízkou rychlostí vstřikování, nízkou teplotou formy nebo poměrně značnou délkou toku. [9]

Vpadliny – příčinou může být nízký tlak při vstřikování, vysoká teplota formy, vysoká teplota vstřikovaného materiálu, nedostatečné odvzdušnění, příliš malý vtok nebo příliš velké délka vtoku (obr. 21). [9]



*Obr. 21 Vpadliny*

Stříbrné pruhy – jedná se o povrchovou vadu, která může být způsobena příliš vysokou teplotou taveniny, přehřátím třením u vtokového otvoru nebo ve stroji (obr. 22). Dále to mohou být i těkavé složky – způsobeno nedostatečným odvzdušňováním, nebo také může hrát roli vlhkost – je nutné materiál vysušit a odzkoušet. [9]



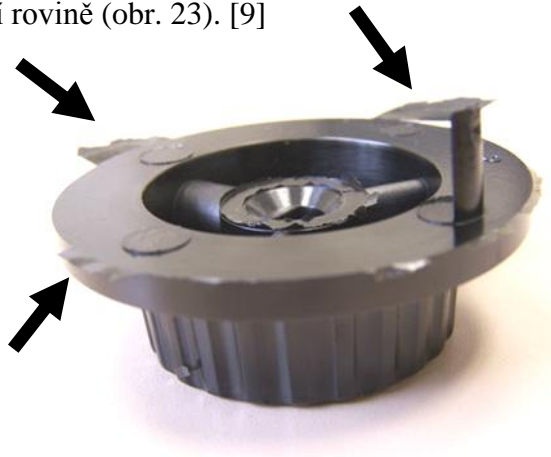
*Obr. 22 Stříbrné pruhy*

Spálená místa – jestliže je polymerní materiál vstřikován do dutiny formy, vzduch musí z této uniknout. Uzavřený vzduch v dutině umožňuje vznik tzv. Dieselova efektu, jakmile je stlačován horkou taveninou. Teplý vzduch se pak horkou taveninou stlačí a vznítí se. Proto musí být dovoleno vzduchu uniknout z dutiny vhodně umístěným otvorem. Při děláni analýzy plnění je důležité, kde analýza ukáže místa potencionálního vzniku uzavírání vzduchu. Tyto místa se nejčastěji vyskytují tam, kde tavenina dotéká naposled, ale může to být i izolovaná část dílce jako např. žebro, které může být zaplněno dříve. Řešením může být kontrola, zda není teplota taveniny příliš vysoká. [6], [9]

Dalším řešením může být odvzdušnění formy, aby nedošlo k jejímu poškození.

Viditelný paprsek taveniny – důvodem k výrobě dílů s touto vadou může být příliš nízká teplota zpracovávaného materiálu, nízká teplota formy, malé ústí vtoku, příliš vysoká rychlost vstřikování, špatné umístění vtoku nebo příliš dlouhá doba vtoku. [9]

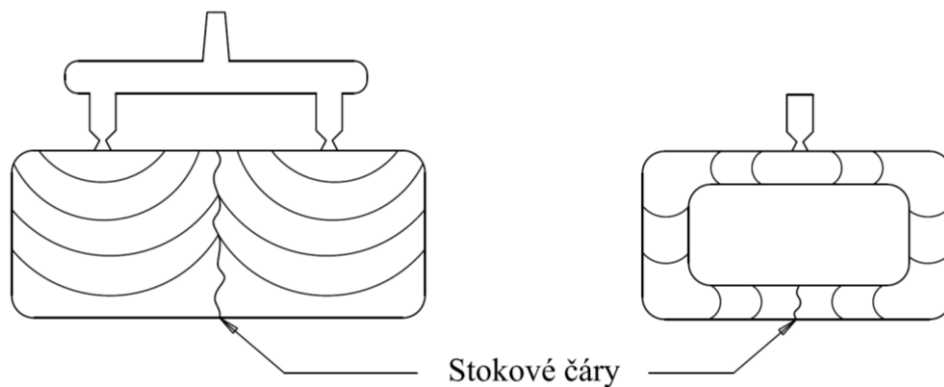
Přetok – příčin k výskytu této závady může být několik. Bývá to příliš vysoká teplota materiálu, příliš nízká uzavírací síla, velký tlak při vstřikování, špatné upnutí formy, znečištění povrchu formy v dělicí rovině (obr. 23). [9]



Obr. 23 Přetoky na výrobku

Vzhledové vady plastu – tento defekt způsobuje příliš rychlé vstřikování, příliš nízká teplota formy, studený materiál, malé ústí vtoku, nesprávné umístění vtoku nebo příliš ostrý úhel vtoku k dílci. [9]

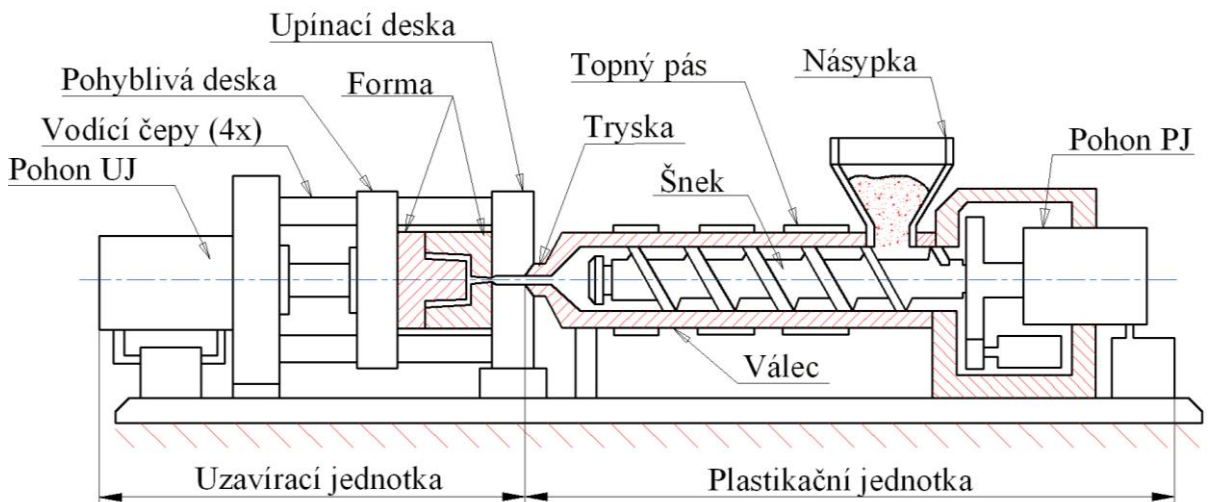
Stokové čáry – viditelný a někdy fyzikální důkaz stokových čar je příčinou setkání dvou čel taveniny (obr. 24). Při setkání těchto čel se obvykle mezi nimi uzavře vzduch. Ten má pak za následek také špatné mechanické vlastnosti. Řešením tohoto problému může být změna umístění vtoku nebo zvýšení teploty taveniny.



Obr. 24 Stokové čáry

### 3 VSTŘIKOVACÍ STROJE

Existuje mnoho druhů vstřikovacích strojů, všechny však vykonávají stejné základní funkce. Těmi jsou roztavení, plastikace polymerního materiálu, vstříknutí do dutiny formy, její držení v uzavřené poloze během dotlaku a chlazení vstříknutého materiálu. Dle toho lze usuzovat, že se vstřikovací stroj (obr. 25) bude skládat ze dvou částí. Plastikace a vstřikování jsou funkce plastikační jednotky, zatímco ovládání formy je úkolem jednotky uzavírací. Obě jednotky jsou usazeny na rámu běžného vstřikovacího stroje a jsou řízeny výkonnými a řídicími systémy. Pravidlem je, že vstřikovací jednotka bude v pravé části stroje, uzavírací v levé.



Obr. 25 Vstřikovací stroj

#### 3.1 Plastikací jednotka

Připraví a dopraví požadované množství roztaveného plastu s předepsanými technologickými parametry do formy. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu. Při malém vstřikovacím množství zase setrvává plast ve vstřikovací jednotce delší dobu a tím může nastat jeho degradace. To se dá ovlivnit rychlejšími cykly výroby. Maximální vstřikované množství nemá překročit 90 % kapacity jednotky, protože je ještě nutné rezervu při případném doplnění úbytku hmoty při chlazení (smrštění). Optimální množství je 80 %. [9]

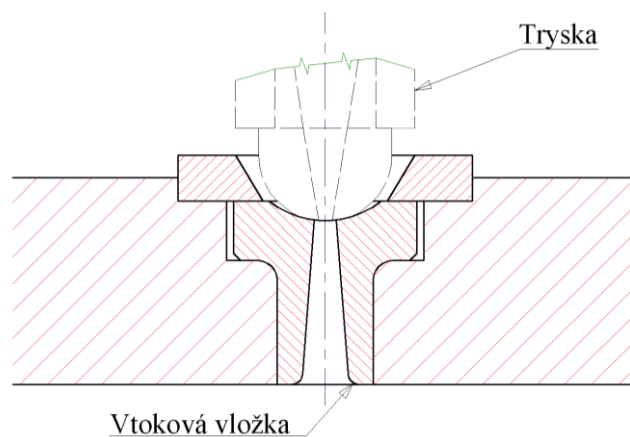
Plastikační jednotka pracuje tak, že do tavného válce je dopravován zpracováváný plast z násypky pohybem šneku. Plast je posouván šnekem s možnou změnou otáček přes vstup-

ní, přechodové a výstupní pásmo. Postupně se plastikuje, homogenizuje a hromadí před šnekem. Současně ho odtlačuje do zadní polohy. [9]

Existuje řada typů šneků, z nichž nejčastěji používané jsou např. konvenční či různé bariérové typy.

Topení topných pásů je nejčastěji rozděleno do tří pásem, (vstupní, střední a pásmo u trysky). Tryska má zvláštní samostatné topení. Část tepelné energie vznikne disipací v materiálu. [9]

Tavná komora je zakončena vyhřívanou tryskou, která spojuje vstřikovací jednotku s formou. Kulové zakončení trysky zajišťuje přesné dosednutí do sedla vtokové vložky formy stroje. Jejich sousost – větší průměr otvoru a menší poloměr trysky než je u sedla vtokové vložky jsou podmínkou správné funkce (obr. 26). [9]



Obr. 26 Souosost trysky a vtokové vložky [9]

Vstřikovací trysky mohou být otevřené nebo uzavíratelné. Otevřené se nejčastěji používají pro vstřikování taveniny s větší viskozitou. Uzavíratelné zamezují samovolnému vytékání materiálu při plastikaci. K otevření trysky dochází otevřením jehlového uzávěru při dosednutí trysky do sedla vtokové vložky. [9]

### 3.2 Uzavírací jednotka

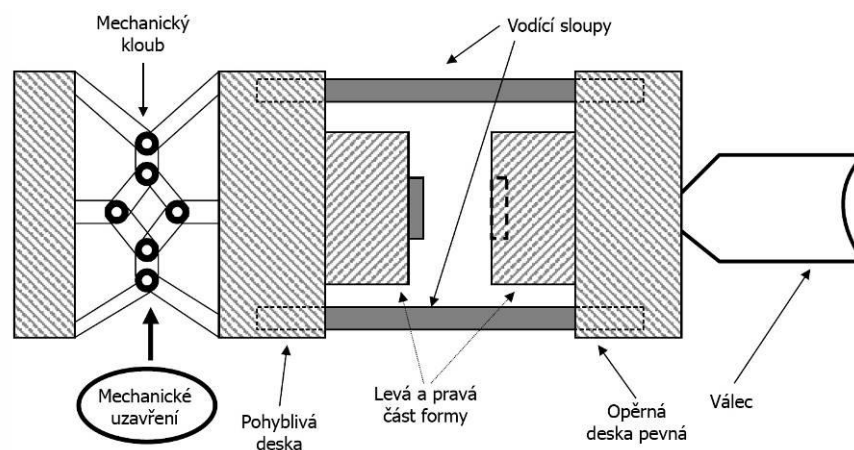
Je to druhá část vstřikovacího stroje, která je určená k tomu, aby zavírala formu, držela ji zavřenou během vstřikování a vyhodila hotový dílec z dutiny formy. Na uzavírací mechanismus bývá vázána také funkce vyhazovačů.

Hlavní částí uzavírací jednotky jsou:

- opěrná deska pevná,
- upínací deska,
- vodící sloupky,
- uzavírací mechanismus. [9]

### 3.2.1 Mechanický systém uzavírání

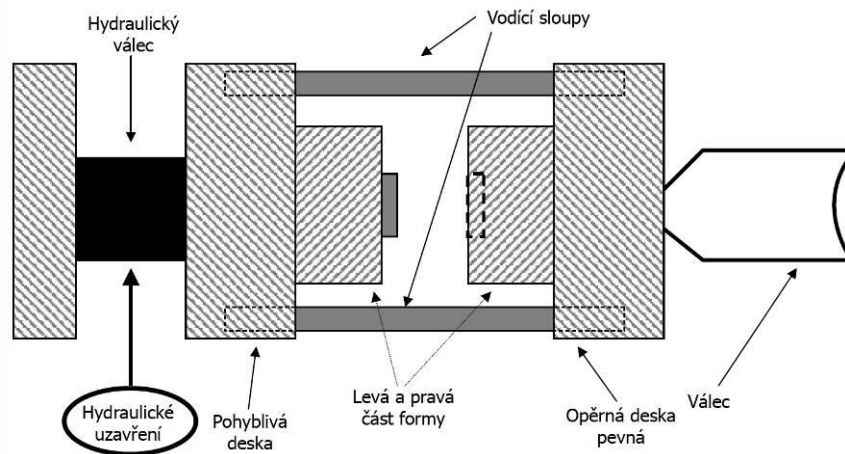
Mechanický kloubový mechanismus (obr. 27) představuje různá řešení při uzavírání formy. Akční člen pohybuje křížovým mechanismem vpřed a tím tlačí pohybující se část formy do uzavřené polohy. Na začátku pohybu je malá uzavírací síla a velká uzavírací rychlost, blízko uzavřené polohy je tomu právě naopak. Kloub tedy poskytuje velkou rychlost a sílu v bodech, kde je to žádoucí. Ovládání je provedeno buď pracovním válcem, nebo šroubovými mechanismy s elektromotory. Tyto mechanismy jsou vhodné u strojů s relativně nižším výkonem. [14]



Obr. 27 Mechanické kloubové uzavírání [11]

### 3.2.2 Hydraulický systém uzavírání

Hydraulický systém používá hydraulického oleje a tlaku k tomu, aby zavřel, držel a otevřel formu. Tento systém je složen z velkého hlavního válce, který je umístěn v zadní části stroje. Skládá se ze zásobníku oleje, který je při zavírání formy vháněn v oblasti za pístem. Na tento pak přenáší svou tlakovou energii a dojde k uzavření formy. Při otvírání formy je naopak z oblasti za pístem olej vypouštěn a tlakový olej je vháněn před píst. Řízení toku tlakového hydraulického oleje je dosaženo pomocí hydraulických ventilů a šoupátek. [11]



Obr. 28 Hydraulické uzavírání formy [11]

### 3.2.3 Elektrický systém uzavírání

Elektrický systém byl vyvinut koncem 80. let a je podobný mechanickému uzavírání. V tomto případě však není použit žádný hlavní pracovní válec pro pohyb kloubem. Elektrický systém používá pro pohyb vpřed a vzad kulového mechanismu. Elektrický systém je energeticky úspornější a poskytuje rychlou odezvu na změnu tlakového profilu. Byly zjištěny úspory energie v rozmezí 60 až 70 % proti hydraulickým systémům uzavírání. [11]

## 3.3 Forma

Vstřikovací formy se používají pro vstřikování termoplastů, reaktoplastů a elastomerů. Forma dává tavenině po ochlazení výsledný tvar a rozměry výrobku, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Její dobrá kvalita plní požadavky:

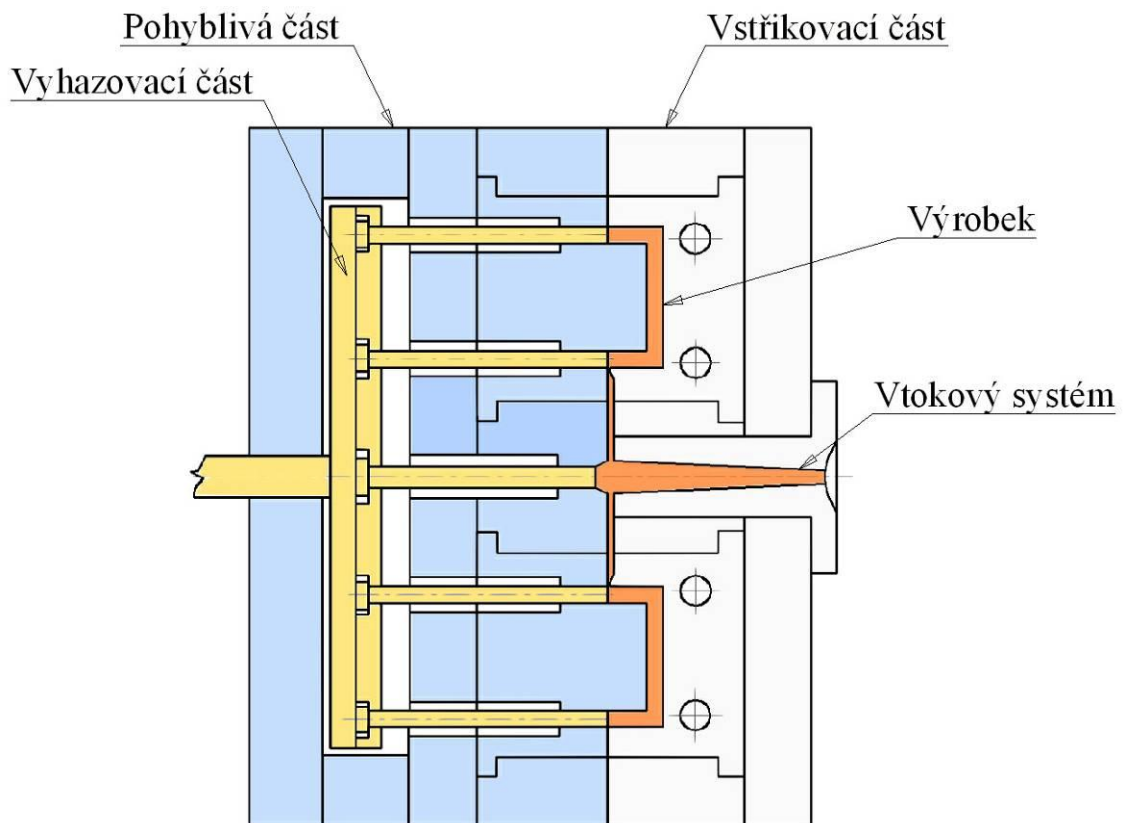
- technické, které zajišťují správnou funkci formy, která musí vyrobit požadovaný počet součástí v náležité kvalitě a přesnosti. Má také splňovat podmínku snadné manipulace i obsluhy při výrobě součástí,
- ekonomické, které se vyznačují nízkou pořizovací cenou, snadnou a rychlou výrobou dílů při vysoké produktivitě práce. Také vysokým využitím plastu,
- společenskoestetické, které umožňují vytvářet vhodné prostředí při bezpečné práci. Vyžadují dodržení všech bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě i provozu formy. [9]

Formu lze dle funkce jednotlivých částí rozdělit na tři díly a to vstřikovací část, pohyblivou a vyhazovací.

### 3.3.1 Vstřikovací část

Jedná se o pravou část formy, jenž je umístěna na nepohyblivé části stroje, ve které dochází ke vstříknutí taveniny do dutiny (obr. 29). Tato část je při vstřikování v kontaktu s plastikační jednotkou pomocí trysky. Taveninu je dále možno rozvádět studeným vtokem nebo vyhřívanou vtokovou soustavou.

Studený vtok je složen z vtokové vložky a rozvodných kanálů. Tyto rozvodné kanály však představují zbytek, který zatuhne a je nutné ho při vyhození většinou oddělit od výstřiku, což má za následek vyšší náklady. U termoplastů ho však lze opětovně po rozdrcení znovu použít.



Obr. 29 Vstřikovací forma

Vyhřívaná vtoková soustava představuje pokrokovější technologii, kdy se vstřikuje bez vtokových zbytků materiálů, takže šetří materiál. Toho je dosaženo pomocí speciálních trysek, které jsou vybaveny miniaturními topnými tělesy, které zajišťují udržování kon-



stantní teploty. Vyhřívané vtokové soustavy jsou navíc normalizované a je možné je kupovat od různých výrobců (HASCO). Další jejich výhodou je zrychlení výroby tj. zkrácení výrobního cyklu a taktéž snižování nákladů na dokončovací operace související s odstraňováním vtokového zbytku u studených vtoků. [13]

### 3.3.2 Pohyblivá, vyhazovací část

Obě části formy leží na levé straně vstřikovacího stroje (obr. 30). Forma je zde spojena se systémem otvírání, který vykonává pohyb, při kterém proběhne otevření a zavření dutiny formy. Forma je spojena s další částí tj. vyhazovacím systémem. Jeho funkcí je při otvírání vyhodit výrobek z dutiny. Toho je dosaženo pomocí vyhazovačů, jejichž tvar je volen dle tvaru vstřikovaného dílu či technologických požadavků. Mohou být např. kolíkové či trubkové. Za technologické požadavky lze považovat jejich umístění do stěn, kde nebudou vytvářeny nežádoucí deformace při vyhození. Z hlediska estetického se pak vyhazovače musí volit do ploch, kde nevadí otisk tvaru vyhazovače. Vyhazování je však možné také pomocí stíracích desek, které představují vhodné řešení při vyhazování rozměrnějších dílů dutých tvarů. Dalším řešením vyhazování tenkostěnných výrobků může být pneumatické vyhazování.

### 3.3.3 Temperace

Temperace slouží k udržování konstantního teplotního režimu formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy, nebo její části. [13]

Během vstřikování se do formy přivádí roztavený polymer, který se v její dutině ochlazuje na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Při každém se forma ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobit zase při stanovené teplotě. Proto je nutné toto přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést temperační soustavou formy. [13]

Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách formy. V takovém případě jsou tepelné ztráty formy větší, než její ohřátí taveninou a musí se naopak ohřívát. Také při zahájení výroby je třeba nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu, jinak by nebyla zaručena dostatečná kvalita výstřiku. [13]

Jako temperační prostředek se nejčastěji používá vody, která je použitelná až do 90 °C. Bohužel však při jejím použití dochází ke vzniku koroze a usazování kamene, což má za následek zmenšování průměru temperačních kanálů. Jako alternativní média lze dále použít olej, kterým je možno temperovat i nad 100 °C nebo různé glykoly.

### 3.3.4 Odvzdušnění

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k hlavním problémům při navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení hotového nástroje, kdy odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu výstřiku, nebo jeho nízkých mechanických vlastností. Odvzdušnění lze někdy zhotovit snadno, jindy je však jeho vyřešení obtížné.

Nejčastějším jevem při rychlém plnění je stlačení vzduchu, který se vlivem vysokého tlaku silně ohřívá a způsobuje tzv. Dieselův efekt (spálené místo na výstřiku). To obvykle není ze vzhledových nebo pevnostních důvodů přípustné. Proto odvzdušnění musí být účinné.

[13]

Unikání vzduchu je možné speciálními otvory o malých průměrech, dělicí rovinou nebo vůlí mezi pohyblivými díly formy.

## 4 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Ze zadání diplomové práce vyplynuly následující úkoly:

- 1) Vypracování literární studie na dané téma s popisem technologie, používaných materiálů a strojů.
- 2) Provedení analýz pomocí CAE software Moldflow Plastic Insight 6.2 s nastavením procesních podmínek.
- 3) Optimalizace vstřikovacích procesů. Optimalizace bude probíhat v různých módech – ruční, poloautomatický, automatický a nahráním výsledků z CAE softwaru.
- 4) Vyhodnocení výsledků – zhotovení tabulky, která bude sloužit jako technologický předpis pro nastavení procesních podmínek pro opětovné vstřikování daného materiálu do téže formy.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 MOLDFLOW PLASTIC XPERT

Moldflow Plastic Xpert (MPX) je softwarové a hardwarové řešení, které přes ovládací rozhraní řídí a kontroluje činnost vstřikovacího stroje. V systému MPX lze spojit činnosti jako nastavení procesu, optimalizaci a výrobu při nastavení vhodných parametrů stroje. Tento software je navržen speciálně pro dílenské pracoviště a optimalizaci za současného použití dotykového displeje počítače.

Proti jiným systémům dále MPX umožňuje komunikaci s pokročilými analyzačními programy jako je Moldflow Plastic Insight (MPI) nebo Moldflow Plastic Adviser (MPA). MPA je určen na návrh výrobku a jeho vyrobiteľnost, zatímco MPI se orientuje na proces vstřikování výrobků a poskytuje předběžné výsledky analýz dějů probíhajících ve formě. [15], [16]

MPX je samostatný program, který obsahuje tři volitelné podprogramy:

- Nastavení procesu (Process setup),
- Optimalizace procesu (Process optimization),
- Řízení procesu (Process control). [15]

### 5.1 Nastavení procesu

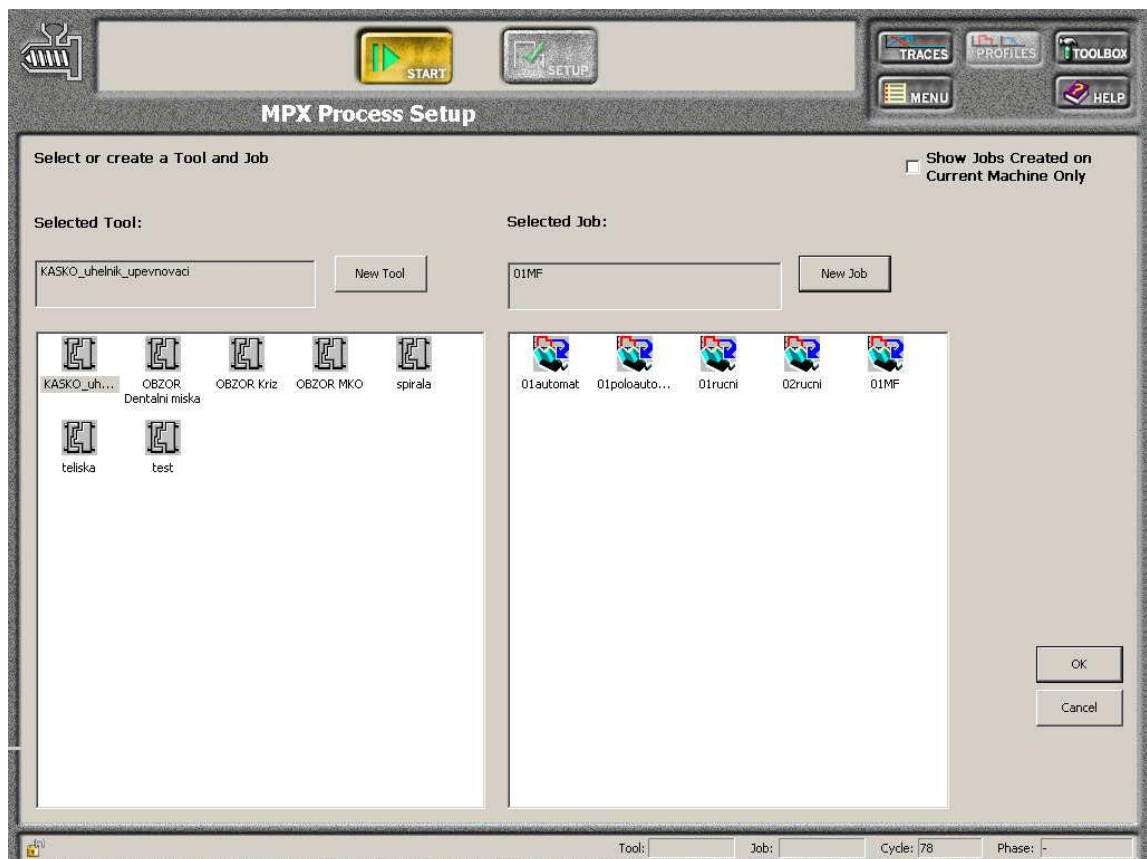
Nastavení procesu vypočítává optimální procesní podmínky pro vstřikovací stroj. MPX používá počáteční rychlostní a tlakové profily k nalezení vhodných podmínek pro výrobu dobrých dílů.

Úvodní okno nastavení procesu (obr. 30) obsahuje tři hlavní části: nástrojovou lištu, pracovní prostor a stavovou lištu. V tomto okně je nutné vytvořit nový nástroj (New Tool) pro formu, na které se bude pracovat a pro ni pak vytvořit novou práci (New Job). Pokud je již forma vytvořená, pouze se zvolí a v pravé části okna se vybere typ práce, na které se bude pokračovat. [15]

Následuje změna dialogového okna (obr. 31), ve kterém je zobrazen seznam možností, jak lze dále pokračovat při nastavování procesu. Tyto volby jsou:

- průvodce nastavením – vypočítá počáteční profily z vložených procesních parametrů buď formy a nebo stroje,

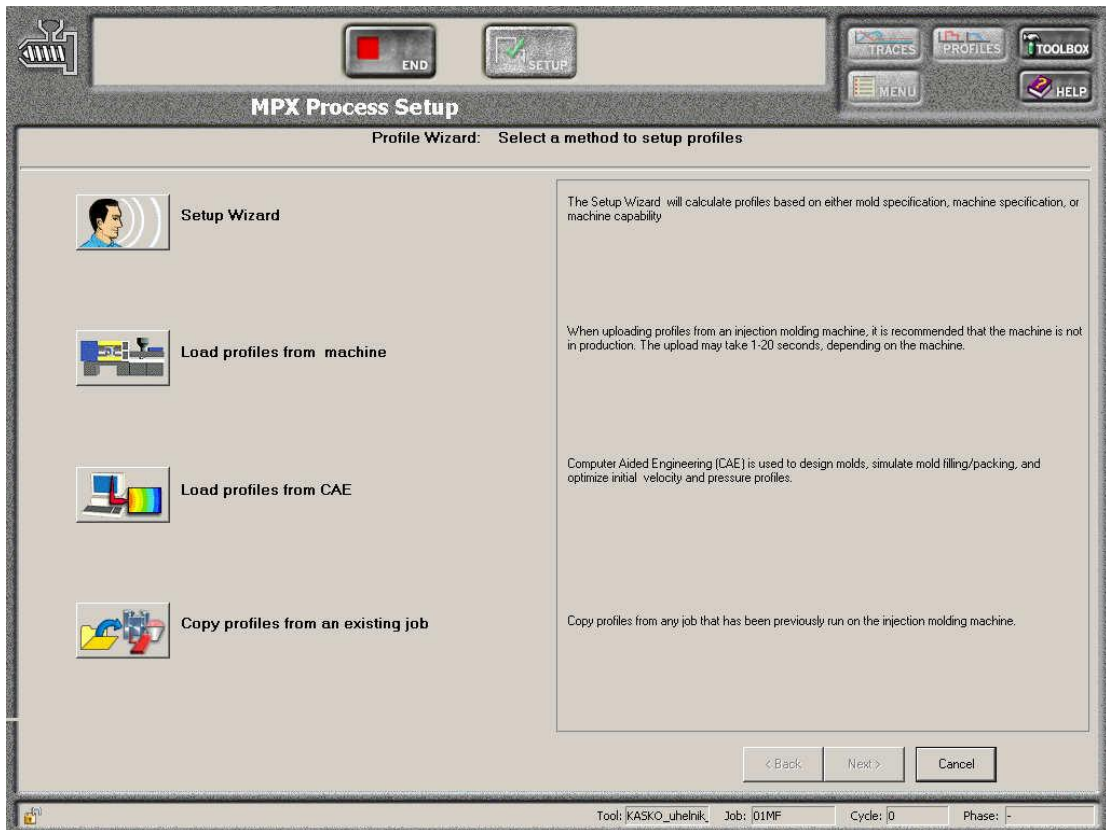
- nahrání profilů ze stroje – nahraje počáteční profily přímo ze vstřikovacího stroje,
- nahrání profilů z CAE – nahraje počáteční profily z programu CAE – v tomto případě ze simulačního programu MPA nebo MPI,
- zkopírování profilů z provedeného nastavení – zkopíruje profily z nastavení, které už bylo na vstřikovacím stroji dříve provedeno. [15], [16]



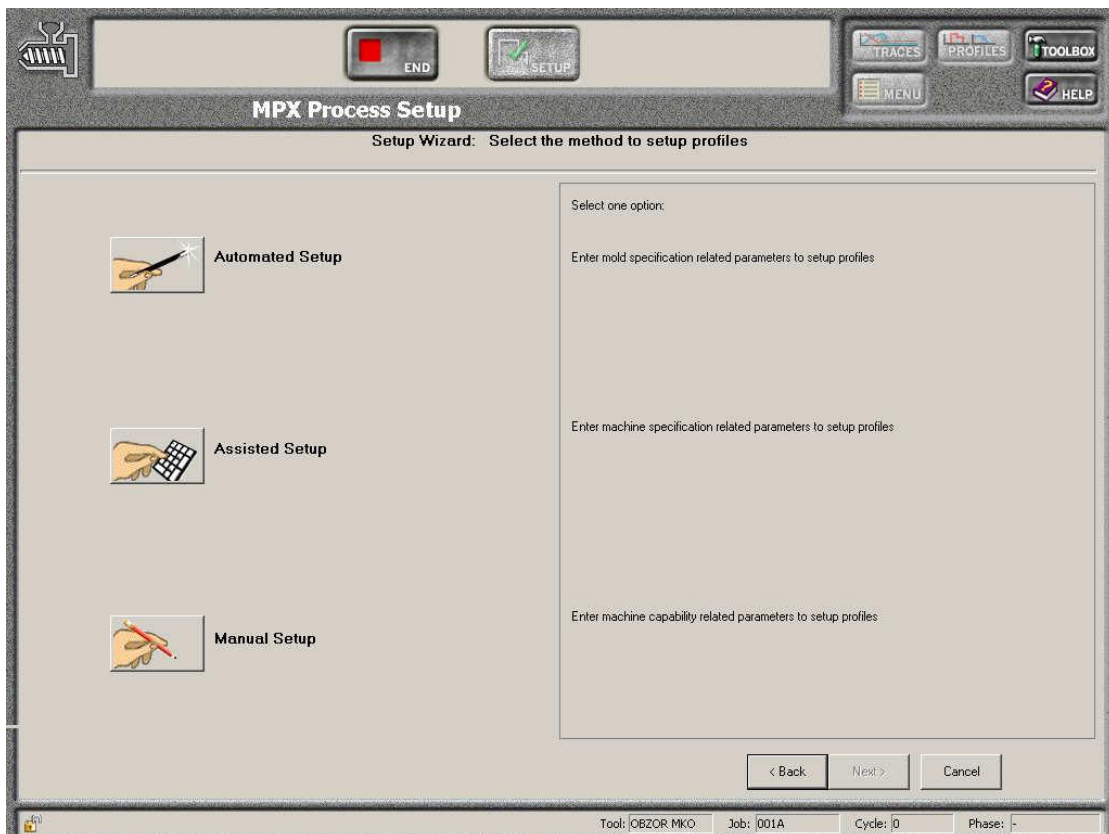
Obr. 30 Volba nástroje a typu práce [15], [16]

U průvodce nastavením je dále možné zvolit možnosti (obr. 32):

- automatické – parametry jsou odvozeny dle specifikace formy,
- poloautomatické – počáteční parametry jsou odvozeny ze specifikace vstřikovacího stroje,
- ruční – počáteční parametry jsou nastaveny podle možností vstřikovacího stroje. [15], [16]

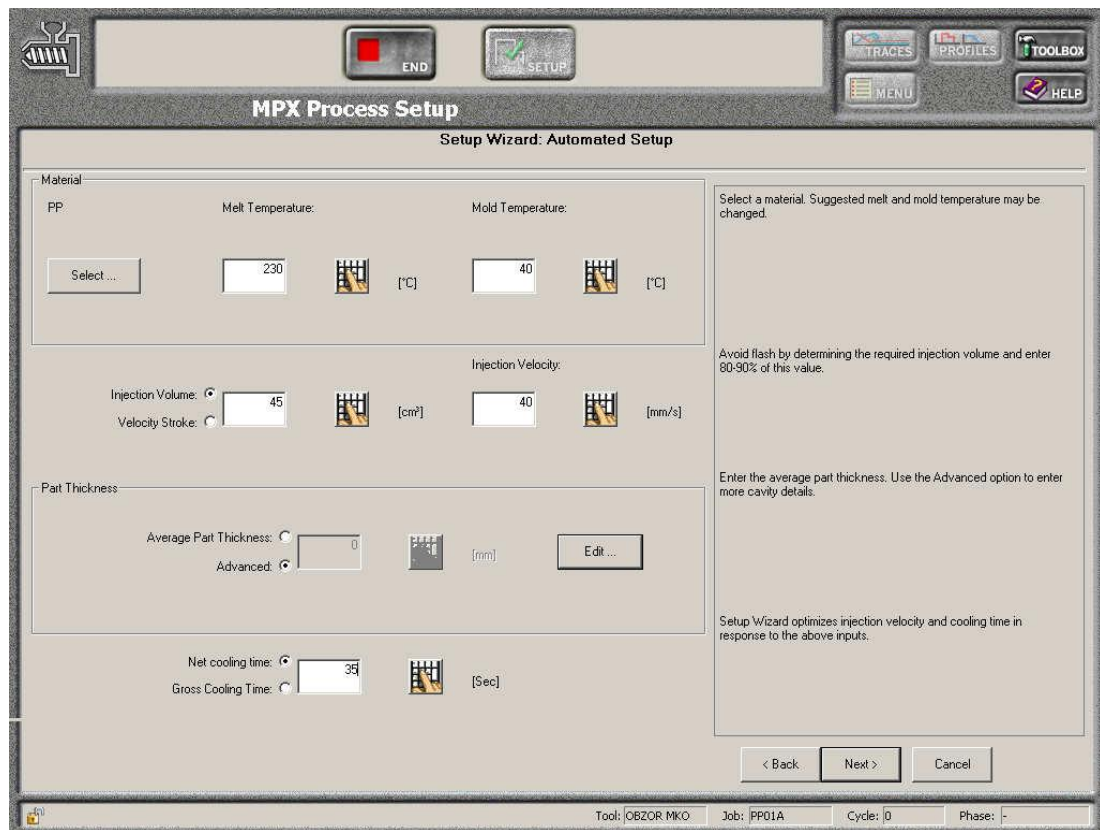


Obr. 31 Způsoby nastavení procesu v MPX



Obr. 32 Možnosti volby průvodce nastavením MPX

Nezávisle na tom, která volba je v průvodci vybrána, je dále nutné nastavit počáteční parametry vstřikovacího procesu (obr. 33). Těmi jsou např. použitý materiál, teplota formy, taveniny, vstřikovaný objem, vstřikovací rychlost, čas chlazení atd. Na základě těchto hodnot pak software MPX navrhne počáteční profily a systematický postup nastavení procesu. Další volby už se liší dle zvoleného postupu. [15]



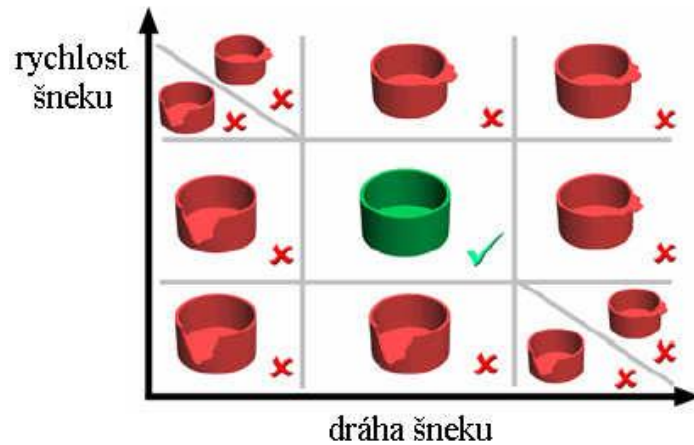
Obr. 33 Základní nastavení podmínek procesu [15], [16]

### 5.1.1 Optimalizace rychlostního profilu

MPX optimalizuje rychlostní profil a to tak, aby byla nalezena oblast, ve které může být vyráběn dobrý výrobek. Obr. 34 ukazuje, jak může změna rychlosti posuvu šneku a jeho dráhy ovlivnit kvalitu výrobku. [15], [16]

Pokud má rychlostní profil příliš vysokou vstřikovací rychlost šneku nebo je jeho vstřikovací dráha příliš dlouhá, jsou na výrobku obvykle přetoky. Naproti tomu, je-li vstřikovací rychlost šneku příliš malá nebo je jeho dráha krátká, budou na výrobku nedotečená místa. Kombinace těchto problémů může vést k výrobkům s nedotečenými místy a přetoky zároveň. Pro správně navržený výrobek jsou hodnoty rychlosti a dráhy šneku v centrální části grafu, kde je možno produkovat dobré výrobky. [15], [16]





Obr. 34 Kvalita výrobku závislá na rychlosti  
a dráze šneku

MPX nastavení procesu optimalizuje rychlostní profil třemi kroky:

- rychlost a dráha šneku,
- nastavení rychlostního profilu,
- eliminace vad spojených s rychlostí vstřikování. [15]

### Rychlost a dráha šneku

Tento krok zahrnuje postup pro ochranu formy proti přeplnění, optimalizaci jejího plnění, optimalizaci rychlosti a určení kritické dráhy šneku. To předpokládá, že dutina formy může být zaplněna vygenerovaným rychlostním profilem. Pravidla tohoto kroku vedou k přiblížení se podmínkám, které produkují dobrý výstřik, jestliže byl vložen alespoň slabý odhad rychlosti nebo dráhy šneku. [15], [16]

Kritické plnění při vstřikování je nastaveno tak, aby bylo zaručeno, že se během fáze vstřikování neobjeví žádný dotlak. Kritické plnění je bod, pokud je dutina formy pouze plněna.

Počáteční rychlostní profil je určen z:

- odhadu vstřikovací dráhy šneku,
- rychlosti, většinou 50 % maximální vstřikovací rychlosti stroje.

Dráha naplastikování dávky taveniny je přibližně nastavena jako 1,1 násobek dráhy šneku při vstřikování. [15], [16]

### Nastavení rychlostního profilu

První krok odhaduje vztah mezi rychlostí vstřikování a průměrnou odlišností tlakového profilu taveniny v trysce. Tlak taveniny v trysce je odvozen z hydraulického tlaku při vstřikování násobeného šnekovým zvětšujícím koeficientem. Rychlost vstřikování je měněna z předešlých hodnot předdefinovanými procenty, např.  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ . [15], [16]

### Eliminace vad spojených s rychlostí vstřikování

Základním předpokladem je odezva uživatele, který MPX informuje o kvalitě vystříknutého výrobku. Tento krok využívá postup eliminace vad spojených s rychlostním profilem a zahrnuje odstranění jakéhokoliv defektu z rychlostní fáze vstřikování. Hlavním cílem je změna rychlostního profilu tak, aby bylo dosaženo výrobku, na kterém nebude vyskytovat žádná vada způsobená špatným rychlostním profilem. [15], [16]

Možné vady, vyskytující se na výrobku jsou zachyceny na obr. 35.



Obr. 35 Možné závady na výrobku

Vady zapříčiněné nevhodným rychlostním profilem:

- nedotečené místo (Under-filled),
- přetok (Over-filled),
- studený spoj (Weld Line),

- spálené místo (Burn Mark),
- zavzdušněné místo (Vent Mark),
- zdrženiny (Hesitation Marks),
- uzavřený vzduch (Entrapped Air),
- tryskový tok (Jetting),
- odlupování vrstev (Delamination),
- lesklý povrch (Gloss Marks),
- černé / hnědé pruhy (Black / Brown Streak Marks),
- stříbrné / bílé pruhy (Silver / White Streak Marks),
- barevné pruhy (Color Streak Marks),
- pruhy skleněných vláken (Glass Fiber Streak Marks),
- vtokové spálení (Gate Blush),
- nerovný povrch (Splay),
- plochost (Flatness),
- hlučný nástroj (Tooling noise). [15]

### 5.1.2 Postupy používané při optimalizaci rychlostní fáze

#### *Optimalizace plnění formy (Mold Filling Optimization)*

Tento postup se snaží najít takové hodnoty rychlosti a dráhy šneku, při kterých budou produkovány dobré výrobky. Při velké rychlosti nebo dlouhé dráze šneku dochází k přetokům, naopak při nízkých hodnotách k nedotečeným místům. [15], [16]

Po vyhození výstřiku z formy je zde možnost vybrat, zda je díl nedotečený (Under-Filled), s přetoky (Over-Filled), s přetoky a nedotečenými místy zároveň (Flash and SS) nebo zaplněn z 80 – 90 %. [15], [16]

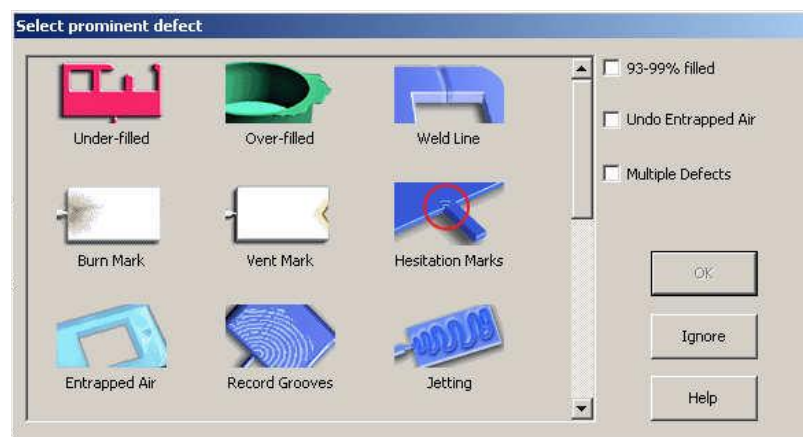
#### *Optimalizace rychlosti (Velocity Optimization)*

Optimální vstříkovací rychlost je stanovována v těchto krocích:

- maximální vstřikovací rychlost je určena postupným zvyšováním rychlosti ze zvolené počáteční hodnoty. Cílem je dosažení maximální rychlosti vstřikování a takové dráhy šneku, aby byl díl zaplněn z 93 – 99 %.
- po dosažení maximální vstřikovací rychlosti začne být rychlost po určitých částech snižována z maximální na minimální. Tato minimální hodnota je kontrolována parametry optimalizace minimální rychlosti vstřikování.
- každé hodnotě rychlosti vstřikování je pak přiřazena hodnota rychlosti smykové deformace a smykové viskozity taveniny. Doporučenou rychlost vstřikování lze ještě pozměnit.
- po nalezení optimální rychlosti vstřikování, nabíhá další vstřikovací cyklus, při kterém je změněna dráha šneku a podle zjištěných vad přetoku, nedotečených míst nebo jejich kombinací je upravována dráha šneku do té doby, až je vyroben dobrý díl. [15], [16]

#### *Eliminace vad spojených s rychlostí vstřikování (Velocity Phase Defect Elimination)*

Tento postup se snaží zlepšit kvalitu výrobku eliminací vad spojených s rychlostí vstřikování (obr. 36). Při procesu se nejdříve zvolí nejhorší vada na výstřiku a potom se přechází k méně závažným. Je zde možno použít i více vad najednou (Multiple Defects). Postup pokračuje tak dlouho, dokud nejsou odstraněny všechny vady a výrobek není zaplněn z 93 – 99 %. [15], [16]



*Obr. 36 Eliminace vad*

### 5.1.3 Optimalizace tlakové fáze

MPX nastavení procesu optimalizuje tlakovou fázi třemi kroky:

- určení velikosti dotlaku,
- určení zatuhnutí vtoku a nastavení tlakového profilu,
- konečná eliminace vad. [15]

#### *Učení velikosti dotlaku*

Tento krok představuje postup optimalizaci dotlaku a určuje kritickou hodnotu dotlaku, což je hodnota, zabraňující zpětnému toku taveniny z dutiny formy do plastikační jednotky. Toho je dosaženo eliminací zpětného toku, který způsobuje propadlá místa, deformace a jiné rozměrové vady. Cíleně se začíná nízkým otlakem a posupně se zvyšuje až na požadovanou mez. [15]

#### *Určení zatuhnutí vtoku a nastavení tlakového profilu*

Tato akce představuje optimalizaci doby dotlaku, její rychlou kontrolu a návrh dotlakového profilu. Určuje se čas, odvozený od zatuhnutí vtoku, počáteční čas tuhnutí a střední doba. Časy jsou určeny kontrolovaným pohybem šneku se stejným použitým tlakovým profilem. Po nalezení doby počátečního tuhnutí a zatuhnutí vtoku je vytvářen profil dotlaku. [15]

#### *Konečná eliminace vad*

Tento krok obsahuje konečnou eliminaci vad a zahrnuje odstranění vad způsobených tlakem nebo rychlostí vstřikování, které se mohou vyskytovat z předešlého kroku nastavení procesu. Hlavním cílem tohoto kroku je změna rychlostního a tlakového profilu tak, aby bylo dosaženo výrobku bez jediné závady. [15]

### 5.1.4 Postupy optimalizace tlakové fáze

#### *Optimalizace dotlaku (Packing Pressure Optimization)*

Tímto postupem se nastavuje dotlak, který je dostačující pro zabránění zpětného toku polymerní taveniny z dutiny formy po jejím zaplnění. Prvotní hodnota dotlaku je zvolena jako určitá část vstřikovacího tlaku na konci plnění formy (běžně 40 %). Profil je konstantní a trvá stejně dlouho jako počáteční tlakový profil. Dotlak se zvyšuje tak dlouho, dokud se nezabrání zpětnému toku taveniny nebo dá uživatel odezvu, že se vyskytl problém. [15]

Po vyhození dílu se MPX nastavení procesu dotazuje na přetok, problém s vyhazováním, hluk formy případně se žádné problémy nevyskytují. [15]

#### *Optimalizace doby dotlaku (Packing Time Optimization)*

Tímto postupem je nastavena doba dotlaku tak, aby zaručovala zatuhnutí vtoku. Jsou tu dvě rozdílné metody, které je možno použít:

- optimalizace dotlaku pohybem šneku.

Princip spočívá ve velmi přesném měření pohybu šneku během kontrolní fáze za předpokladu jeho konstantního tlaku. Po začátku tuhnutí vtokového ústí se rychlost posuvu šneku snižuje, takže je možné určit čas zatuhnutí vtoku.

- optimalizace dotlaku hmotností dílce.

Tato metoda optimalizace je nastavena tak, že MPX provede několik po sobě jdoucích experimentů při zvyšování doby dotlaku tak dlouho, dokud se neobjeví nějaký problém. Do MPX se zadávají hmotnosti jednotlivých výstřiků, ze kterých se stanoví optimální doba dotlaku v bodě, kde se hmotnost výstřiku začíná ustalovat. [15], [16]

#### *Návrh profilu dotlaku (Design Packing Pressure Profile)*

Jde o automatický postup, který počítá zlomový bod, ve kterém se materiál začíná smršťovat a od tohoto bodu se redukuje dotlakový profil. Cílem je zabránit přeplnění a vzniku vysokých napětí v okolí toku. [15], [16]

#### *Konečná eliminace vad (Final Defect Elimination)*

Tento postup je určen pro cílené zlepšení kvality výrobku eliminací vad spojených s fází dotlaku a rychlostními vadami, které se objevily po optimalizování dotlakové fáze. Při zadávání vad se postupuje od nejhorších k méně závažným. Proces pokračuje tak dlouho, dokud je výrobek bez vad. [15]

#### *Optimalizace polštáře (Cushion Optimization)*

Postup je určen k nalezení akceptovatelného polštáře taveniny, která má zbyť před šnekem. Jestliže je polštář příliš velký, bude tímto postupem redukován, aby nedocházelo k degradaci materiálu. MPX definuje akceptovatelný polštář kolem 10 % celkové dávky. Po vyhození výstřiku naběhne dialogové okno s definováním vad. Proces bude pokračovat tak dlouho, až budou výrobky bez závad. [15]

### *Optimalizace doby chlazení (Cooling Time Optimization)*

Redukuje se doba chlazení na hodnotu, která dovoluje výrobku ochladnout ve formě na vyhazovací teplotu a přitom nejsou problémy s vyhozením výrobku nebo jeho deformací, způsobenou nedostatečným ochlazením. MPX se však na počátku ptá na dobu, která je potřeba na přípravu materiálu na další cyklus. Tato doba bude limitní dobou chlazení. Opět se postupuje tak dlouho, dokud nevzniknou nějaké defekty na výrobku. [15]

Na závěr MPX umožňuje transportovat protokol do formátu \*.pdf, ve kterém jsou zaznamenány všechny důležité momenty, týkající se nastavení celého procesu.

## **5.2 Optimalizace procesu**

Tato část MPX umožňuje optimalizaci procesu zlepšením profilů, minimalizací odpadů a prostojů stroje.[15]

Význam optimalizace procesu spočívá v doladění procesu produkujícího kvalitní díly a zároveň minimalizující odpad. Toho je dosaženo pomocí DOE (Design of Experiment), který práci trávající hodiny zjednodušuje na několik minut. [15]

### **5.2.1 Design of experiment (DOE)**

DOE mění provozní podmínky během výroby. Vybere vhodnou sadu profilů, kde tyto malé změny podmínek nepůsobí na kvalitu. Optimalizace procesu spočívá v malých úpravách profilů tak, aby neměly žádný vliv na kvalitu a přitom bylo dosaženo dobrých dílů s minimálním odpadem.

V podstatě jde tedy o statistickou metodu, která pro své výpočty využívá řady matematických rovnic založených na faktorech, které nastavení procesu proces samotný nejvíce ovlivňovaly. Tyto získaná data jsou pak zanesena do procesu optimalizace. [15], [16]

### **5.2.2 Průběh optimalizace**

Plánování experimentů je obsluhou programu MPX spuštěno automaticky a na základě získaných parametrů z procesu nastavení tyto dále optimalizuje kombinací procesních parametrů. Tyto pak přesněji vymezuje, aby zlepšil kvalitu výrobků. [15], [16]

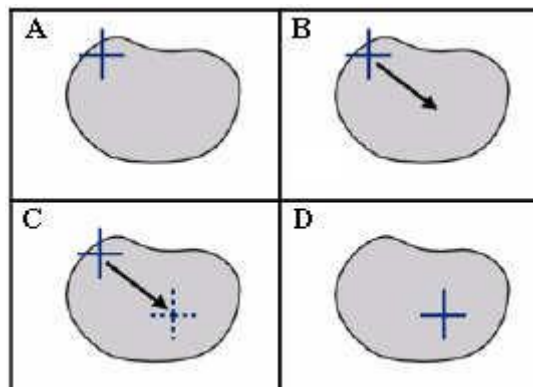
DOE produkuje série výrobků s použitím různých rychlostních a tlakových profilů. Způsob, kterými jsou profily upraveny, jsou závislé na počtu výrobků. MPX poté rozmisťuje body optimalizace s celé šíři zpracovatelského okna. [15], [16]

Během výroby se procesní podmínky mění málo. S dobrou sérií profilů tyto minimální změny neovlivňují kvalitu. DOE je zde použito k ujištění, že pokud nalezne lepší zpracovatelské podmínky, tak povedou k produkci kvalitních dílů. [15], [16]

Nakonec je vytvořena sada s výrobky, kde jsou zaznamenány profily s vadami. Tyto vady pak používá pro optimalizaci procesu. [15], [16]

### 5.2.3 Procesní okno

Toto okno (obr. 37) využívá MPX pro optimalizaci procesu. Pomocí nich určuje procesní podmínky.



Obr. 37 Procesní okno

Šedý region na obrázku představuje parametry jednotlivých profilů, které produkují dobré kusy. Tedy každý bod v šedém profilu představuje dobrý výrobek. Naproti tomu bod mimo šedý profil představuje vadný kus, obsahující nějaký typ vady. [15], [16]

V diagramu A jsou díly v horní části a vlevo s vadami. Jestliže některý z výrobků obsahuje vady, MPX optimalizace procesu posune profily do oblasti výroby dobrých částí (diagram B). Potom se produkuje druhá várka výrobků (diagram C). Pokud tyto výrobky stále ještě obsahují vady, profily budou znovu změněny a pokračuje se dále. Pokud jsou všechny výrobky dobré kvality, MPX přijme tyto nové profily a optimalizace procesu končí (diagram D). Výsledky je možné uložit opět do zprávy. [15], [16]



Po sadě vyrobených dílů se zatrhují vady v následující tabulce. Je možné si zvolit vzhledové či rozměrové (obr. 40, 41)

Visual Defects		Dimensional Defects						
Part:	1	2	3	4	5	6	7	8
Short Shot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flash	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sink Mark	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Burn Mark	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Weld Line	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Obr. 38 Vzhledové defekty

Visual Defects		Dimensional Defects						
Part:	1	2	3	4	5	6	7	8
Dimensions Large	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dimensions Small	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Warpage Positive	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Warpage Negative	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weight Heavy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weight Light	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Obr. 39 Rozměrové defekty

### 5.3 Kontrola procesu

MPX kontrola procesu pomáhá udržovat optimální pracovní podmínky během procesu výroby. MPX graficky sleduje proměnné vstřikovacího procesu a automaticky určuje kontrolní limity kvality. Pokud již byly nastaveny stabilní procesní podmínky, lze použít MPX

kontrolu procesu ke sledování kritických parametrů, které určují dané profily během výroby. MPX kontrola procesu detekuje jakýkoliv sklon procesu odchýlit se ze středu profilového okna. Při vychýlení z okna je vydáno varování s doporučením pro opravu nebo může proces opravit sám v závislosti na důvodech vychýlení. [15]

MPX kontrola procesu má dvě hlavní úlohy:

- zobrazovat kontrolu procesních parametrů graficky, monitorování jakékoliv změny, která se vyskytla. Kontrola procesu grafem je velká výhoda pro ty, kdo chtějí vědět, proč se mění kvalita výrobků,
- může automaticky ladit vstřikování pomocí bodů, které vyrovnávají procesní podmínky. To zajišťuje postupné změny procesních podmínek tak, že nevedou k výrobě špatných dílů nebo zničení vstřikovacího stroje. [15]

## 6 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Při optimalizaci plastového dílu byl použit vstříkovací stroj Arburg Allrounder 420 C 1000–350 (obr. 40) od firmy Arburg, kterým je vybavena laboratoř Technologické fakulty, Ústavu výrobního inženýrství. Podrobnější technické parametry jsou uvedeny v Tab. 2.

Stroj je dále připojen k PC, kde je nainstalován software MoldFlow Plastic Xpert. Ovládní je zabezpečeno pomocí klávesnice nebo dotykového displeje.



Obr. 40 Vstříkovací stroj Arburg Allrounder 420C [16]

Stroj je napojen na řídicí systém Selogica. Tento zabezpečuje nastavení všech potřebných parametrů, které jsou nutné pro vstříkovací proces. Řídicí systém obsahuje grafický displej a ovládací panel, který dále obsahuje několik základních částí.

Tab. 2 Teplotní parametry procesu [16]

<b>Uzavírací jednotka</b>	
Uzavírací síla	1000 kN
Rozměr upínacích desek	570 x 570 mm
Rozteč vodících sloupků	420 x 420 mm
Maximální pojezd upínací desky	500 mm
Maximální vzdálenosti upínacích desek	750 mm
<b>Plastikační jednotka</b>	
Vstříkovací tlak	212 Mpa
Maximální objem dávky	182 cm <sup>3</sup>
Maximální vstříkovací tok	168 cm <sup>3</sup> /s
Maximální materiálová výkonnost – PS/PA66	29 / 15 kg/h
Průměr šneku	40 mm
Poměr L/D	20

Horní část ovládacího panelu obsahuje tlačítka, která umožňují nastavení procesu od tlaků, přes teploty až po dobu chlazení. V pravé části tohoto panelu je umístěn číslcový panel, který slouží pro zadávání číselných hodnot. K potvrzení zadané hodnoty slouží tlačítka Y / N. Dalšími tlačítky v horní části panelu jsou ještě šipky, které slouží pro pohyb po obrazovce, případně mezi jednotlivými řádky.



*Obr. 41 Ovládací panel stroje  
s řídicím systémem Selogica*

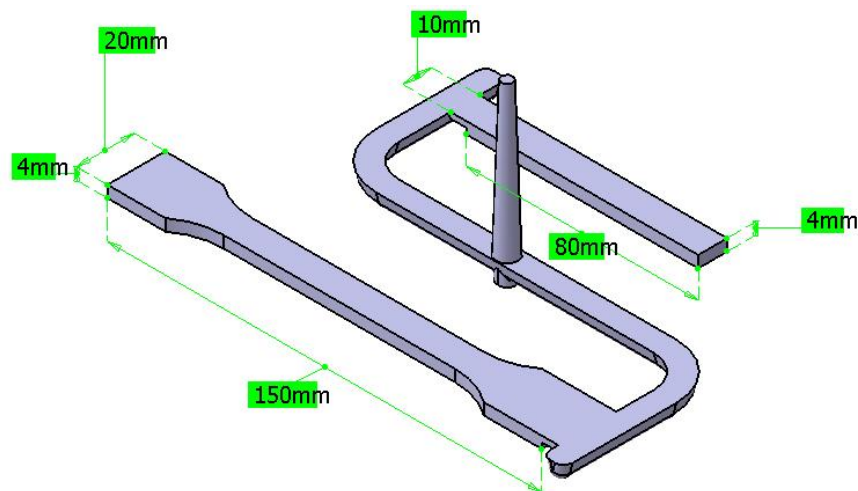
Dolní část panelu obsahuje tlačítka, která slouží k ovládnání stroje. Je zde možno nastavovat průběh cyklu, nulovat vyhazovači, trysku apod. Ve střední části tohoto panelu jsou pak tlačítka pro manuální ovládnání částí stroje jako je forma, vyhazovače, plastikační jednotka. Pravá část panelu pak slouží pro havarijní zastavení stroje. Je zde také klíč pro uzamčení ovládacího panelu a tím tak celého stroje.

## 7 OPTIMALIZOVANÉ VÝROBKY

Oba výrobky, které sloužily pro export do CAE programu Moldflow Plastic Insign 6.2 byly vymodelovány v CAD programu Catia V5R19. Při optimalizaci byl použit software Moldflow Plastic Xpert, který představuje pokročilý nástroj při řešení problematiky zejména složitých optimalizovaných výrobků. Jako modelový příklad sloužila forma na zkušební tělíska s materiálem PP + 30 % skelných vláken. U tohoto materiálu byla provedena optimalizace všemi způsoby, které program Modlflow Plastic Xpert umožňuje. U ostatních materiálů byla provedena optimalizace ručně na základě doporučených procesních parametrů pro použitý materiál. Všechny tyto parametry jsou na DVD jako příloha této diplomové práce a jsou také nahrány na disketě u vstřikovacího stroje, kde budou sloužit pro opětovné použití při vstřikování stejného materiálu do té samé formy.

### 7.1 Zkušební tělíska

První z použitých forem byla forma na zkušební tělíska. Tyto slouží ke zjištění hodnoty pevnosti v tahu a vrubové houževnatosti. Pokud se však týká materiálu, je třeba zmínit, že forma se vždy navrhuje pro jeden materiál. Proto při použití více druhů materiálu nemusí dojít k úplnému zoptimalizování výrobku, to znamená, že výrobek nebude možno označit za vyhovující a bude obsahovat nějakou vadu, která není přípustná. Důvodem jsou především vlastnosti materiálů. Proto případný neúspěch při optimalizaci nelze brát jako vadu, ale jako problém, který se vyřeší použitím např. jiného vtokového systému do dutiny formy.

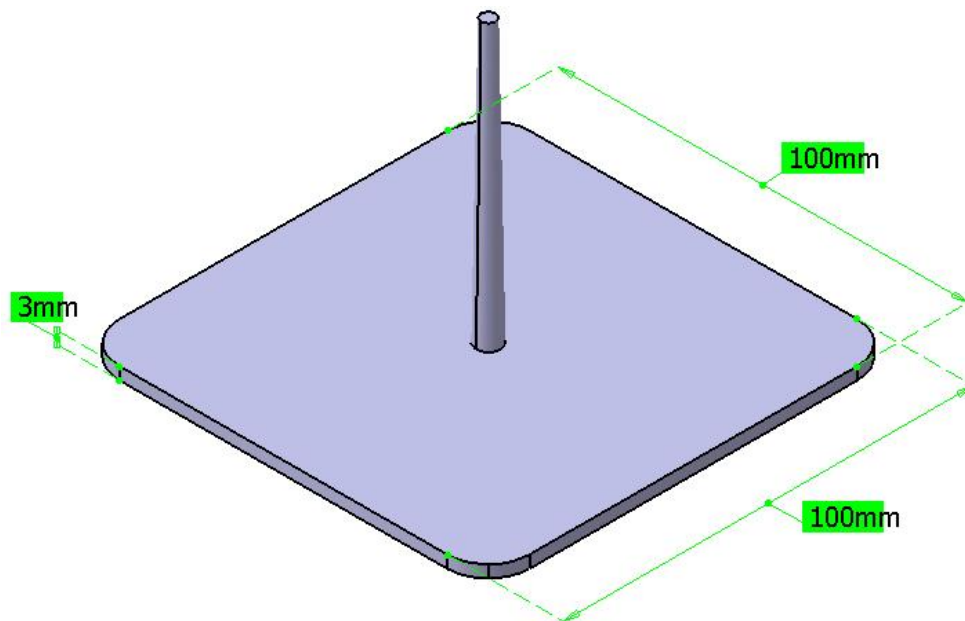


Obr. 42 Základní rozměry výrobku zkušebních tělísek

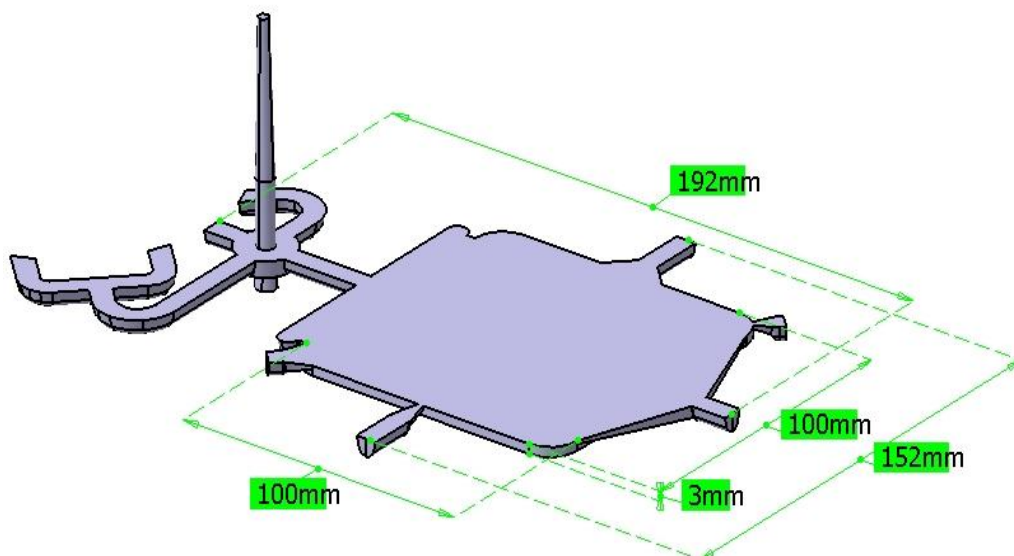
## 7.2 Destičky

Druhou formou použitou při optimalizaci je forma s kuželovým vtokem do středu destičky o rozměrech 100 x 100 mm (obr. 43). Tato forma slouží ke vstřikování výrobků, na níž se budou provádět mechanické zkoušky, závislé na volbě vtoku.

Podobnou formou je i třetí forma, která však na rozdíl od předcházející umožňuje změny vtokového ústí (obr. 44). Tím dojde ke změně chování polymeru při toku a následně také ke změně mechanických vlastností ve směrech závislých na volbě tohoto toku.



Obr. 43 Základní rozměry výrobku destičky s kuželovým vtokem



Obr. 44 Základní rozměry výrobku destičky s různými vtoky

## 8 OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK – PP, 30 % SKELNÝCH VLÁKEN

Pro všechny typy optimalizace vstřikovacího cyklu pomocí Moldflow Plastic Xpert s materiálem PP (obchodní označení Scolefin 53G10-0) s 30 % skelných vláken, byly shodně použity následující parametry:

*Tab. 3 Teplotní parametry procesu*

Teplotní pásmo 1	195 °C
Teplotní pásmo 2	210 °C
Teplotní pásmo 3	220 °C
Teplotní pásmo 4	230 °C
Teplotní pásmo 5	240 °C
Teplota formy	50 °C

Optimalizace vstřikovacího cyklu tohoto materiálu byla nejdříve provedena pomocí průvodce nastavení, v němž byla zvolena volba automatické nastavení procesu, poloautomatické nastavení procesu a manuální nastavení procesu. Poslední optimalizace byla provedena načtením výsledku z CAE software Moldflow Plastic Insight. Optimalizace je provedena velmi podrobně a slouží jako modelový příklad. Pro značné množství výsledků byla optimalizace u ostatních materiálů zjednodušena.

### 8.1 Automatické nastavení procesu

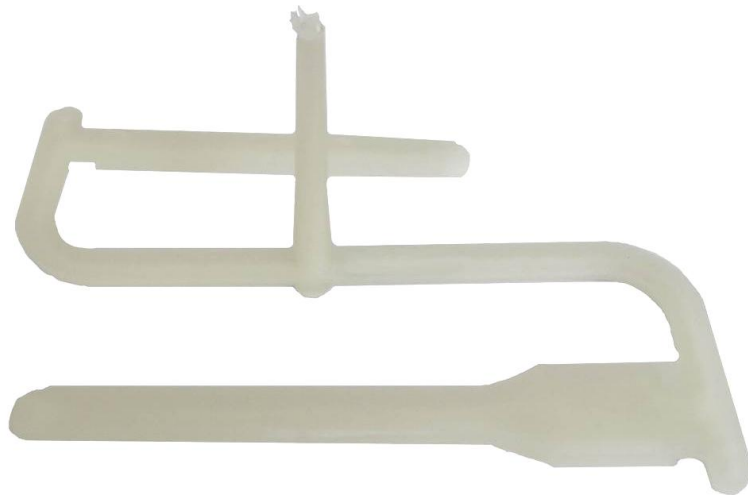
Při této volbě byl nastaven materiál PP s 30% skelných vláken. Teplota taveniny byla zvolena 240 °C, teplota formy 50 °C. Vstřikovaný objem byl stanoven na 45 cm<sup>3</sup>, rychlost vstřikování 40 mm/s. Celková doba chlazení byla zvolena jako 35 s.

Poté co jsou nastaveny počáteční parametry, MPX vygeneruje počáteční rychlostní a tlakový profil. Konečný profil je postupně během nastavování procesu měněn až do své konečné podoby. O aktuálně prováděném kroku informuje zvýrazněný kurzor programu.

#### 8.1.1 Optimalizace rychlosti vstřikování

Při optimalizaci plnění bylo nutno dosáhnout naplnění dutiny formy z 80 – 90 %. To proběhlo redukcí vstřikovací rychlosti 2x po 15 %. Po zoptimalizování této fáze se optimalizovala rychlost. Zde opět došlo ke zvýšení vstřikovací rychlosti. Během obou kroků bylo

vyrobena 11 ks výrobků, přičemž plnění bylo zoptimalizováno sedmým výrobkem. Výsledný výstřik, který byl zaplněn z 80 – 90% měl hmotnost 17,51 g (obr. 46)



*Obr. 45 PP + 30 % skelných vláken – zaplnění dutiny  
formy z 80 – 90%*

Dalším postupem byla optimalizace rychlosti vstřikování výrobku tak, aby byl zaplněn z 93 – 99 %. Zároveň je však od obsluhy vyžadována kontrola každého dílce tak, aby bylo možno vybrat a zvolit vady, které se na výrobku vyskytují (obr. 43). Výhodou je, že zvolením tlačítka vícenásobné vady, lze vybrat i několik vad najednou. Jelikož výstřik obsahoval nedotečená místa a pruhy skelných vláken, byly tyto vady v programu MPX zvoleny. Jako řešení zvolil program několikrát vzrůst rychlosti vstřikování o 10 %. Po dosažení zaplnění výrobku z 93 – 99 % (obr. 47) dle požadavků MPX byla tato volba zvolena a program ukončil optimalizaci rychlosti. O tom svědčil i vzrůst hmotnosti výstřiku, která byla 20,87 g.



*Obr. 46 PP + 30 % skelných vláken – zaplnění dutiny  
formy z 93 – 99%*



Nevýhodou MPX však bylo, že program nenabízel volbu zpět. To znamená, že pokud byla vybrána vada a MPX aplikoval změnu procesních podmínek a nedošlo k očekávané změně na výrobku, nebylo možno se vrátit na počátek nastavení procesu, kde by bylo ještě možné upravit jiné parametry procesu tak, aby si systém dokázal poradit s vadou výrobku. Z výrobku však bylo zjevné, že nevykazuje takové vady jako na počátku optimalizačního procesu.

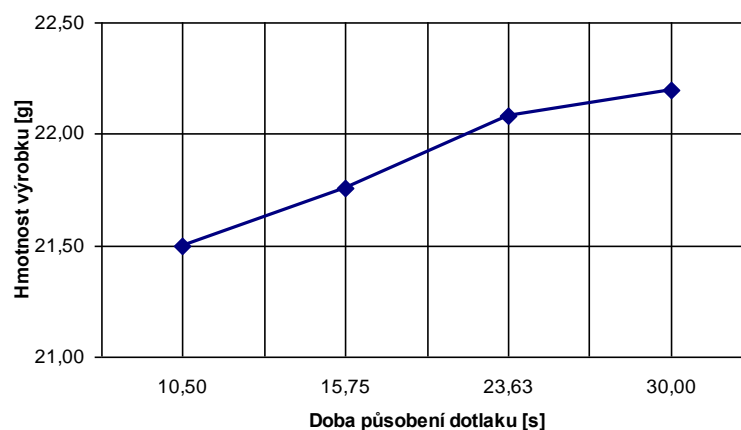
### 8.1.2 Optimalizace tlakové fáze cyklu

Optimalizace tlakové fáze začíná zvolením procentuální velikosti dotlaku z maximálního možného tlaku stroje. Standardně je nastavena hodnota 40 %. Tato byla také zvolena. Poté byly vstřikovány výrobky tak dlouho, dokud se neobjevil jeden z problémů jako je přetok, hluk formy nebo problém s vyhazováním. Po dosažení problému s vyhazováním byla vrácena předchozí hodnota, při které bylo možné ještě výrobek bez problémů vyhodit.

Dalším postupem byla optimalizace doby dotlaku. Jednou z podmínek, které byly nutné pro provedení této části optimalizace, bylo změření doby plastikace materiálu. Na stroji byla tato doba zaznamenána jako čas 2,14 s. Dále MPX vyžadoval určení hmotností 4 výrobků, z nichž každý byl vystříknutý za jiných tlakových podmínek (tab. 4).

Tab. 4 Doba dotlaku versus hmotnost výrobku

Výrobek	Čas dotlaku [s]	Hmotnost výrobku [g]
1	10,50	21,50
2	15,75	21,76
3	23,63	22,08
4	30,00	22,20



Obr. 47 Optimalizace tlakové fáze při vstřikování

Konečná eliminace vad při optimalizaci tlakové fáze byla dalším krokem optimalizačního procesu. Byly zjištěny spáleniny (obr. 48) a propadliny. Proces zadávání vad bylo nutné opakovat několikrát, až byly konečně odstraněny. Konečný výrobek vážil 22,47 g.



*Obr. 48 Konečná eliminace vad na výstřiku  
a) spálené místo b) optimalizované místo*

Následovala optimalizace polštáře před šnekem. Jako minimální hodnota byla nastavena 4 mm a maximální hodnota 10 mm. Při vstřikování se na stroji zobrazovala velikost polštáře 6,47 mm. Pomocí těchto hodnot MPX upravil dávkování v plastikační jednotce.

Proces optimalizace chlazení je poslední částí automatického nastavení procesu. Hledá se zde minimální doba chlazení, která byla MPX stanovena na 2,35 s. Dále lze optimalizaci využít tehdy, pokud by byly problémy s vyhazováním nebo smrštěním. Ani jeden z těchto defektů nebyl zaznamenán, proto byly použité hodnoty nezměněny a automatické nastavení bylo ukončeno. Objevily se zde pouze malá spálená místa, která vyřešila následná optimalizace procesu. MPX následně vygeneroval protokol o průběhu nastavování procesu.

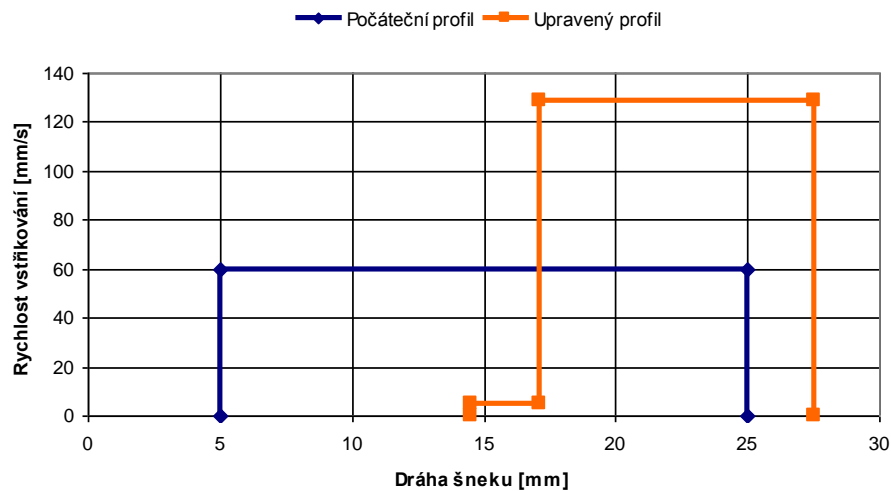
### **8.1.3 Optimalizace procesu**

Optimalizace probíhala pomocí tzv. DOE (Design of experiments), kde byly vytvořeny tři série výrobků po 8 kusech. Zde bylo možno identifikovat poslední vady, které ovlivňovaly proces a výslednou kvalitu výrobku. Vyskytovala se zde pouze mírně spálená místa a to na konci některých vstřikovaných výrobků. Tyto vady byly pro MPX identifikovány a na základě nich byla třetí série výrobků bez vad.

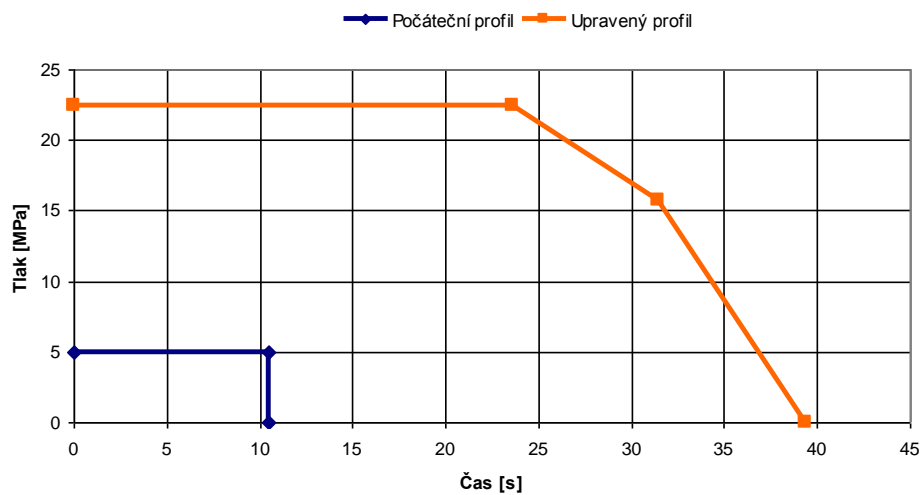
Vykreslený rychlostní profil je na obr. 50, tlakový na obr. 51. Hodnoty ukazuje tab. 5.

Tab. 5 Počáteční a konečné podmínky procesu

Procesní parametr	Počáteční hodnota	Konečná hodnota
Vstřikovací rychlost [mm/s]	60	128,49
Dráha šneku [mm]	5 – 25	14,5 – 27,5
Tlak [MPa]	5	22,494
Čas cyklu [s]	10,5	39,32



Obr. 49 Počáteční a konečný rychlostní profil



Obr. 50 Počáteční a konečný tlakový profil

Oproti nastavené rychlosti vstřikování program tuto rychlost více než zdvojnásobil. Také došlo ke zvětšení dráhy šneku. Toho bylo dosahováno pomocí procentuálního zaplnění dutiny formy. Hodnota dotlaku byla původně velmi nízká, takže musela být vzhledem k vadám programem MPX několikrát zvýšena.

### 8.1.4 Kontrola procesu

Kontrolovaný proces byl prováděn nepřetržitě po dobu jedné hodiny. Během této doby bylo sledováno, zda se hodnoty procesních podmínek pohybují v dovolených tolerancích. Výsledky této fáze programu MPX obsahuje Příloha I.

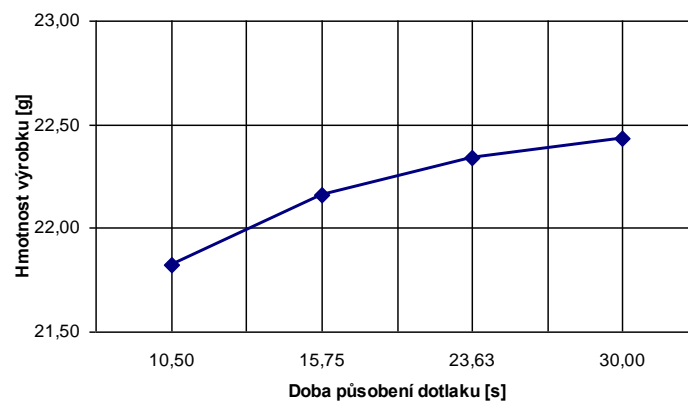
## 8.2 Poloautomatické nastavení procesu

Při tomto procesu byly vstupní parametry nastaveny následovně: velikost dávky na 15 mm, vstřikovací rychlost 60 mm/s, tlak na trysce 500 bar a celková doba chlazení 35 s. Teplotní pásma a forma zůstaly nastaveny jako v automatickém cyklu.

Na délku cyklu měla opět vliv optimalizace dotlakové fáze (obr. 51), kdy byly opět zváženy hmotnosti po sobě jdoucích výrobků za různé doby dotlaku. Jako vhodný byl vybrán výrobek s hmotností 22, 34 g při době dotlaku 30 s (tab. 6).

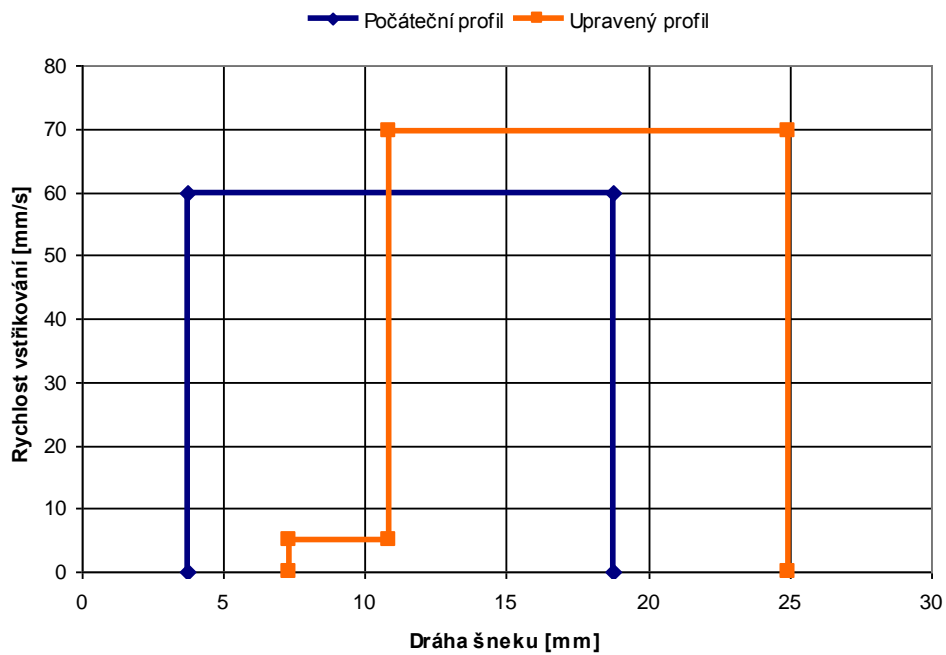
Tab. 6 Doba dotlaku versus hmotnost výrobku

Výrobek	Čas dotlaku [s]	Hmotnost výrobku [g]
1	10,50	21,82
2	15,75	22,16
3	23,63	22,34
4	30,00	22,43

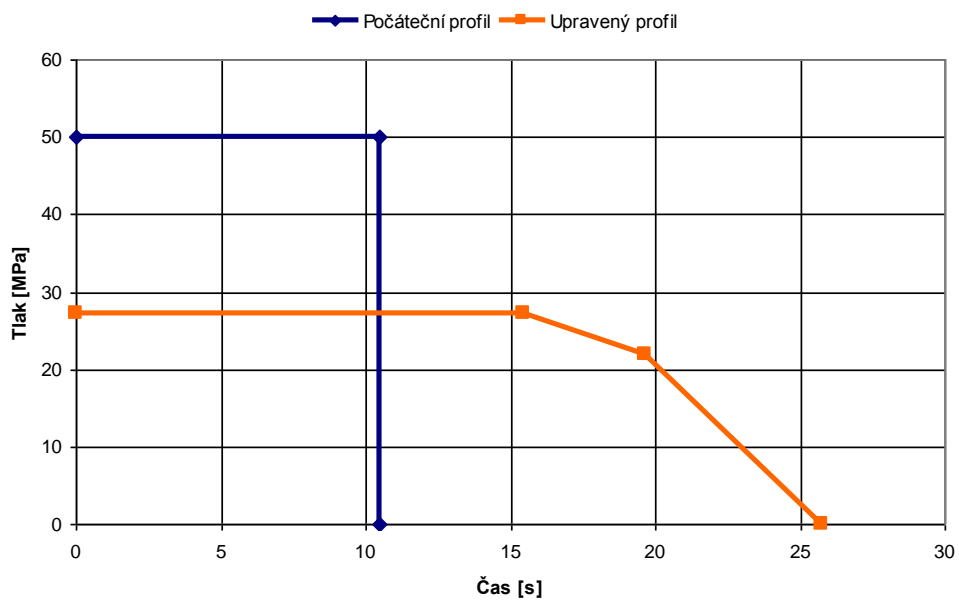


Obr. 51 Optimalizace dotlakové fáze při vstřikování

Po nastavení došlo opět k vygenerování rychlostního a tlakového profilu, kde modrou barvou jsou znázorněny původní hodnoty, oranžovou upravené (obr. 52, 53). Přesné hodnoty nastavení ukazuje tab. 7.



Obr. 52 Počáteční a konečný rychlostní profil



Obr. 53 Počáteční a konečný tlakový profil

Počáteční hodnoty rychlosti vstřikování program nastavil program MPX přesně do té míry, že se výsledná rychlost vstřikování liší pouze o necelých 10 mm/s (tab. 6). Hodnota dotlaku nebyla také přehnaná, došlo k jeho redukci a prodloužení doby působení, což mělo za následek produkci dobrých výrobků.

Tab. 7 Počáteční a konečné podmínky procesu

Procesní parametr	Počáteční hodnota	Konečná hodnota
Vstřikovací rychlost [mm/s]	60	69,74
Dráha šneku [mm]	3,75 – 18,75	7,32 – 24,96
Tlak [MPa]	50	27,285
Čas cyklu [s]	10,5	25,76

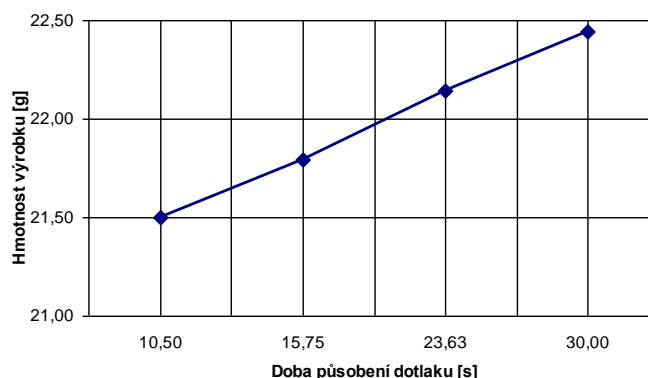
### 8.3 Manuální nastavení procesu

Vstupní parametry byly při manuálním nastavení procesu nastaveny takto: velikost dávky na 10 % celkového množství stroje, vstřikovací rychlost na 50 % maxima stroje, dotlak na 70 % maxima stroje a celková doba chlazení 35 s. Teplotní pásma a forma byly nastaveny jako v předchozím případě.

Při optimalizaci dotlaku a také hmotnosti výrobku byly opět na váze určeny hmotnosti 4 ks po sobě jdoucích výrobků za různých podmínek (Tab. 8). Grafické znázornění závislosti doby dotlaku a hmotnosti výrobku ukazuje obr. 54.

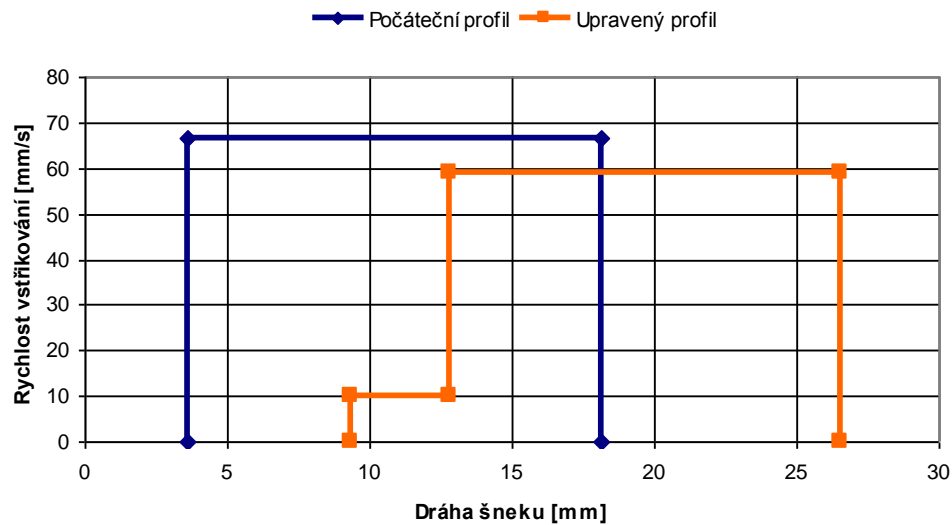
Tab. 8 Doba dotlaku versus hmotnost výrobku

Výrobek	Čas dotlaku [s]	Hmotnost výrobku [g]
1	10,50	21,50
2	15,75	21,79
3	23,63	22,14
4	30,00	22,44

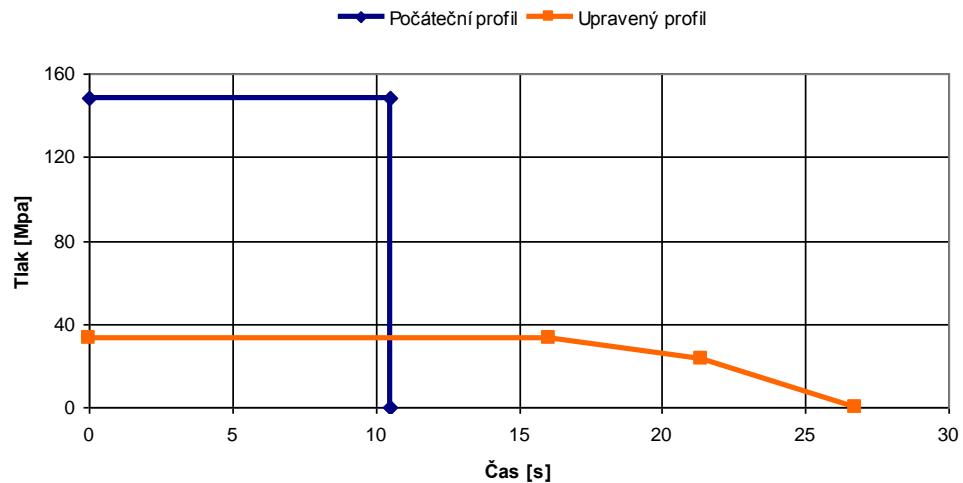


Obr. 54 Optimalizace dotlakové fáze při vstřikování

Pomocí počátečních podmínek byl opět vygenerován rychlostní a tlakový profil (Obr 55, 56), který byl optimalizací procesu dále upravován (Tab. 9.).



Obr. 55 Počáteční a konečný rychlostní profil



Obr. 56 Počáteční a konečný tlakový profil

I přes počáteční vysoký tlak, který byl nastaven programem MPX při manuální optimalizaci, došlo k jeho redukcí při použití procesních podmínek tak, aby byly vyráběny dobré výrobky.

Tab. 9 Počáteční a konečné podmínky procesu

Procesní parametr	Počáteční hodnota	Konečná hodnota
Vstřikovací rychlost [mm/s]	66,8	58,9
Dráha šneku [mm]	3,63 – 18,13	9,36 – 26,54
Tlak [MPa]	148,4	33,066
Čas cyklu [s]	10,5	26,72

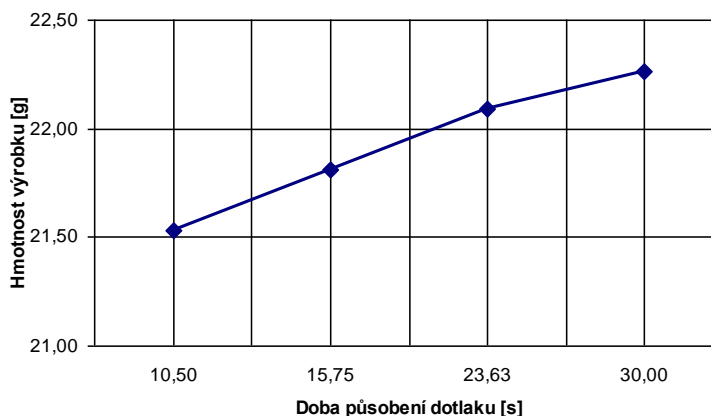
## 8.4 Nahrání profilu z CAE Moldflow Plastic Insight 6.2

Při tomto postupu optimalizace nebylo potřeba zadávat v Moldflow Plastic Xpert žádné další údaje, kromě nastavení teplotních pásem vstřikovacího stroje. Všechny údaje, které byly potřeba, program získal z předem připravené a hotové analýzy vstřikového výrobku v Moldflow Plastic Insight. Počáteční nastavené parametry jsou ukázány v tab. 10. Jsou zde také zahrnuty výsledné parametry po optimalizace vstřikovacího procesu.

Tab. 10 Doba dotlaku versus hmotnost výrobku

Výrobek	Čas dotlaku [s]	Hmotnost výrobku [g]
1	10,50	21,53
2	15,75	21,81
3	23,63	22,09
4	30,00	22,26

Hmotnosti 4 ks výrobků při optimalizace dotlakové fáze ukazuje tab. 11. Grafická závislost je na obr. 57. Z grafu je patrné, že při době dotlaku 30 s se již hmotnost výrobku začíná ustalovat.

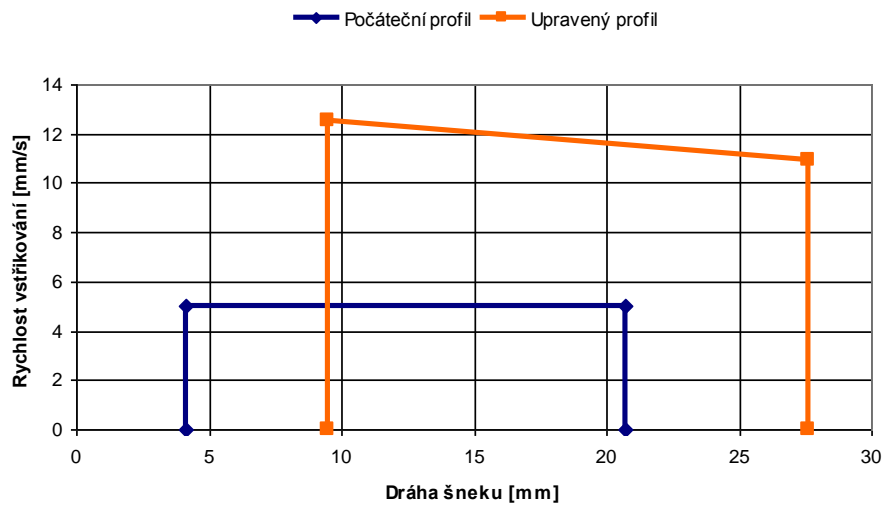


Obr. 57 Optimalizace dotlakové fáze při vstřikování

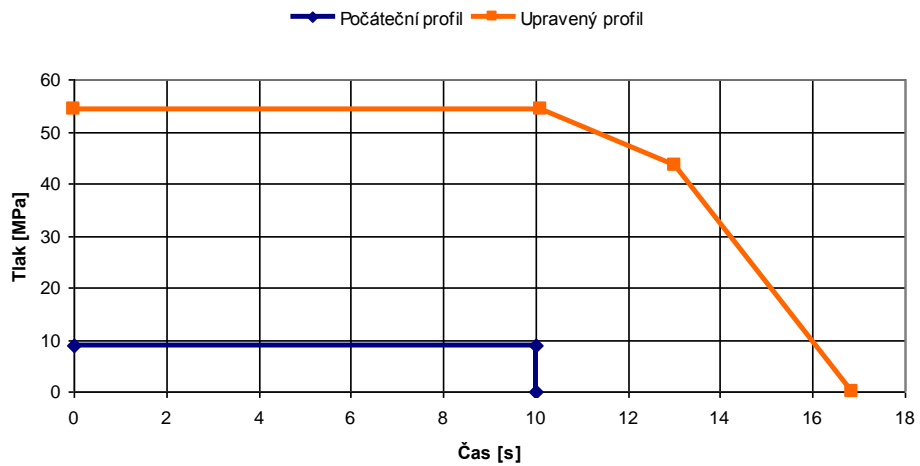
Tab. 11 Počáteční a konečné podmínky procesu

Procesní parametr	Počáteční hodnota	Konečná hodnota
Vstřikovací rychlost [mm/s]	5	12,57
Dráha šneku [mm]	4,15 – 20,74	9,47 – 27,6
Tlak [MPa]	9	54,258
Čas cyklu [s]	10	16,84

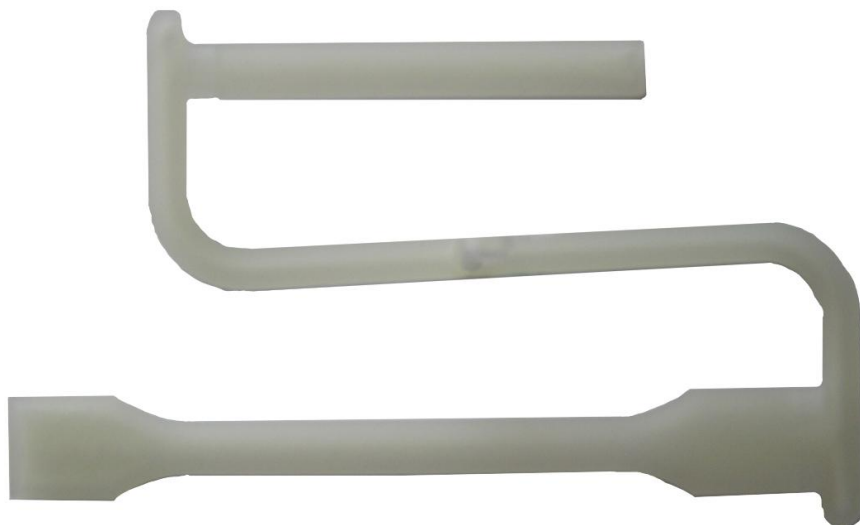




Obr. 58 Počáteční a konečný rychlostní profil

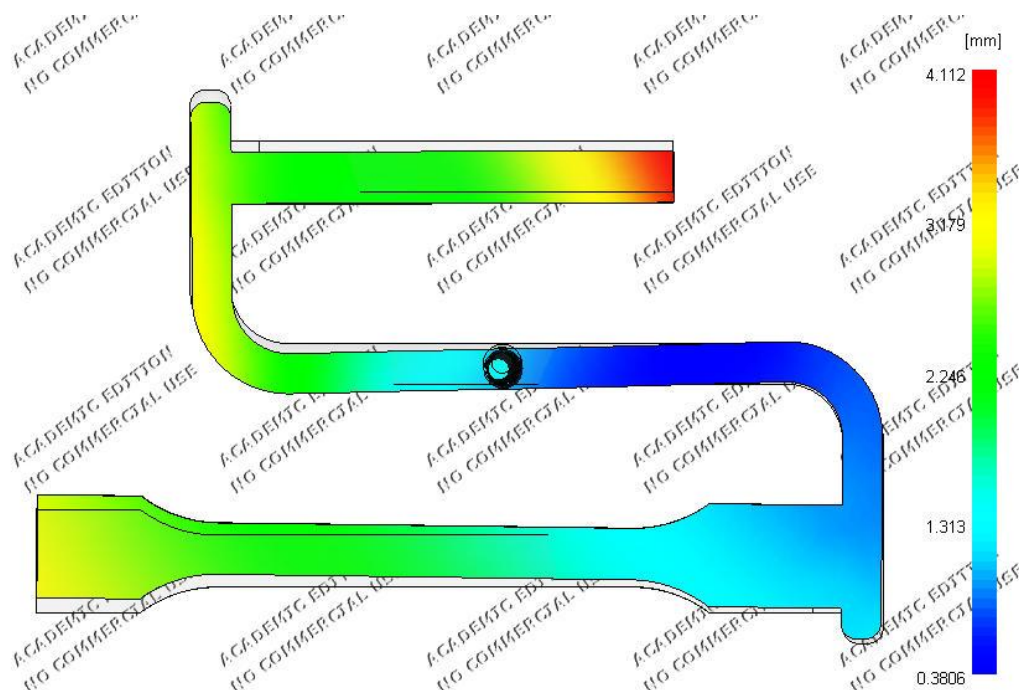


Obr. 59 Počáteční a konečný tlakový profil



Obr. 60 PP + 30 % skelných vláken – konečný výrobek a jeho deformace

Hotový výrobek byl po optimalizaci srovnán také vzhledem ke spočítaným deformacím po vyhození výstřiku. Z porovnání obr. 60 a 61 je zřejmé, že Moldflow Plastic Insight 6.2 dokázalo docela přesně spočítat předpokládanou deformaci výstřiku.



Obr. 61 PP + 30 % skelných vláken – deformace výrobku z CAE analýzy

## 8.5 Srovnání jednotlivých metod optimalizace

Pomocí Moldflow Plastic Xpert byl čtyřmi různými způsoby zoptimalizován výrobek zkušebních tělísek. Procesní podmínky zobrazuje Příloha II.

Optimalizace procesu pomocí dat, nahranych z CAE Moldflow Plastic Insight, vychází jako lepší volba, než nastavení pomocí manuálního, poloautomatického nebo automatického procesu nastavení. Posoudit to lze díky rychlejší optimalizaci, kdy se na výrobku vyskytoval menší počet vad, což následně ulehčilo a zrychlilo optimalizaci. Důvodem jsou zřejmě přesnější informace o procesu z analyzačního software Moldflow Plastic Insight.

Každopádně zoptimalizované profily obsahují více bodů, které definují velikost a dobu působení dotlaku. Domnívám se, že by šlo optimalizaci na základě zkušeností značně zjednodušit a nevnášet do systému množství údajů, které mohou být zdrojem chyb při vstřikovacím procesu.

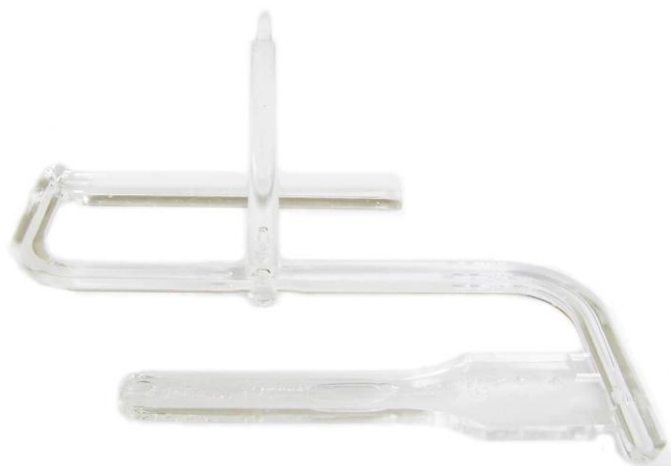
## 9 OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK – PMMA

Při výrobě tělísek z PMMA byl použit materiál s obchodním označením ACRYREX® CM-207 (tab. 12). Tento materiál bylo nutné před samotným vstřikováním vysušit při teplotě 80 °C po dobu 4 hodin. Nevysušený materiál a vlhkost v něm obsažená by mohla být příčinou vzniku bublin a jiných defektů, které jsou nežádoucí.

Tab. 12 Základní informace o materiálu

Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	1,19
Teplota tavení (°C)	220
Teplota vstřikování (°C)	250
Teplota formy (°C)	40 – 60
Smrštění (%)	0,46
Index toku taveniny (g/10min)	8
Modul pružnosti (MPa)	2740

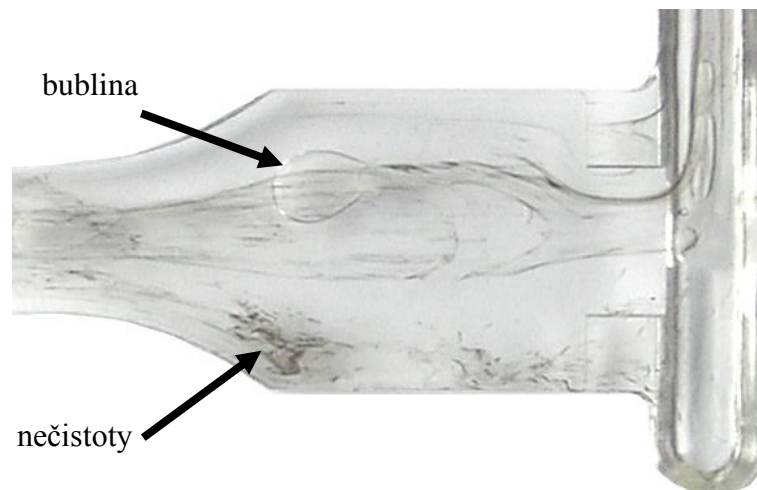
Při optimalizaci vstřikovacího cyklu tohoto materiálu se vyskytovala velká spousta vad. Optimalizace probíhala při vstřikovací tlaku 40 MPa a době dotlaku 15 s, při které nebylo možno výrobek, i když byl nedotečený, vyhodit z dutiny formy (obr. 62). Zkrácení této doby umožnilo pokračovat v optimalizaci zvýšením vstřikovacího tlaku a velikosti dotlaku. Další vadou, objevující se na výstřiku byly bubliny (obr. 63). Zkouškou popsanou v kap. 2.4 bylo zjištěno, že se jedná o stlačený vzduch a to zřejmě tepelným rozkladem taveniny. Proto bylo přistoupeno ke snížení teploty formy na dolní hranici a optimalizací došlo ke zvýšení vstřikovacího tlaku. Poté se již zmiňovaný defekt nevyskytoval.



Obr. 62 PMMA – nedotečený výrobek

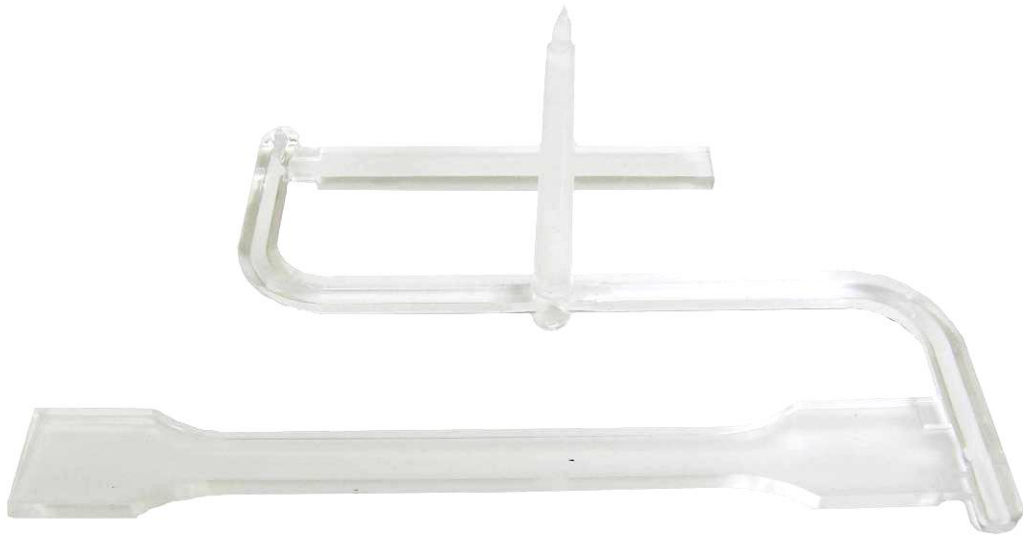


*Obr. 63 PMMA – test bubliny*



*Obr. 64 PMMA – nečistoty a bublina*

Poslední vadou, která byla na výstřiku vidět, byly stopy po předchozím materiálu PA66 a HDPE, kdy se uvolňovaly jejich zbytky (obr. 64). Tuto vadu by bylo možné odstranit důkladným vyčištěním plastikační jednotky. Důvodem, proč docházelo k tomuto uvolňování, byla zřejmě teplota topných pásem, která dokázala natavovat tyto zbytky materiálu, které pak vstříkovaný materiál strhával s sebou do dutiny formy.



*Obr. 65 PMMA – konečný výrobek*

První optimalizovaný kus měl hmotnost 19,5 g. Poslední kus, který měl splňující parametry, měl hmotnost 24,2 g (obr. 65).

Procesní podmínky při zoptimalizovaném výrobku obsahuje Příloha III.

## 10 OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK – HDPE

K výrobě tělísek z materiálu HDPE byl použit materiál s obchodním označením Dow HDPE 25055E. Tento materiál se vyznačuje velmi dobrou zpracovatelností a rozměrovou stálostí. Svými vlastnostmi je určen hlavně pro použití na výrobu nádob, které jsou plněny nápoji bez alkoholu a u nichž se vyžaduje, aby byla zachována specifická vůně obsahujícího nápoje.

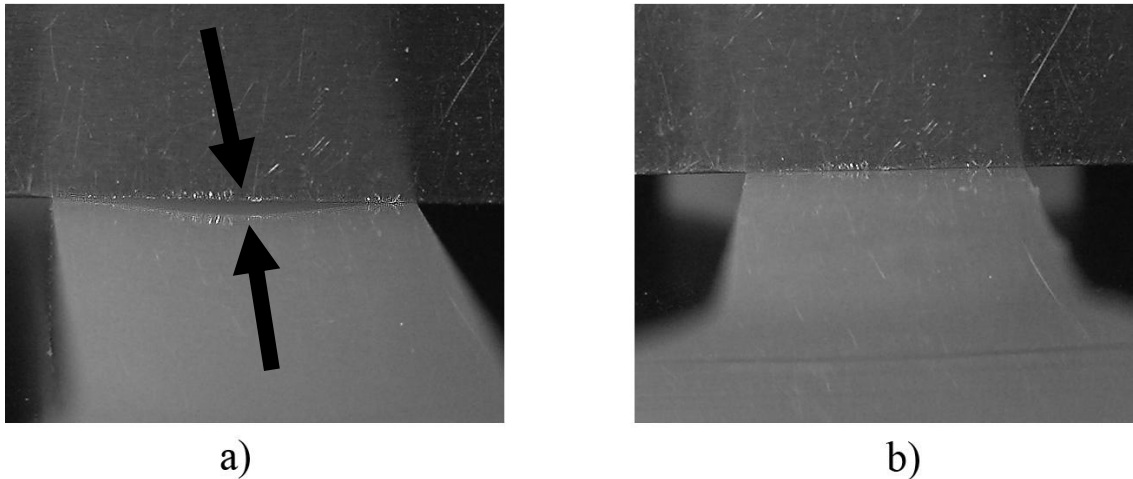
Největším problémem při vstřikování tohoto materiálu byly propadliny, které bylo potřeba kompenzovat velikostí dotlaku a dobou jeho trvání. Výskyt této vady bylo možno předpokládat, protože dle materiálových informací (tab. 14) má tento materiál hodnotu smrštění 2,1%. Proto byla potřeba delší doba působení dotlaku, aby bylo možné toto smrštění dostatečně kompenzovat.

*Tab. 13 Základní informace o materiálu*

Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	0,95
Teplota tavení (°C)	180
Teplota vstřikování (°C)	220
Teplota formy (°C)	40
Smrštění (%)	2,1
Index toku taveniny (g/10min)	25
Modul pružnosti (MPa)	911

Velikost propadlin byla zjevná již na první pohled. Nejvíce se tato vada projevovala u tělíska určeného pro měření mechanických vlastností na trhacím stroji. Dále byly propadliny i na tělesu, určeném pro Charpyho kladivo. V rozvodném kanálu byly proti výrobkům propadliny menší, což bylo zřejmě dáno tím, že dotlak v této části výrobku ještě působil, ale nestačil pokrýt celou dutinu formy.

Vada byla vidět nejen pohledem, ale byla citelná i na omak a proto bylo optimalizování této vady prováděno přiložením rovné části posuvného měřidla (obr. 66).



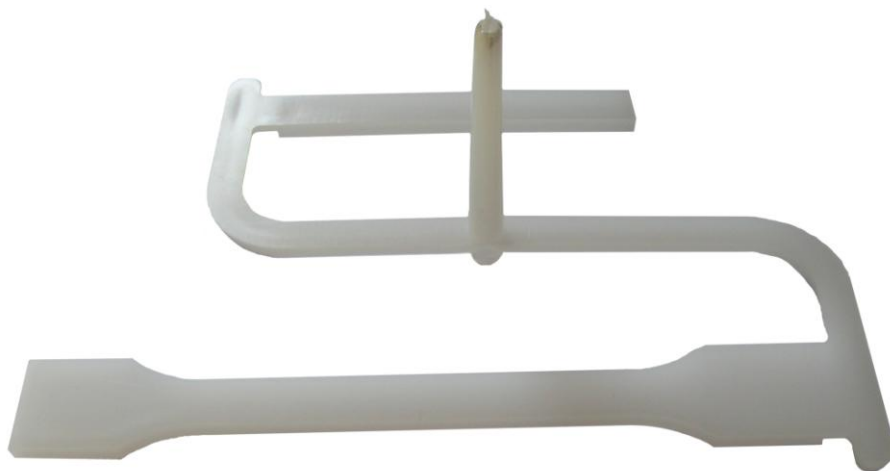
*Obr. 66 HDPE – Vada na zkušebním tělísku*

*a) propadlina, b) odstraněná vada*

Dalším, ale podstatně menším problémem než propadliny byly uzavřené bubliny, které se v minimálním množství ve výrobku vyskytovaly. Tyto bubliny byly viditelné jen proti světlu a to proto, že HDPE není dostatečně transparentní materiál. K jejich omezení významně přispělo snížení vstřikovací rychlosti.

První vstřikovaný výrobek disponoval hmotností 17,77 g, finální optimalizovaný výrobek měl hmotnost 19,36 g (obr. 67)

Procesní parametry, tak jak vyšly při optimalizaci, zobrazuje Příloha IV.



*Obr. 67 HDPE – Konečný výrobek*

## 11 OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK – PA66

Optimalizace zkušebního tělíska z materiálu PA66 byla provedena s materiálem s obchodním označením Ultramid A3W. Výrobce tohoto materiálu je německá firma BASF. Přehled základních informací – tab. 14. Dle doporučení výrobce byl materiál 4 hodiny sušen při teplotě 80 °C.

Tab. 14 Základní informace o materiálu

Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	1,13
Teplota tavení (°C)	260
Teplota vstřikování (°C)	280 – 300
Teplota formy (°C)	40 – 80
Smrštění (%)	0,85
Index toku taveniny (g/10min)	100
Modul pružnosti (MPa)	3000/1100

Polyamidy jsou materiály, které se zpracovávají při teplotách o něco málo vyšších než běžné materiály jako PP či PE. Vstřikování výrobků z tohoto materiálu s sebou přinášelo jenom problém, týkající se přetoků (obr. 68), které byly redukovány velikostí vstřikovacího tlaku a velikostí dotlaku. Tyto mají totiž na velikost přetoku zásadní vliv. Nebyly pozorovány žádné další vady jako např. bubliny nebo spálená místa. Tyto se velmi špatně na výrobku identifikují, protože se nejedná o transparentní materiál.

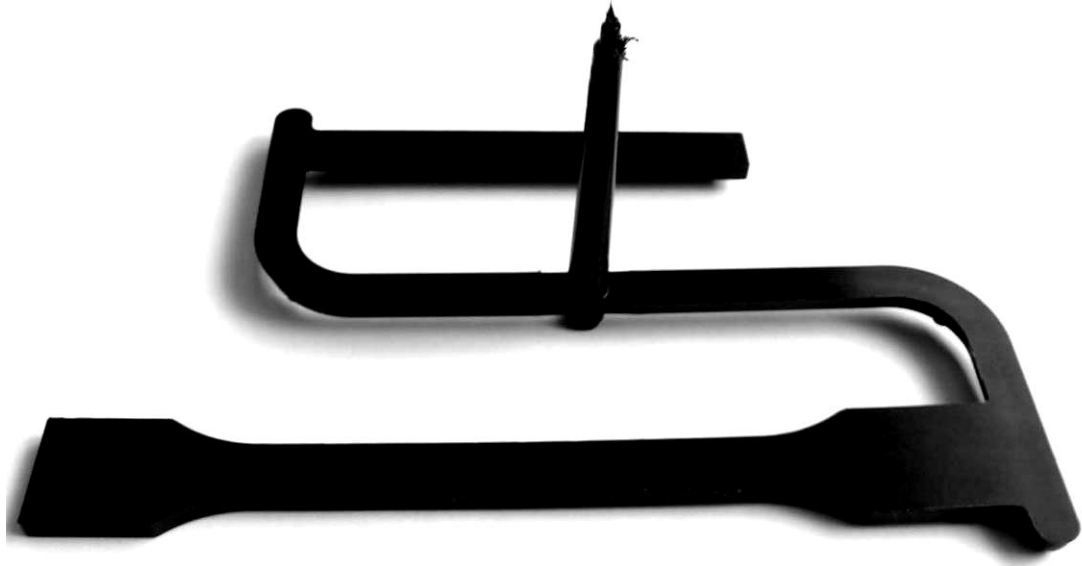


Obr. 68 PA66 – Výrobek s přetoky



Optimalizací tedy bylo dosaženo finálního výrobku bez vad, který měl hmotnost 23,19 g. Jeho hmotnost je sice menší než u prvního výrobku (24,27 g), ale to bylo způsobeno tím, že první výrobky obsahovaly přetoky.

Nastavení procesních podmínek dobrých výrobků (obr. 69) obsahuje Příloha V.



*Obr. 69 PA66 – Konečný výrobek*

## 12 OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66

Optimalizace destiček z materiálu PA66 byla provedena s materiálem PA66 s obchodním označením Ultramid A3W od německého výrobce BASF. Základní informace o materiálu shrnuje Tab. 15. Součástí přípravy materiálu na samotnou optimalizaci bylo sušení při 80 °C po dobu 4 hodin.

*Tab. 15 Základní informace o materiálu*

Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	1,13
Teplota tavení (°C)	260
Teplota vstřikování (°C)	280 – 300
Teplota formy (°C)	40 – 80
Smrštění (%)	0,85
Index toku taveniny (g/10min)	100
Modul pružnosti (vysušený, kondiciovaný) (MPa)	3000/1100

Procesní podmínky při vstřikování byly nastaveny dle doporučení výrobce materiálu. Nicméně se při optimalizaci vstřikovacího cyklu i u této formy vyskytovaly tytéž problémy jako u vstřikování zkušebních tělísek. Opět byly první kusy s přetoky (obr. 70), které bylo nutno eliminovat velikostí vstřikovacího tlaku. Spolu s přetoky byl výrobek také deformován průhybem, což bylo způsobeno krátkou dobou chlazení a působení dotlaku.



*Obr. 70 PA66 – Výrobek s přetoky*

Hmotnost prvního výrobku vstříkovaného do středu destičky kuželovým vtokem (obr. 71), byla 36,40 g (i s přetoky), optimalizovaného dílu 33,03 g. Vzhledově měl výrobek velmi lesklý povrch.



*Obr. 71 PA66 – konečný výrobek*

Při vstříkování destiček bokem byla použita speciálně upravená forma, která umožňovala otáčení vtoků. Použitím bočního filmového vtoku se vyskytovala vada přímo u vtoku (obr. 72), kde byly vidět plastické švy toku taveniny. Tato závada se kompenzovala nižší rychlostí vstříkování. Po zoptimalizování měl výsledný výstřik i s vtokovým systémem (obr. 73) hmotnost 47,72 g.



*Obr. 72 PA66 – vady u vtoku*



*Obr. 73 PA66 – konečný výrobek s bočním vtokem*

Při posledním umístění filmového vtoku v rohu destičky, se nevyskytovaly při optimalizaci žádná závady. Výsledný zoptimalizovaný výrobek měl hmotnost 47,59 g. Hmotnost výrobku byla na váze určena i s vtokovým systémem (obr. 74).



*Obr. 74 PA66 – konečný výrobek s rohovým filmovým vtokem*

Procesní podmínky destiček z materiálu PA66 jsou obsaženy v Příloze VI.

### 13 OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66, 15 % SKELNÝCH VLÁKEN

Při optimalizaci výrobku na stejné formě byl použit jiný materiál od stejnojmenného výrobce – německé firmy BASF, a to s označením Ultramid A3WG3. Jde o materiál PA66 plněný skelnými vlákny, což označuje G3 v názvu. Pro procentuální vyjádření množství skelných vláken je vždy nutné poslední číslo vynásobit pěti, tzn., že materiál obsahuje 15 % skelných vláken.

Tento materiál se pro svoje vlastnosti používá jako náhrada méně zatěžovaných strojních součástí a s výhodou se ho používá také jako elektroizolačního materiálu v elektrotechnickém průmyslu.

Materiál s tímto malým procentem skelných vláken se zpracovává na vstřikovacím stroji za stejných teplotních podmínek (tab. 16). Má však o něco vyšší hustotu a také menší smrštění proti čistému materiálu PA66 Ultramid A3W. Lepší jsou i mechanické vlastnosti a teplotu formy je možno nastavit na teplotu vyšší o 10 °C proti neplněnému materiálu. Jako samotný materiál PA66 bylo nutné i tento sušit po dobu 4 hodin při teplotě 80 °C.

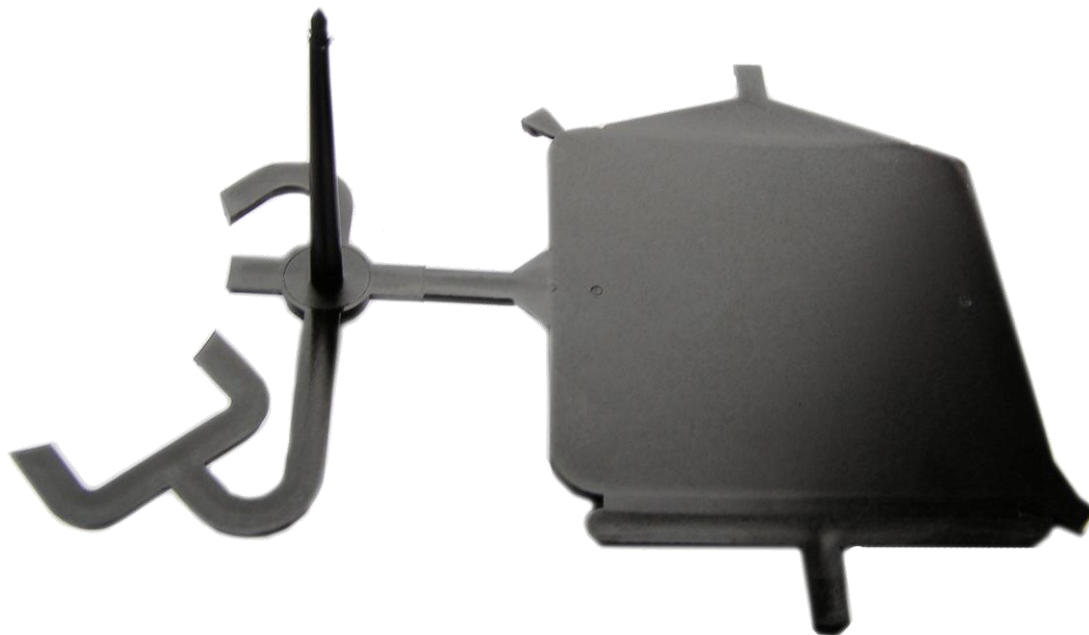
*Tab. 16 Základní informace o materiálu*

Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	1,23
Teplota tavení (°C)	260
Teplota vstřikování (°C)	280 – 300
Teplota formy (°C)	80 – 90
Smrštění (%)	0,75
Index toku taveniny (g/10min)	60
Modul pružnosti (vysušený, kondicionovaný) (MPa)	6000/4500

Proti neplněnému materiálu zde v optimalizaci vyšly rozdílné hodnoty vstřikovacího tlaku a dotlaku. To bylo dáno tím, že materiál při vstřikování kladl větší odpor, proto byly tyto hodnoty zvýšeny. Naopak zkrácena byla doba chlazení, a to díky vyšší teplotě formy, která byla nastavena na 80 °C.

Hmotnost zoptimalizovaných výrobků byla u destičky vstřikované kuželovým vtokem 35,79 g, u bočního vtoku 55,56 g (obr. 75) a u rohového vtoku 52,22 g (obr. 76)

Procesní podmínky výrobků vstřikovaných z tohoto materiálu obsahuje Příloha VII.



*Obr. 75 PA66 + 15 % skelných vláken – konečný výrobek s bočním vtokem*



*Obr. 76 PA66 + 15 % skelných vláken – konečný výrobek s rohovým  
filmovým vtokem*

## 14 OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66, 25 % SKELNÝCH VLÁKEN

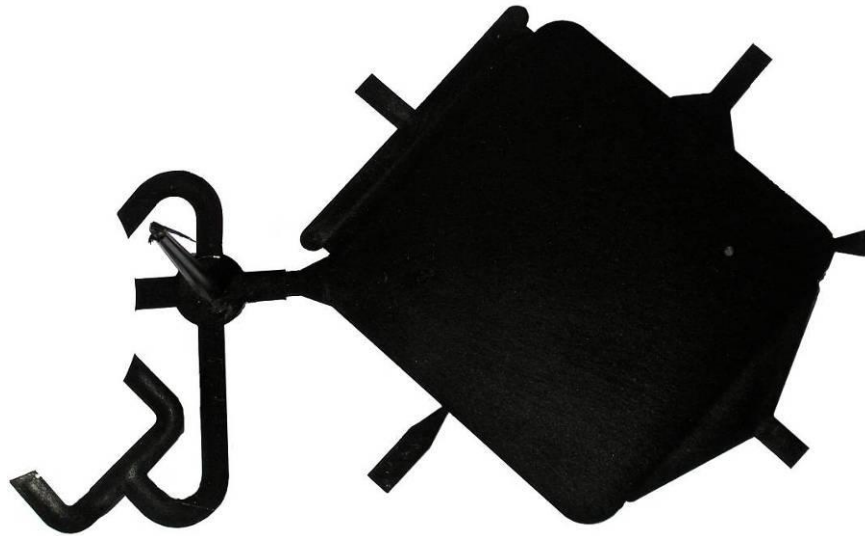
Ultramid A3WG5 je dalším materiálem, který byl použit k optimalizaci destiček. Jedná se o materiál s 25 % skelných vláken, kde jako základní materiál byl opět použit PA66. Základní informace o materiálu ukazuje tab. 17. Materiál byl opět sušen po dobu 4 hodin při 80 °C.

Materiál se vyznačuje tepelnou odolností a také odolností proti stárnutí. Používá se pro výrobu cívkových tělísek nebo také jako ložisková pouzdra. S výhodou se ho používá jako elektroizolačního materiálu.

*Tab. 17 Základní informace o materiálu*

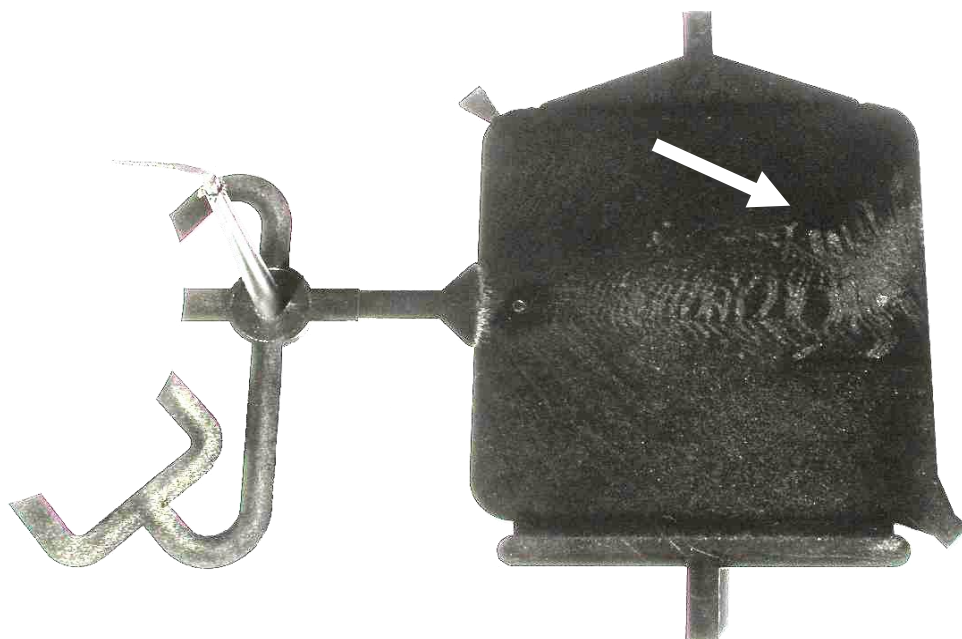
Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	1,32
Teplota tavení (°C)	260
Teplota vstřikování (°C)	280 – 300
Teplota formy (°C)	80 – 90
Smrštění (%)	0,55
Index toku taveniny (g/10min)	50
Modul pružnosti (vysušený, kondiciovaný) (MPa)	8600/6500

Vstřikování většího procenta skelných vláken s sebou přináší požadavky na větší vstřikovací tlak. Při postupné optimalizaci se proto nevyskytovaly vady typu přetoky. Nebyly pozorovány ani žádné jiné deformační vady. Pouze při vstřikování do středu destičky kuželovým vtokovým kanálem docházelo opět místy k uvíznutí výstřiku na opačné straně formy. Proto bylo nutné občas očistit z trysky přetečený materiál, aby nebránil vytrhnutí destičky z kuželového vtokového kanálu. Zoptimalizovaný výrobek destičky s kuželovým vtokem měl hmotnost 38,43 g. Hmotnost výrobku s rohovým vtokem byla po zoptimalizování 55,73 g (obr. 77).



*Obr. 77 PA66 + 25 % skelných vláken – konečný výrobek  
s rohovým filmovým vtokem*

Při vstřikování bočním filmovým vtokem (obr. 78) však docházelo k místní koncentraci a vystupování skelných vláken a to v takové míře, že nebylo možné považovat výrobek za dobrý (obr. 79). Příčinou bylo značná nerovnost a hrubý povrch výrobku. Při postupném otočení vtoků do dutiny formy bylo zjištěno, že se tento problém u vtoků s dostatečnou možností tečení polymeru nevyskytuje. Důvodem výskytu této vady tedy zřejmě bylo špatně navržené vtokové ústí, respektive pro takový obsah skelných vláken již není vtok vyhovující.

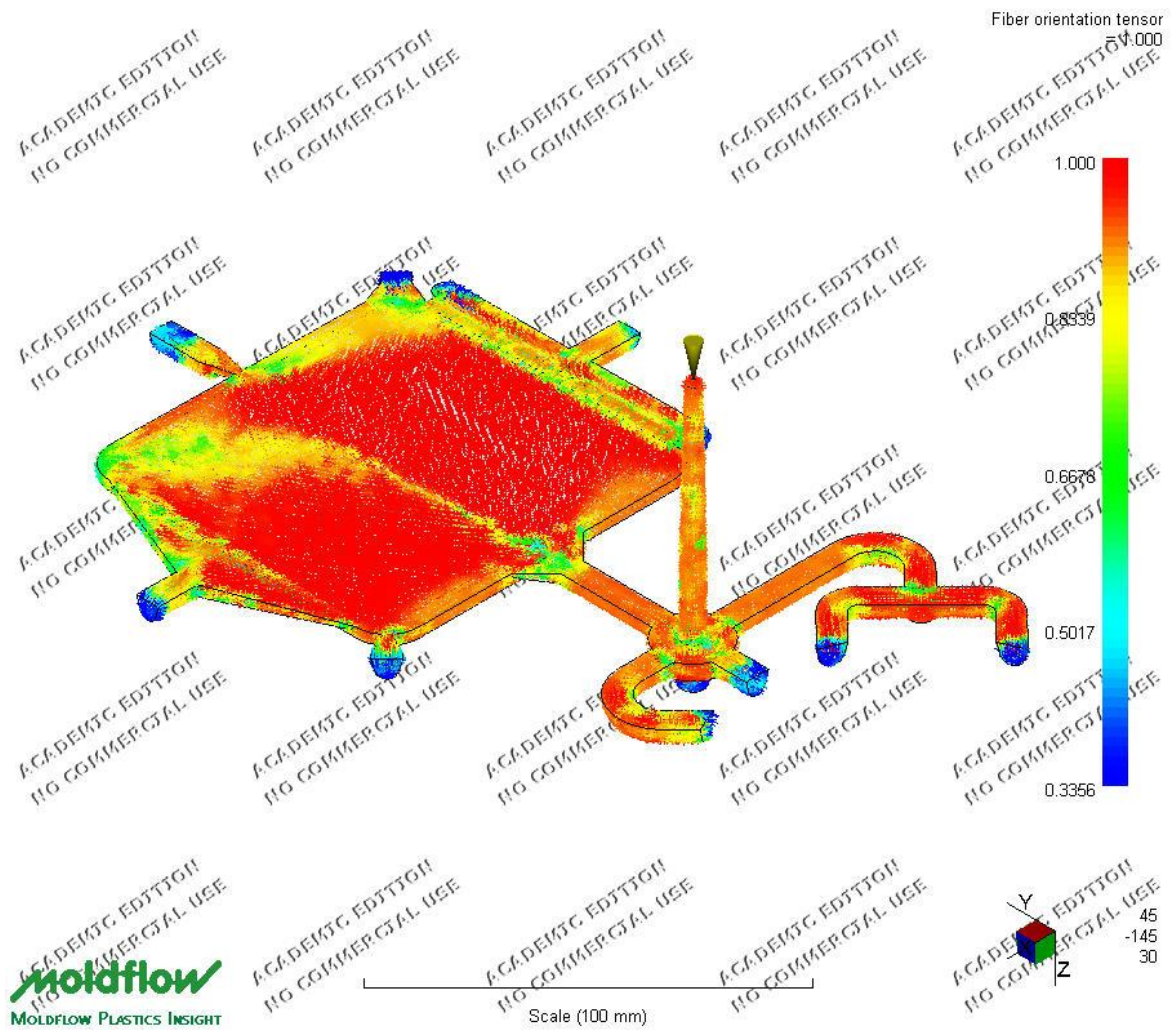


*Obr. 78 PA66 + 25 % skelných vláken – konečný výrobek s bočním vtokem*





Obr. 79 PA66 + 25 % skelných vláken – koncentrace skelných vláken

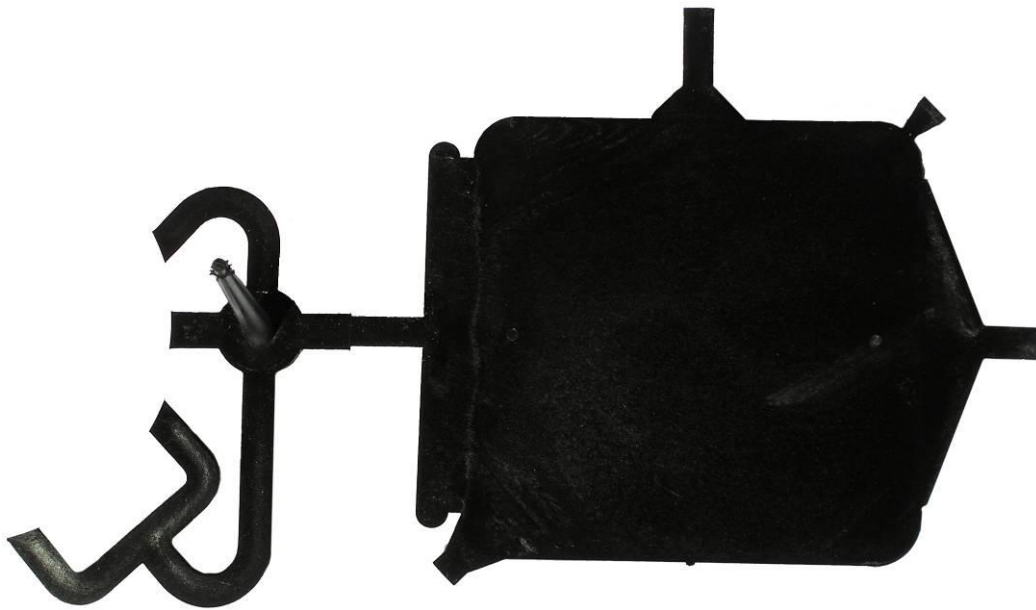


Obr. 80 PA66 + 25 % skelných vláken – koncentrace skelných vláken  
z analýzy Moldflow

Obdobné výsledky ukázala i analýza z programu Moldflow Platic Insight 6.2. Ačkoli je nutné brát výsledky analýz s rezervou a jsou spíše informativní, v tomto případě se skutečný výrobek opravdu shodoval se simulací.

Bylo tedy přistoupeno k řešení, kdy pro další optimalizaci byl použit širší filmový vtok (obr. 81). U tohoto typu vtoku nebyly pozorovány žádné defekty jako v předchozím případě. Zoptimalizovaný výrobek měl hmotnost 55,02 g.

Procesní podmínky zoptimalizovaných destiček z PA66 + 25 % skelných vláken obsahuje příloha VIII.



*Obr. 81 PA66 + 25 % skelných vláken – konečný výrobek s širokým bočním filmovým vtokem*

## 15 OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66, 30 % SKELNÝCH VLÁKEN

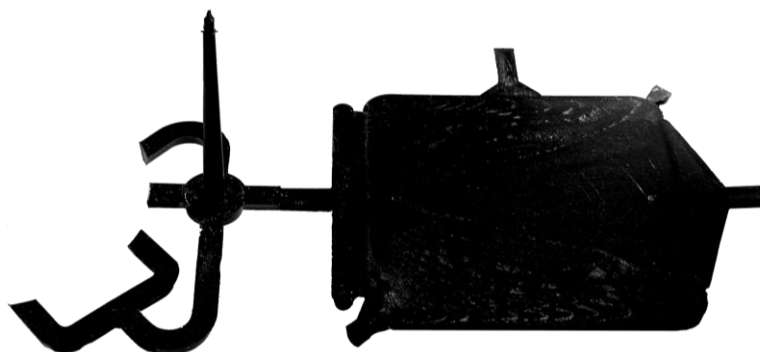
Materiál PA66 s 30% skelných vláken nese obchodní označení Ultramid A3WG6. Jedná se opět o jeden z konstrukčních materiálů. Základní informace o materiálu ukazuje tab. 18.

Tento typ materiálu se vyznačuje tepelnou odolností a také odolností proti stárnutí. Je možné ho použít jako součásti strojů, objímky, větráky, vodní nádoby pro chladicí zařízení automobilů.

Tab. 18 Základní informace o materiálu

Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	1,36
Teplota tavení (°C)	260
Teplota vstřikování (°C)	280 – 300
Teplota formy (°C)	80 – 90
Smrštění (%)	0,55
Index toku taveniny (g/10min)	40
Modul pružnosti (vysušený, kondicionovaný) (MPa)	10000/7200

Vstřikování kuželovým vtokem bylo bezproblémové, hmotnost zoptimalizovaného výrobku byla 39,55 g. Při vstřikování tohoto materiálu do druhé formy dutiny formy byl pozorován jev, kdy docházelo k vystupování skelných vláken na povrch výrobku (obr. 82). Z toho lze usuzovat, že filmový vtok není příliš vhodný ke vstřikování výrobku s obsahem skelných vláken, které se v místě vtoku kumulují a posléze vystupují na povrch. Výrobek však má hladký povrch a nemá nerovnosti jako v dalším případě (obr. 83), kdy nelze výrobky použít. Hmotnost zoptimalizovaného výrobku s širokým bočním vtokem byla 56,20 g.



Obr. 82 PA66 + 30 % skelných vláken – konečný výrobek s širokým bočním filmovým vtokem



*Obr. 83 PA66 + 30 % skelných vláken – konečný výrobek  
s bočním vtokem*

Umístění vtoku v rohu destičky (obr. 84) se jeví jako dobré řešení pro vstřikování materiálu s obsahem skelných vláken. Důvodem byl zřejmě širší a hlubší vtokový kanál, který nekladl skelným vláknům žádnou překážku, a proto bylo vstřikování úspěšně zoptimalizováno. Hmotnost zoptimalizovaného výrobku byla 57,19 g.

Procesní podmínky nastavené na vstřikovacím stroji obsahuje Příloha IX.



*Obr. 84 PA66 + 30 % skelných vláken – konečný výrobek  
s rohovým filmovým vtokem*

## 16 OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66, 35 % SKELNÝCH VLÁKEN

PA66 s 35% skelných vláken od německého výrobce BASF má obchodní označení A3WG7. Obsah skla v tomto materiálu určuje také způsob a vlastnosti použitých výrobků. Proto se ho s výhodou používá jako průmyslového materiálu zejména na ozubená kola, součásti automobilového a elektrotechnického průmyslu. Základní informace o materiálu jsou v tab. 19.

Tab. 19 Základní informace o materiálu

Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	1,41
Teplota tavení (°C)	260
Teplota vstřikování (°C)	280 – 300
Teplota formy (°C)	80 – 90
Smrštění (%)	0,55
Index toku taveniny (g/10min)	40
Modul pružnosti (vysušený, kondiciovaný) (MPa)	11500/8500

Při optimalizaci byl zkusmo opět vyzkoušen boční vtok (obr. 85), bylo však zjištěno, že problém s koncentrací skelných vláken ve směru toku přetrvává a to i s drsností povrchu.



Obr. 85 PA66 + 35 % skelných vláken – konečný výrobek s bočním vtokem



*Obr. 86 PA66 + 35 % skelných vláken – konečný výrobek s širokým bočním filmovým vtokem*

Procesní podmínky, které byly použity při výrobě destiček z materiálu Ultamid A3WG7 obsahuje Příloha X. Hmotnost výrobku vstříkovaného kuželovým vtokem byla 41,13 g, širokým bočním vtoke 57,81 g (obr. 86) a rohovým vtokem 58,18 g (obr. 87).



*Obr. 87 PA66 + 35 % skelných vláken – konečný výrobek s rohovým filmovým vtokem*

## 17 OPTIMALIZACE DESTIČEK – PA66, 50 % SKELNÝCH VLÁKEN

Dalším materiál pro vstřikování destiček byl PA66 s označením A3WG10. Jeho obsah skelných vláken činí 50%. Proti předchozím použitým PA66 s obsahy skelných vláken má tento nejvyšší hustotu. Také zpracovatelské podmínky (tab. 20) jsou mírně odlišné od předchozích materiálů. Je zde vyšší teplota vstřikování, která může dosahovat i 310 °C. Tato vyšší teplota umožňuje materiálu lepší tečení, protože obsahuje 50 % skelných vláken, které do jisté míry zhoršují tokové vlastnosti materiálu. Proti tomu se však materiál vyznačuje vysokou tepelnou odolností a vysokou tuhostí a proto je používán jako konstrukční materiál.

*Tab. 20 Základní informace o materiálu*

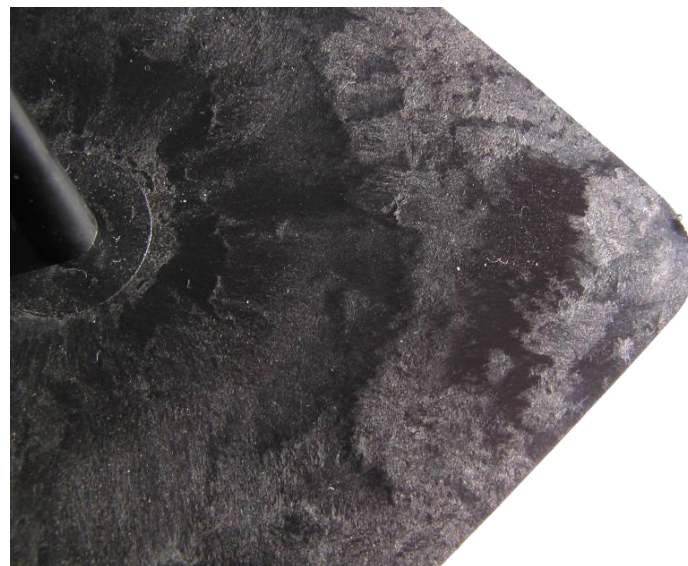
Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	1,55
Teplota tavení (°C)	260
Teplota vstřikování (°C)	290 – 310
Teplota formy (°C)	80 – 90
Smrštění (%)	0,45
Index toku taveniny (g/10min)	20
Modul pružnosti (vysušený, kondiciovaný) (MPa)	16800/12500

Při vstřikování do středu destičky se nevyskytovaly přetoky. Výrobek zde byl pouze při optimalizaci značně nedotečený, což vyřešila optimalizace cyklu samotná. Byla tak zvýšena vstřikovací rychlost a také vstřikovací tlak. Povrch výrobku byl matný, vystupovaly zde na povrch části skelných vláken (obr. 88).

Obtížné bylo také vyjímání výstřiku z formy, resp. jeho druhé části, protože výrobek nezůstával v dutině formy, aby mohl být vyhozen vyhazovači. Zůstával viset na hladké části i s vtokovým ústím. Jeho vyjmutí nebylo snadné, protože forma byla temperována na 80 °C a zároveň při delší prodlevě nebylo téměř možné materiál i s vtokem z formy vytrhnout. Příčinou bylo obtékání materiálu kolem trysky, který pak výstřik držel v této části formy. Proto bylo nutné občas přistoupit ke kontrole a očištění trysky od materiálu.



*Obr. 88 PA66 + 50 % skelných vláken – vystupování  
skelných vláken na povrch*



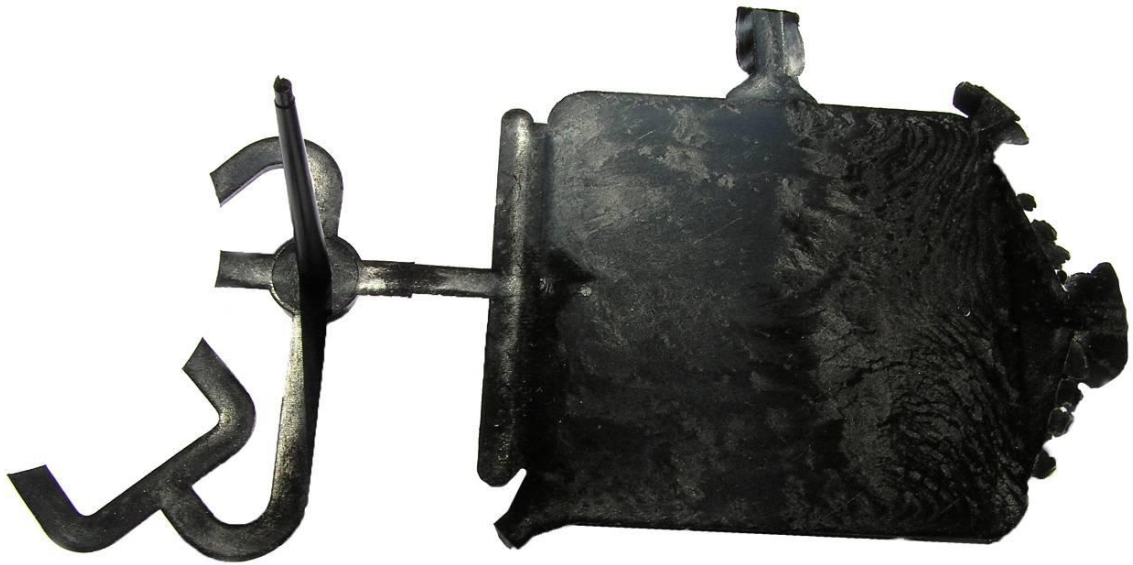
*Obr. 89 PA66 + 50 % skelných vláken – vystupování  
skelných vláken na povrch*

Vstřikování dílu s širokým bočním filmovým vtokem s sebou přinášelo vady jako přetoky (obr. 90) a vystupování skelných vláken na povrch výrobku. Optimalizací byl snížen vstři-



kovací tlak a to zamezilo vzniku přetoků. Skelná vlákna na povrchu byly jen vzhledovou vadou, nebyly pozorovány žádné jevy jako studené spoje apod. Vzhledem k tomu, že forma je použita na velké množství materiálů, jediné řešení, jak tuto vadu odstranit, představuje změna vtokového systému do dutiny formy.

Procesní podmínky zoptimalizovaných výrobků obsahuje Příloha XI. Hmotnost jednotlivých výrobku byla u kuželového vtoku 45,83 g (obr. 88), širokého bočního vtoku 64,59 g (obr. 90) a u rohového vtoku 66,32 g (obr. 91).



*Obr. 90 PA66 + 50 % skelných vláken – přetoky na výrobku*



*Obr. 91 PA66 + 50 % skelných vláken – konečný výrobek s rohovým  
filmovým vtokem*

## 18 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Zadání diplomové práce vyžadovalo zoptimalizování podmínek vstřikování plastových dílů tak, aby vyhovovaly svou kvalitou a splnily požadavky, pro které jsou určeny.

Pro první materiál (PP + 30% skelných vláken) byl použit moderní způsob použití softwarového řešení problematiky optimalizace plastových dílů. Pomocí všech dostupných metod došlo k úspěšnému zoptimalizování. Manuální, automatický a poloautomatický proces optimalizace nevyžadují pro svou práci žádné předchozí analýzy z programu Moldflow Plastic Insight 6.2. Bylo potřeba zadávat údaje, které pomáhaly softwaru vyladit procesní podmínky tak, aby bylo možné vstřikovat kvalitní díly bez žádných vad a defektů. Data z CAE softwaru pomohla optimalizaci přiblížit skutečné realitě a výsledky tak lze považovat za nejlepší. Z nastavení procesních parametrů je však patrné, že by se vhodným zásahem daly podmínky upravit, protože obsahují např. stejné hodnoty dotlaků za sebou, přičemž každý působí jinou dobu. Nahrazení jedné hodnoty dotlaku po celkovou dobu působení obou je jistě jen detail, ale z toho je zřejmé, že i přes optimalizaci pomocí softwaru bude občas zásah obsluhy do zoptimalizovaného procesu nutný. Co se týká vyskytujících se vad, ve všech případech se vyskytovaly stejné typy, tj. spálená místa (Dieselův efekt) a propadliny. Spáleniny byly v části výstřiku, který slouží k určení vrubové houževnatosti materiálu. Pomocí všech metod byly tyto nežádoucí jevy odstraněny a výrobky tak bylo možno označit jako dobré, protože splňovaly jakostní požadavky.

Při ruční optimalizaci se postupovalo tím stylem, že se nastavily střední doporučené hodnoty jak pro materiál, tak pro formu. První z ručně optimalizovaných materiálů byl PMMA. Vstřikování tohoto transparentního materiálu s sebou přinášelo několik vad, a to zejména v podobě uzavřených bublin, které byly způsobeny tepelným rozkladem materiálu při vstřikování. Snížením teploty vstřikování došlo k zamezení vzniku tohoto defektu. Eliminace nečistot v podobě zbytků předchozích materiálů je vada, která se při dobrém vyčištění stroje vyskytovat nebude.

Materiál HDPE se vyznačuje především velkým smrštěním. Řešením této vady bylo hledání optimální velikosti dotlaku a doby jeho působení. Místy se objevovaly i vzduchové bubliny, které byly viditelné pouze proti světlu, tak bylo přistoupeno ke snížení vstřikovací rychlosti.

Vstřikování výrobků tělísek a destiček z materiálu PA66 s sebou přinášelo problémy týkající se především přetoků. Předpoklady ke vzniku této vady má sám materiál, který se vyznačoval dobrou zatékavostí. K odstranění vady stačilo pouze snížit velikost vstřikovacího tlaku a dotlaku. Občas bylo možno pozorovat též vadu, kdy při otvírání formy materiál táhl vlákno – PA66 je vláknatý materiál. Tento problém by vyřešila uzavíratelná tryska.

PA66 s různým procentem plnění skelnými vlákny bylo náplní optimalizace dvou různých forem, z nichž u jedné bylo možné měnit vtokový systém. Forma s kuželovým vtokem umožňovala vstřikování výrobků bez žádných větších problémů. Důvodem bylo zřejmě to, že forma je jednoduchá a vstřikování probíhá do středu dutiny formy, což je pro daný výrobek nejlepší, protože tavenina zaplnila dutinu formy ve všech místech současně. Jedinou vadou, která se u této formy vyskytovala, bylo vystupování skelných vláken na povrch výrobku, což při 50 % skelných vláken úplně omezit nejde, ale na funkčnost tohoto výrobku to nebude mít vliv. Občas se dále u většího procenta plnění vyskytoval problém mezi tryskou plastikační jednotky a vtokovou vložkou, kde místy docházelo k protékání materiálu, což mělo za následek, že výstřik pak zůstával na opačné straně formy, kde byl spojen s obteklým materiálem a nebylo možné ho vyjmout. Proto bylo přistupováno k občasnému čištění, aby se tento problém odstranil.

Možnost měnit vtokové ústí na formě druhé s sebou přinášelo již více problémů. V omezené míře se zde vyskytovaly hlavně přetoky. Vstřikování vyššími tlaky a rychlostmi bylo nutné především z toho důvodu, že forma je tvarově podstatně složitější a bylo potřeba, aby tavenina zatekla do všech míst. Výrazně závažnějším problémem bylo koncentrování skelných vláken ve směru toku, které se začalo vyskytovat od materiálu PA66 s 25 % plněním skelnými vlákny. Destičky měly nekvalitní povrch s vysokou drsností a nebylo je tedy možné považovat za kvalitní. Výsledek optimalizace potvrdila i simulace v CAE softwaru Moldflow Plastic Insight 6.2, kde bylo možno pozorovat vznik nestabilit při plnění vstřikovací formy. Protože nebylo možné problém optimalizací vyřešit, bylo přistoupeno ke změně vtokového ústí, u kterého by se tato vada nevyskytovala. Optimalizace výrobků pak probíhala bez problémů a bylo ji možno považovat za úspěšnou.

Nastavení procesních parametrů všech optimalizovaných dílů bylo uloženo na disketu vstřikovacího stroje a jsou k nahlédnutí v přílohách této práce.

## ZÁVĚR

Dle zadání byly splněny požadavky na zoptimalizování vstřikovaných výrobků za použití různých materiálů. Prvním krokem před samotnou optimalizací bylo zjištění procesních parametrů daného materiálu. Tyto hodnoty byly zadány do programu Moldflow Plastic Insight 6.2, na základě nichž program provedl předběžnou analýzu vstřikovacího procesu. V případech teplotních nebo tlakových rozptylů používaných při vstřikování těchto materiálů byla volena střední hodnota. Po provedení analýz byly soubory s výsledky nahrány do programu Moldflow Plastic Xpert, který slouží pro optimalizaci samotnou.

Výsledky optimalizace PP s 30% skelných vláken s pomocí CAE analýzy se ukázaly jako nejlepší. MPX tak má před průběhem samotné optimalizace z Moldflow Plastic Insight 6.2 dostatek informací k tomu, aby proces úspěšně zoptimalizoval s minimálními zásahy obsluhy. Odpadá jakékoliv zadávání a specifikování bližších informací programu, které jsou nutné při automatickém, poloautomatickém nebo manuálnímu procesu optimalizace. Absencí jakékoliv volby, která by umožnila návrat k přecházejícím krokům, nutí obsluhu více předvídat zadávání vstupních parametrů v návaznosti na výskyt možných závad a problémů při optimalizaci. Pro úspěšně zoptimalizování při automatickém, poloautomatickém a manuálním procesu optimalizace je tak nutné mít více zkušeností.

Materiály, které nebyly optimalizovány pomocí Moldflow Plastic Xpert byly optimalizovány ručně přes řídicí systém Selogica. Tímto způsobem bylo dosaženo obdobných výsledků jako při použití softwarové optimalizace. U složitých dílů se však optimalizace pomocí Moldflow Plastic Xpert může stát dobrým pomocníkem, který by mohl řešit obtížné nastavení procesních parametrů.

Vzhledem k tomu, že se formy navrhují pro jeden typ materiálu, lze zoptimalizování jiného materiálu, než pro který byla forma navržena, považovat za úspěšné. Nejvíce se tento fakt projevil při vstřikování destiček, kdy množství skelných vláken znemožňovalo vstřikování dobrých výrobků při jednom z vtoků.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] RYBNÍKÁŘ, František. *Makromolekulární chemie*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta technologická ve Zlíně, 2000. 105 s. ISBN 80-214-1556-8
- [2] PROKOPOVÁ, Irena. *Makromolekulární chemie*. 2. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 2006. 280 s. ISBN 80-7080-662-3
- [3] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: Výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 1. vyd. Praha: VŠCHT Praha, 2005. 354 s. ISBN 80-7080-241-3
- [4] MAŇAS, Miroslav. *Aplikovaná reologie*. 1. vyd. Zlín: UTB, 2001. 143 s. ISBN 80-7318-039-1
- [5] CAMPO, E. Alfredo. *Complete Part Design Handbook: For Injection Molding of Thermoplastics*. Munich: Hanser Publisher, 2006. 868 p. ISBN 978-1-60119-152-6
- [6] BEAUMONT P. John. *Successful Injection Molding: Process, Design, and Simulation*. Munich: Hanser Publisher, 2002. 362 p. ISBN 3-446-19433-9
- [7] OSSWALD A, Tim. *Injection molding handbook*. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2008. 764 p. ISBN 978-3446-40781-7
- [8] MLEZIVA, Josef. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Brno: Sobotáles, 1993. 528 s. ISBN 80-901570-4-1
- [9] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: 1.díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: Uniplast Brno, 1999. 134 s.
- [10] ŠTĚPEK, Jiří. *Technologie zpracování a vlastnosti plastu*. 1. vyd. Praha: SNTL/Alfa, 1989. 638 s.
- [11] HARPER A., Charles. *Handbook of plastic processes*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006. 743 p. ISBN 978-0-471-66255-6
- [12] MAŇAS, Miroslav. *Výrobní stroje a zařízení: Stroje gumárenské a plastikářské I*. 1. vyd. Zlín: UTB, 2007. 264 s. ISBN 978-80-7318-596-1
- [13] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: 2.díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno-Kníničky: Uniplast Brno, 1999. 214 s.

- 
- [14] Plastics Wiki, the free plasticopedia. [cit 15.01.2009] Dostupný z WWW: <[http://www.plastics.inwiki.org/Clamping\\_unit](http://www.plastics.inwiki.org/Clamping_unit)>
- [15] Moldflow Plastic Xpert. User manual, Moldflow corporation, 2006
- [16] HUDCOVIČ M. *Využití optimalizace vstřikovacího procesu při výrobě plastových dílů*. Diplomová práce, 2008
- [17] RAUWENDAAL, Chris. *SPC: Statistical Process Control in Injection Molding and Extrusion*. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2008. 250 p. ISBN 978-1-56990-427-5

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
CAE	Computer aided design
HDPE	High Density Polyethylene
ks	kus
LDPE	Low Density Polyethylene
MPA	Moldflow Plastic Adviser
MPI	Moldflow Plastic Insight
MPX	Moldflow Plasti Xpert
p	tlak
PA	Polyamid
PA6	Polyamid 6
PA66	Polyamid 66
PBT	Polybutylentereftalát
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PET	Polyethylentereftalát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
SPE	Society of Plastics Engineers
t	čas
T	Teplota
v	měrný objem

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Rozdělení polymerních materiálů.....</i>	11
<i>Obr. 2 Makromolekulární řetězce.....</i>	12
<i>Obr. 3 Roubovaný kopolymer [3] .....</i>	13
<i>Obr. 4 Struktury polymeru .....</i>	14
<i>Obr. 5 Termomechanické křivky polymerů [4] .....</i>	15
<i>Obr. 6 Reologické modely [4] .....</i>	16
<i>Obr. 7 Závislost viskozity a smykové rychlosti[6] .....</i>	17
<i>Obr. 8 Fontánový tok [6] .....</i>	18
<i>Obr. 9 Výstup taveniny z ústí vtoku [7] .....</i>	18
<i>Obr. 10 Injekční stříkačka z PP .....</i>	19
<i>Obr. 11 Typický výrobek z ABS.....</i>	21
<i>Obr. 12 Ozubené kola z PA6.....</i>	22
<i>Obr. 13 Světlo z PMMA .....</i>	23
<i>Obr. 14 Konstrukční díl z PC.....</i>	24
<i>Obr. 15 Recyklační trojúhelník PET.....</i>	27
<i>Obr. 16 Tvary zásobníků [12] .....</i>	29
<i>Obr. 17 Vstřikovací cyklus [7].....</i>	30
<i>Obr. 18 Cyklus formy.....</i>	31
<i>Obr. 19 Průběh cyklu v p-v-T diagramu.....</i>	32
<i>Obr. 20 Vstřikovací diagram .....</i>	32
<i>Obr. 21 Vpadliny.....</i>	34
<i>Obr. 22 Stříbrné pruhy.....</i>	34
<i>Obr. 23 Přetoky na výrobku.....</i>	35
<i>Obr. 24 Stokové čáry.....</i>	35
<i>Obr. 25 Vstřikovací stroj .....</i>	36
<i>Obr. 26 Souosost trysky a vtokové vložky [9] .....</i>	37
<i>Obr. 27 Mechanické kloubové uzavírání [11] .....</i>	38
<i>Obr. 28 Hydraulické uzavírání formy [11].....</i>	39
<i>Obr. 29 Vstřikovací forma .....</i>	40
<i>Obr. 30 Volba nástroje a typu práce [15], [16] .....</i>	46
<i>Obr. 31 Způsoby nastavení procesu v MPX.....</i>	47



<i>Obr. 32</i> Možnosti volby průvodce nastavením MPX .....	47
<i>Obr. 33</i> Základní nastavení podmínek procesu [15], [16] .....	48
<i>Obr. 34</i> Kvalita výrobku závislá na rychlosti a dráze šneku .....	49
<i>Obr. 35</i> Možné závady na výrobku .....	50
<i>Obr. 36</i> Eliminace vad .....	52
<i>Obr. 37</i> Procesní okno .....	56
<i>Obr. 38</i> Vzhledové defekty .....	57
<i>Obr. 39</i> Rozměrové defekty .....	57
<i>Obr. 40</i> Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420C [16] .....	59
<i>Obr. 41</i> Ovládací panel stroje s řídicím systémem Selogica .....	60
<i>Obr. 42</i> Základní rozměry výrobku zkušebních tělísek .....	61
<i>Obr. 43</i> Základní rozměry výrobku destičky s kuželovým vtokem.....	62
<i>Obr. 44</i> Základní rozměry výrobku destičky s různými vtoky .....	62
<i>Obr. 45</i> PP + 30 % skelných vláken – zaplnění dutiny formy z 80 – 90% .....	64
<i>Obr. 46</i> PP + 30 % skelných vláken – zaplnění dutiny formy z 93 – 99% .....	64
<i>Obr. 47</i> Optimalizace dotlakové fáze při vstřikování .....	65
<i>Obr. 48</i> Konečná eliminace vad na výstřiku a) spálené místo b) optimalizované místo .....	66
<i>Obr. 49</i> Počáteční a konečný rychlostní profil .....	67
<i>Obr. 50</i> Počáteční a konečný tlakový profil.....	67
<i>Obr. 51</i> Optimalizace dotlakové fáze při vstřikování .....	68
<i>Obr. 52</i> Počáteční a konečný rychlostní profil .....	69
<i>Obr. 53</i> Počáteční a konečný tlakový profil.....	69
<i>Obr. 54</i> Optimalizace dotlakové fáze při vstřikování .....	70
<i>Obr. 55</i> Počáteční a konečný rychlostní profil .....	71
<i>Obr. 56</i> Počáteční a konečný tlakový profil.....	71
<i>Obr. 57</i> Optimalizace dotlakové fáze při vstřikování .....	72
<i>Obr. 58</i> Počáteční a konečný rychlostní profil .....	73
<i>Obr. 59</i> Počáteční a konečný tlakový profil.....	73
<i>Obr. 60</i> PP + 30 % skelných vláken – konečný výrobek a jeho deformace.....	73
<i>Obr. 61</i> PP + 30 % skelných vláken – deformace výrobku z CAE analýzy .....	74
<i>Obr. 62</i> PMMA – nedotečený výrobek.....	75
<i>Obr. 63</i> PMMA – test bubliny .....	76
<i>Obr. 64</i> PMMA – nečistoty a bublina .....	76

<i>Obr. 65 PMMA – konečný výrobek</i> .....	77
<i>Obr. 66 HDPE – Vada na zkušebním tělísku</i> .....	79
<i>Obr. 67 HDPE – Konečný výrobek</i> .....	79
<i>Obr. 68 PA66 – Výrobek s přetoky</i> .....	80
<i>Obr. 69 PA66 – Konečný výrobek</i> .....	81
<i>Obr. 70 PA66 – Výrobek s přetoky</i> .....	82
<i>Obr. 71 PA66 – konečný výrobek</i> .....	83
<i>Obr. 72 PA66 – vady u vtoku</i> .....	83
<i>Obr. 73 PA66 – konečný výrobek s bočním vtokem</i> .....	84
<i>Obr. 74 PA66 – konečný výrobek s rohovým filmovým vtokem</i> .....	84
<i>Obr. 75 PA66 + 15 % skelných vláken – konečný výrobek s bočním vtokem</i> .....	86
<i>Obr. 76 PA66 + 15 % skelných vláken – konečný výrobek s rohovým filmovým vtokem</i> .....	86
<i>Obr. 77 PA66 + 25 % skelných vláken – konečný výrobek s rohovým filmovým vtokem</i> .....	88
<i>Obr. 78 PA66 + 25 % skelných vláken – konečný výrobek s bočním vtokem</i> .....	88
<i>Obr. 79 PA66 + 25 % skelných vláken – koncentrace skelných vláken</i> .....	89
<i>Obr. 80 PA66 + 25 % skelných vláken – koncentrace skelných vláken z analýzy Moldflow</i> .....	89
<i>Obr. 81 PA66 + 25 % skelných vláken – konečný výrobek s širokým bočním filmovým vtokem</i> .....	90
<i>Obr. 82 PA66 + 30 % skelných vláken – konečný výrobek s širokým bočním filmovým vtokem</i> .....	91
<i>Obr. 83 PA66 + 30 % skelných vláken – konečný výrobek s bočním vtokem</i> .....	92
<i>Obr. 84 PA66 + 30 % skelných vláken – konečný výrobek s rohovým filmovým vtokem</i> .....	92
<i>Obr. 85 PA66 + 35 % skelných vláken – konečný výrobek s bočním vtokem</i> .....	93
<i>Obr. 86 PA66 + 35 % skelných vláken – konečný výrobek s širokým bočním filmovým vtokem</i> .....	94
<i>Obr. 87 PA66 + 35 % skelných vláken – konečný výrobek s rohovým filmovým vtokem</i> .....	94
<i>Obr. 88 PA66 + 50 % skelných vláken – vystupování skelných vláken na povrch</i> .....	96
<i>Obr. 89 PA66 + 50 % skelných vláken – vystupování skelných vláken na povrch</i> .....	96

---

<i>Obr. 90 PA66 + 50 % skelných vláken – přetoky na výrobku .....</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 91 PA66 + 50 % skelných vláken – konečný výrobek s rohovým filmovým vtokem.....</i>	<i>97</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Číselné označení polymerů</i> .....	27
<i>Tab. 2 Teplotní parametry procesu [16]</i> .....	59
<i>Tab. 3 Teplotní parametry procesu</i> .....	63
<i>Tab. 4 Doba dotlaku versus hmotnost výrobku</i> .....	65
<i>Tab. 5 Počáteční a konečné podmínky procesu</i> .....	67
<i>Tab. 6 Doba dotlaku versus hmotnost výrobku</i> .....	68
<i>Tab. 7 Počáteční a konečné podmínky procesu</i> .....	70
<i>Tab. 8 Doba dotlaku versus hmotnost výrobku</i> .....	70
<i>Tab. 9 Počáteční a konečné podmínky procesu</i> .....	71
<i>Tab. 10 Doba dotlaku versus hmotnost výrobku</i> .....	72
<i>Tab. 11 Počáteční a konečné podmínky procesu</i> .....	72
<i>Tab. 12 Základní informace o materiálu</i> .....	75
<i>Tab. 13 Základní informace o materiálu</i> .....	78
<i>Tab. 14 Základní informace o materiálu</i> .....	80
<i>Tab. 15 Základní informace o materiálu</i> .....	82
<i>Tab. 16 Základní informace o materiálu</i> .....	85
<i>Tab. 17 Základní informace o materiálu</i> .....	87
<i>Tab. 18 Základní informace o materiálu</i> .....	91
<i>Tab. 19 Základní informace o materiálu</i> .....	93
<i>Tab. 20 Základní informace o materiálu</i> .....	95

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výsledky kontroly automatického procesu zkušebního tělíska

Příloha P II: Výsledky optimalizace zkušebních tělísek z PP + 30 % skelných vláken

Příloha P III: Výsledky optimalizace zkušebních tělísek z PMMA

Příloha P IV: Výsledky optimalizace zkušebních tělísek z HDPE

Příloha P V: Výsledky optimalizace zkušebních tělísek z PA66

Příloha P VI: Výsledky optimalizace destiček z PA66

Příloha P VII: Výsledky optimalizace destiček z PA66 + 15 % skelných vláken

Příloha P VIII: Výsledky optimalizace destiček z PA66 + 25 % skelných vláken

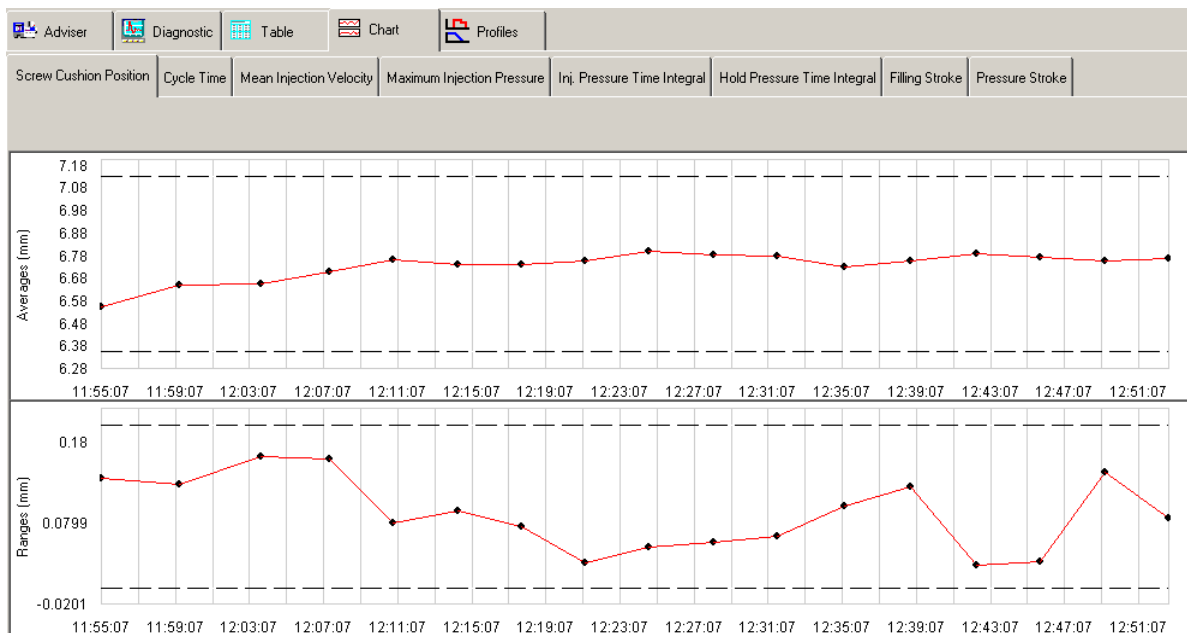
Příloha P IX: Výsledky optimalizace destiček z PA66 + 30 % skelných vláken

Příloha P X: Výsledky optimalizace destiček z PA66 + 35 % skelných vláken

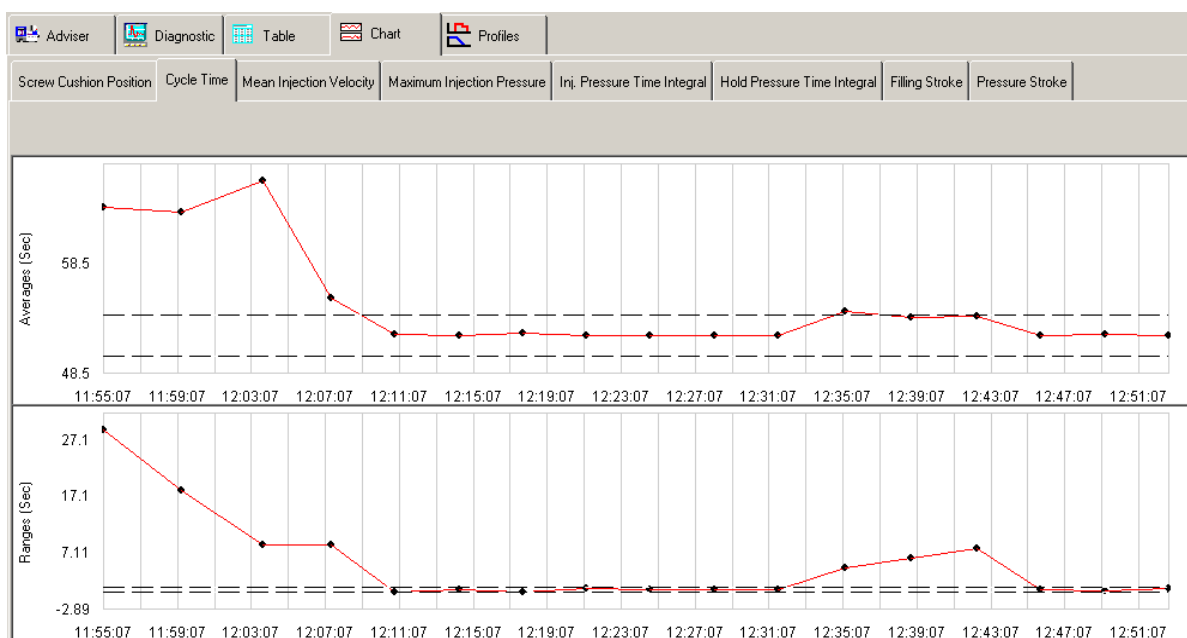
Příloha P XI: Výsledky optimalizace destiček z PA66 + 50 % skelných vláken

# PŘÍLOHA P I: VÝSLEDKY KONTROLY AUTOMATICKÉHO PROCESU ZKUŠEBNÍHO TĚLÍSKA

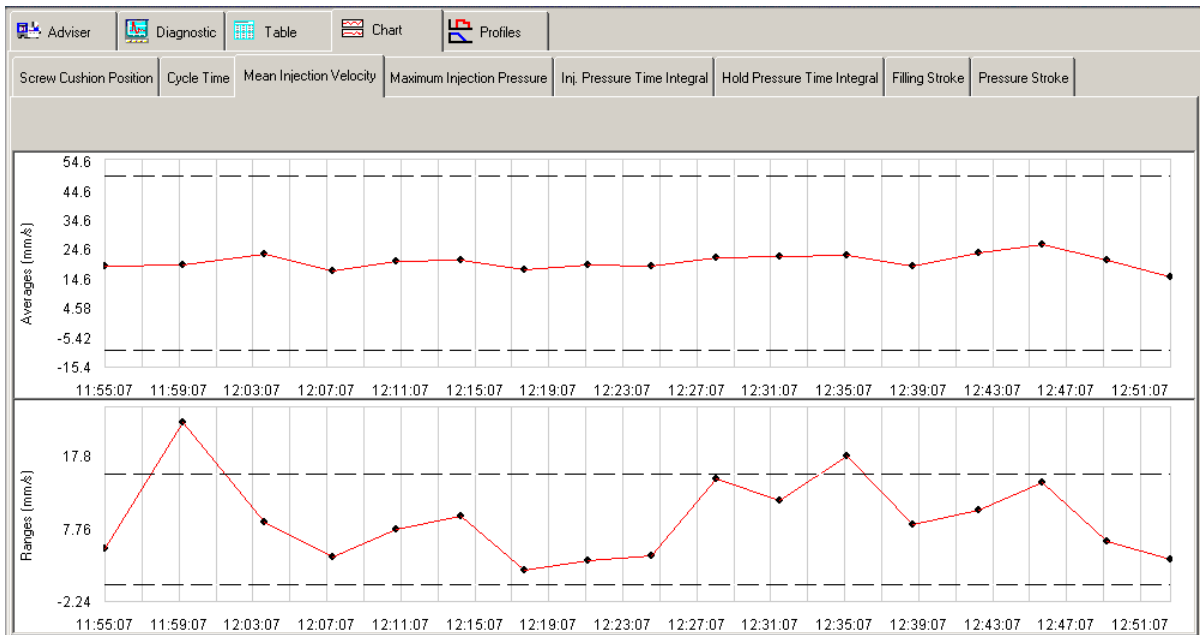
## 1) Pozice polštáře



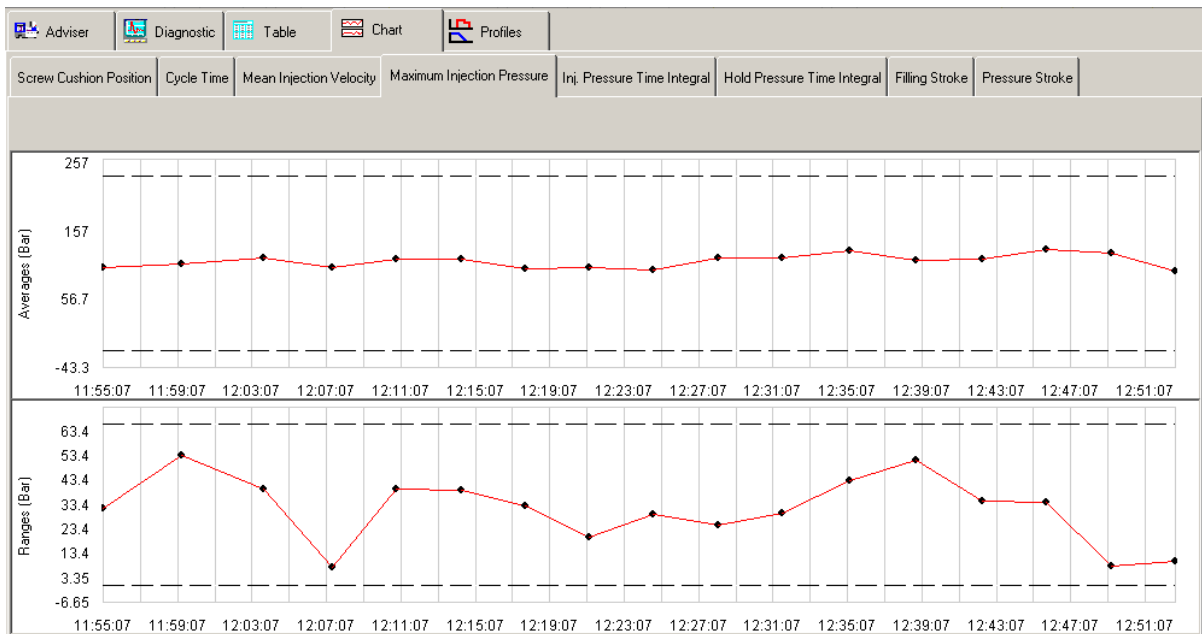
## 2) Čas cyklu



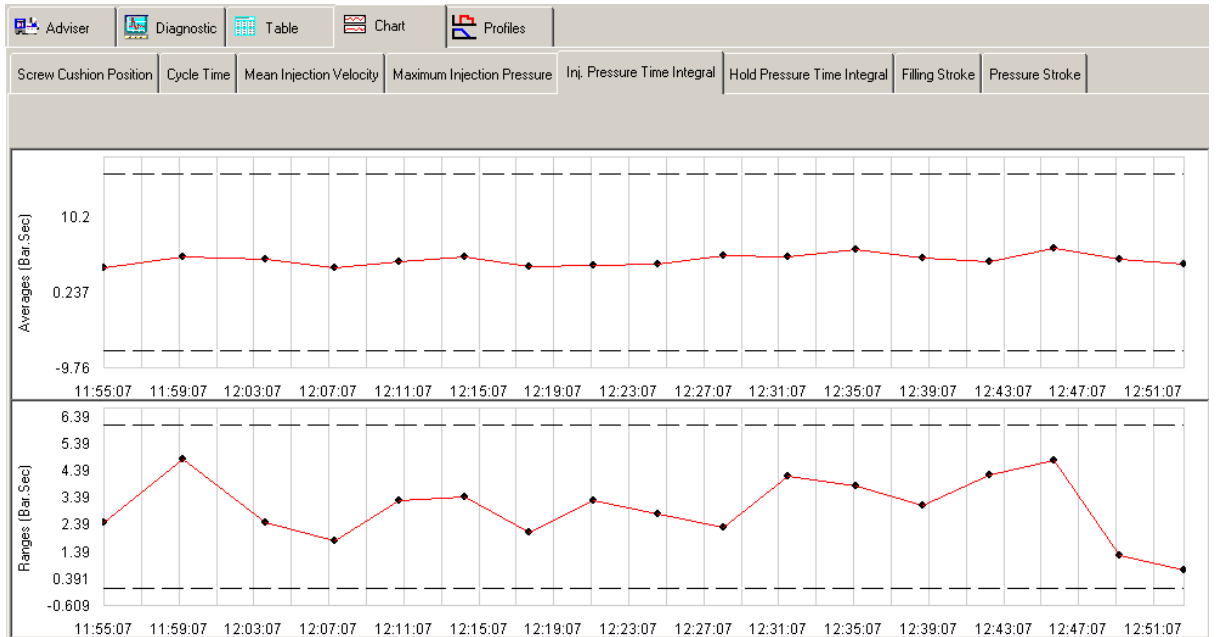
### 3) Vstřikovací rychlost



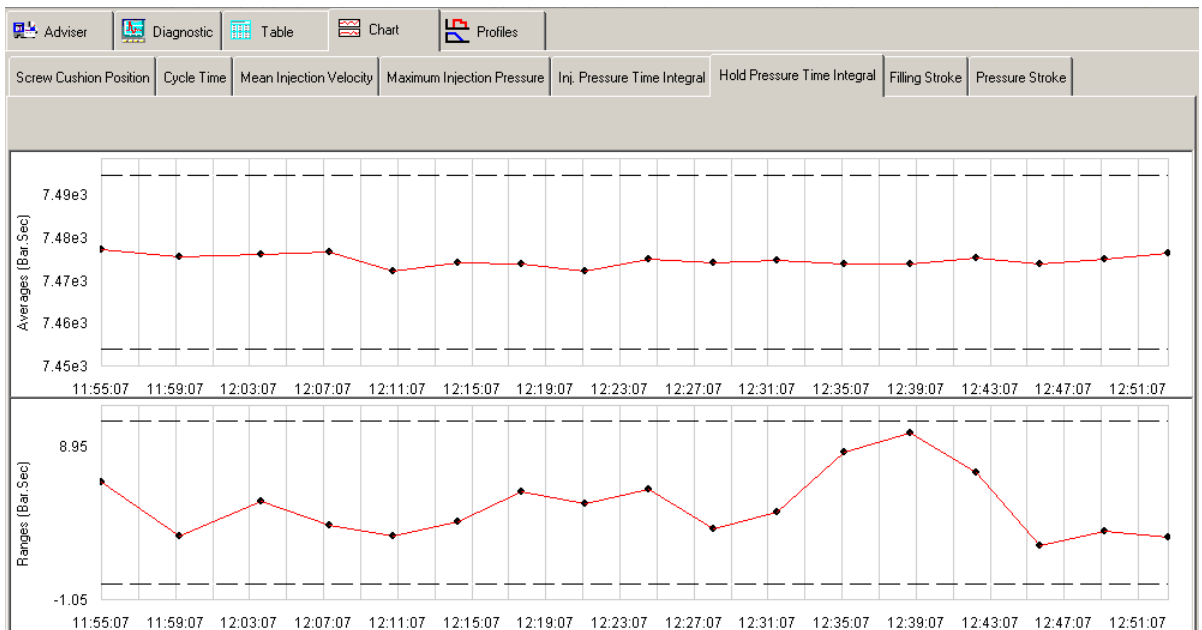
### 4) Maximální vstřikovací tlak



## 5) Součin vstřikovacího tlaku a času

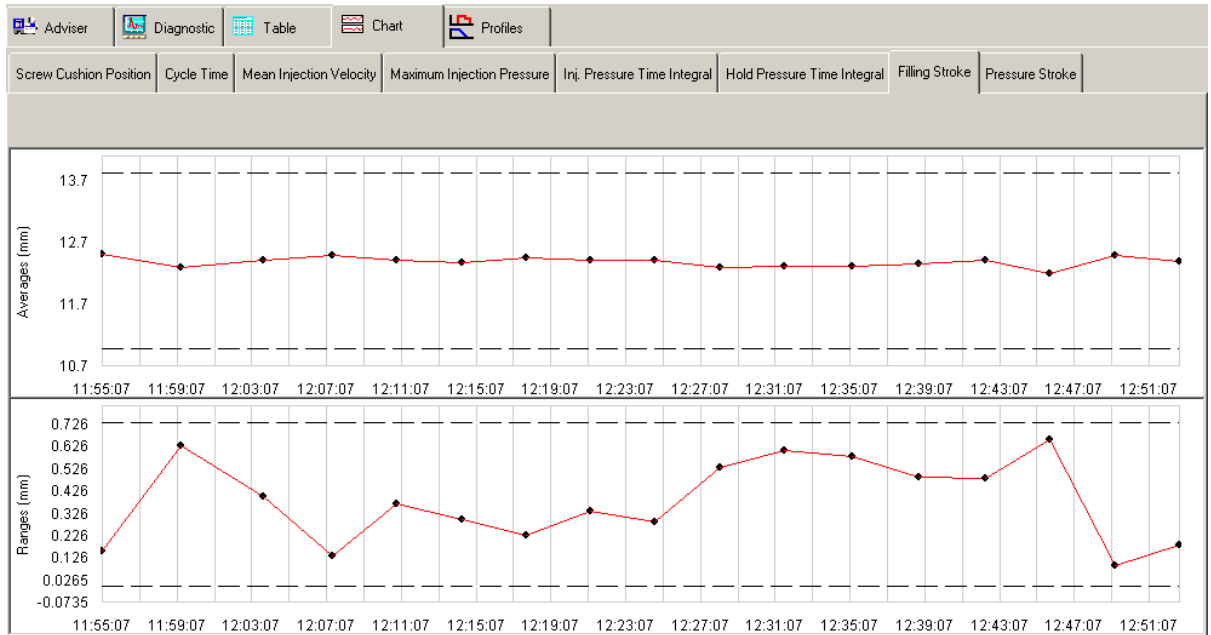


## 6) Součin dotlaku a času

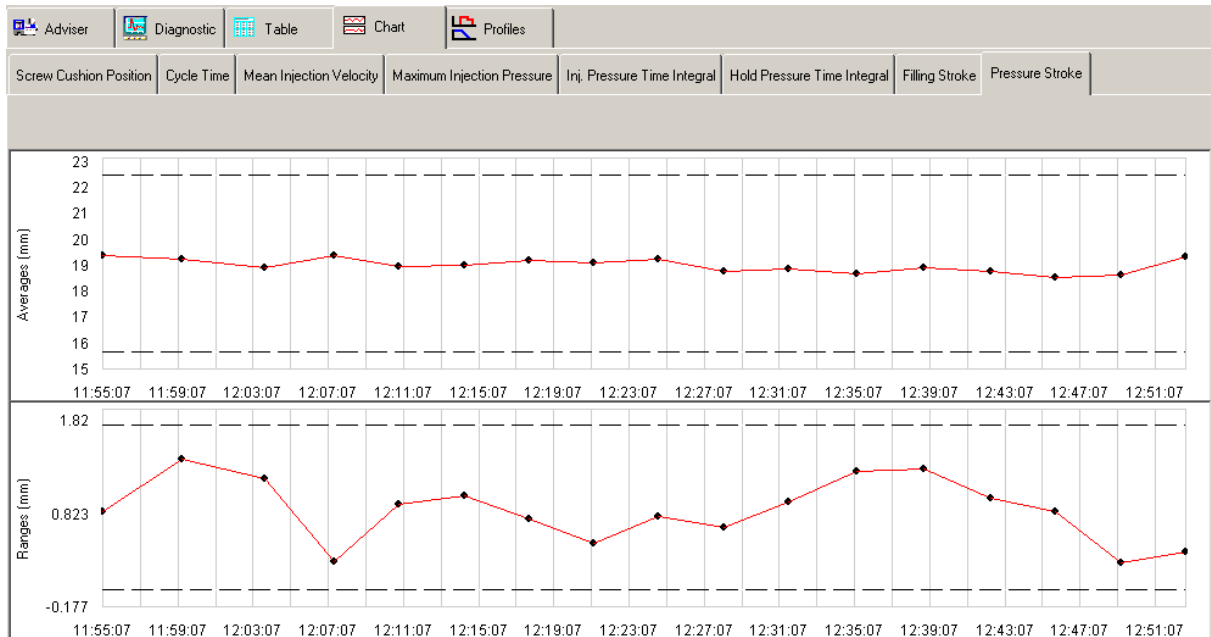




## 7) Posun šneku při plnění formy



## 8) Posun šneku při vyvinování tlaku



## PŘÍLOHA P II: VÝSLEDKY OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK Z PP + 30 % SKELNÝCH VLÁKEN

a) Automatické nastavení procesu

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	22,59
Dotlak 1 [MPa]	20,3
Doba dotlaku 1 [s]	23,59
Dotlak 2 [MPa]	20,3
Doba dotlaku 2 [s]	7,86
Dotlak 3 [MPa]	14,2
Doba dotlaku 3 [s]	7,86
Doba chlazení [s]	2,35
Rychlost vstřikování 1 [mm/s]	115,2
Rychlost vstřikování 2 [mm/s]	6,4
Plastikovaná dávka [mm]	27,5
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	195
Teplotní pásmo 2 [°C]	210
Teplotní pásmo 3 [°C]	220
Teplotní pásmo 4 [°C]	230
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	240
Teplota formy [°C]	50

b) Poloautomatické nastavení procesu

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	27,29
Dotlak 1 [MPa]	27,8
Doba dotlaku 1 [s]	15,45
Dotlak 2 [MPa]	24,8
Doba dotlaku 2 [s]	4,2
Dotlak 3 [MPa]	19,8
Doba dotlaku 3 [s]	9,1
Doba chlazení [s]	7,55
Rychlost vstřikování 1 [mm/s]	69,7
Rychlost vstřikování 2 [mm/s]	5,1
Plastikovaná dávka [mm]	24,9
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	195
Teplotní pásmo 2 [°C]	210
Teplotní pásmo 3 [°C]	220
Teplotní pásmo 4 [°C]	230
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	240
Teplota formy [°C]	50

c) Manuální nastavení procesu

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	33,07
Dotlak 1 [MPa]	30
Doba dotlaku 1 [s]	16,03
Dotlak 2 [MPa]	30
Doba dotlaku 2 [s]	5,34
Dotlak 3 [MPa]	21
Doba dotlaku 3 [s]	5,34
Doba chlazení [s]	7,26
Rychlost vstřikování 1 [mm/s]	55,9
Rychlost vstřikování 2 [mm/s]	9,5
Plastikovaná dávka [mm]	24,9
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	195
Teplotní pásmo 2 [°C]	210
Teplotní pásmo 3 [°C]	220
Teplotní pásmo 4 [°C]	230
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	240
Teplota formy [°C]	50

d) Nahrání dat z CAE analýzy

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	54,26
Dotlak 1 [MPa]	49,2
Doba dotlaku 1 [s]	10,1
Dotlak 2 [MPa]	49,2
Doba dotlaku 2 [s]	2,91
Dotlak 3 [MPa]	39,3
Doba dotlaku 3 [s]	3,81
Doba chlazení [s]	12,47
Rychlost vstřikování [mm/s]	12,3
Plastikovaná dávka [mm]	27,6
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	195
Teplotní pásmo 2 [°C]	210
Teplotní pásmo 3 [°C]	220
Teplotní pásmo 4 [°C]	230
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	240
Teplota formy [°C]	50

**PŘÍLOHA P III: VÝSLEDKY OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH  
TĚLÍSEK Z PMMA**

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	90
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	5
Doba chlazení [s]	35
Rychlost vstřikování [mm/s]	30
Plastikovaná dávka [mm]	30
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	210
Teplotní pásmo 2 [°C]	215
Teplotní pásmo 3 [°C]	225
Teplotní pásmo 4 [°C]	245
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	250
Teplota formy [°C]	45

**PŘÍLOHA P IV: VÝSLEDKY OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH  
TĚLÍSEK Z HDPE**

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	90
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	15
Doba chlazení [s]	40
Rychlost vstřikování [mm/s]	30
Plastikovaná dávka [mm]	30
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	180
Teplotní pásmo 2 [°C]	190
Teplotní pásmo 3 [°C]	200
Teplotní pásmo 4 [°C]	210
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	220
Teplota formy [°C]	40

**PŘÍLOHA P V: VÝSLEDKY OPTIMALIZACE ZKUŠEBNÍCH  
TĚLÍSEK Z PA66**

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	100
Dotlak [MPa]	70
Doba dotlaku [s]	25
Doba chlazení [s]	15
Rychlost vstřikování [mm/s]	60
Plastikovaná dávka [mm]	31
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	275
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	285
Teplotní pásmo 4 [°C]	290
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	50



## PŘÍLOHA P VI: VÝSLEDKY OPTIMALIZACE DESTIČEK Z PA66

### a) Kuželový vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	60
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	15
Doba chlazení [s]	25
Rychlost vstřikování [mm/s]	60
Plastikovaná dávka [mm]	42
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	275
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	285
Teplotní pásmo 4 [°C]	290
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	60

### b) Boční vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	60
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	15
Doba chlazení [s]	25
Rychlost vstřikování [mm/s]	20
Plastikovaná dávka [mm]	48
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	275
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	285
Teplotní pásmo 4 [°C]	290
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	60

c) Vtok v rohu

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	60
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	15
Doba chlazení [s]	25
Rychlost vstřikování [mm/s]	20
Plastikovaná dávka [mm]	48
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	275
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	285
Teplotní pásmo 4 [°C]	290
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	60

## PŘÍLOHA P VII: VÝSLEDKY OPTIMALIZACE DESTIČEK Z PA66 + 15 % SKELNÝCH VLÁKEN

a) Kuželový vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	80
Dotlak [MPa]	50
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	70
Plastikovaná dávka [mm]	38
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	300
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	305
Teplota formy [°C]	80

b) Boční vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	80
Dotlak [MPa]	50
Doba dotlaku [s]	15
Doba chlazení [s]	15
Rychlost vstřikování [mm/s]	60
Plastikovaná dávka [mm]	48
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	275
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	285
Teplotní pásmo 4 [°C]	290
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	80

c) Vtok v rohu

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	80
Dotlak [MPa]	50
Doba dotlaku [s]	15
Doba chlazení [s]	15
Rychlost vstřikování [mm/s]	60
Plastikovaná dávka [mm]	48
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	275
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	285
Teplotní pásmo 4 [°C]	290
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	80

## PŘÍLOHA P VIII: VÝSLEDKY OPTIMALIZACE DESTIČEK Z PA66 + 25 % SKELNÝCH VLÁKEN

a) Kuželový vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	80
Dotlak [MPa]	50
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	70
Plastikovaná dávka [mm]	38
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	300
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	305
Teplota formy [°C]	80

b) Široký boční vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	100
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	90
Plastikovaná dávka [mm]	46
Teplota pod násypkou [°C]	80
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	295
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	80

c) Vtok v rohu

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	60
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	130
Plastikovaná dávka [mm]	48
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	285
Teplotní pásmo 4 [°C]	290
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	305
Teplota formy [°C]	80

## PŘÍLOHA P IX: VÝSLEDKY OPTIMALIZACE DESTIČEK Z PA66 + 30 % SKELNÝCH VLÁKEN

a) Kuželový vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	80
Dotlak [MPa]	50
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	70
Plastikovaná dávka [mm]	38
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	300
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	305
Teplota formy [°C]	80

b) Široký boční vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	100
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	90
Plastikovaná dávka [mm]	46
Teplota pod násypkou [°C]	80
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	295
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	80

c) Vtok v rohu

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	60
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	130
Plastikovaná dávka [mm]	48
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	300
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	305
Teplota formy [°C]	80



## PŘÍLOHA P X: VÝSLEDKY OPTIMALIZACE DESTIČEK Z PA66 + 35 % SKELNÝCH VLÁKEN

a) Kuželový vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	80
Dotlak [MPa]	50
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	70
Plastikovaná dávka [mm]	38
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	300
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	305
Teplota formy [°C]	80

b) Široký boční vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	100
Dotlak [MPa]	80
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	90
Plastikovaná dávka [mm]	46
Teplota pod násypkou [°C]	80
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	295
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	80

c) Vtok v rohu

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	80
Dotlak [MPa]	50
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	130
Plastikovaná dávka [mm]	48
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	300
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	305
Teplota formy [°C]	80

## PŘÍLOHA P XI: VÝSLEDKY OPTIMALIZACE DESTIČEK Z PA66 + 50 % SKELNÝCH VLÁKEN

a) Kuželový vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	80
Dotlak [MPa]	50
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	80
Plastikovaná dávka [mm]	38
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	300
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	305
Teplota formy [°C]	80

b) Široký boční vtok

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	120
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	130
Plastikovaná dávka [mm]	46
Teplota pod násypkou [°C]	80
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	295
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	80

c) Vtok v rohu

Procesní parametr	Hodnota
Vstřikovací tlak [MPa]	120
Dotlak [MPa]	40
Doba dotlaku [s]	10
Doba chlazení [s]	20
Rychlost vstřikování [mm/s]	130
Plastikovaná dávka [mm]	46
Teplota pod násypkou [°C]	80
Teplotní pásmo 1 [°C]	270
Teplotní pásmo 2 [°C]	280
Teplotní pásmo 3 [°C]	290
Teplotní pásmo 4 [°C]	295
Teplotní pásmo 5 – tryska [°C]	300
Teplota formy [°C]	80