

# Optimalizace procesu výroby plastového výrobku

Stanislav Šebák

---

Diplomová práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav ŠEBÁK**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Optimalizace procesu výroby plastového výrobku**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Popište postup optimalizace výroby běžným způsobem
3. Navrhněte možnosti snížení počtu optimalizačních kol
4. Vypracujte ekonomické zhodnocení procesu



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**dle zadání vedoucího DP**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Staněk, Ph.D.**

Ústav výrobního inženýrství

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

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

Ve Zlíně dne 18. ledna 2010



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



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.  
*vedoucí katedry*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně .....

.....

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřena na zpracování výkresové dokumentace vstříkovací formy, kde konečným výrobkem je plastový díl. Výkresová dokumentace je vypracována v programu ProENGINEER na základě 3D modelu vstříkovacího nástroje, vytvořeného ve stejném programu. Celý projekt je ekonomicky vyhodnocen po stránce počtu korekčních kol s ohledem na počáteční nadsazení plastového dílu.

Dále jsou uvedeny moderní metody obrábění tvarových dutin s ohledem na ekonomickou stránku výroby vstříkovacího nástroje.

Klíčová slova: vstříkovací forma, polymer, 3D model, sestava.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the problems of injection mold, where the final product should be a plastic part. Drawings documentation has been by using ProENGINEER software in 3D visualization of the injection tool used in this process.

Whole project is evaluated according an amount of correction loops to achieve the primary set up for the plastic product needed.

Next we deal with the modern machining methods to create shaped cavity with the focus on the jet molding tools economics.

Keywords: injection mold, polymer, 3D model, assembly.

Děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté rady, čas a trpělivost, kterou mi věnoval při vypracování této diplomové práce.

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

Ve Zlíně

-----

Podpis diplomanta

-----

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 VSTŘIKOVÁNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ .....	12
Základní typy polymerů.....	13
1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	13
<b>2 VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>15</b>
2.1 ZÁSADY PRO KONSTRUOVÁNÍ FOREM .....	15
2.2 POSTUP PŘI KONSTRUKCI FORMY .....	21
2.2.1 Smrštění.....	22
2.3 VTOKOVÝ SYSTÉM.....	24
2.3.1 Studený vtokový systém.....	26
2.3.2 Horké vtokové soustavy .....	34
2.4 VYHAZOVCÍ SYSTÉM .....	35
2.4.1 Mechanické vyhazování .....	36
2.4.2 Vzduchové vyhazování .....	39
2.4.3 Hydraulické vyhazování .....	39
2.5 TEMPERAČNÍ SYSTÉM .....	40
2.6 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM .....	42
2.6.1 Určení místa pro odvzdušnění.....	43
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>45</b>
<b>3 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>46</b>
<b>4 PREZENTACE PLASTOVÉHO VÝSTŘIKU</b> .....	<b>47</b>
4.1 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE 2D .....	47
4.2 3D MODEL VÝSTŘIKU .....	48
4.3 MATERIÁL PLASTOVÉHO DÍLU .....	49
4.4 VSTŘIKOVACÍ STROJ .....	50
<b>5 KONSTRUKCE, VÝROBA A KOREKCE FORMY</b> .....	<b>53</b>
5.1 ZÁSADY A POSTUP PŘI KONSTRUKCI FORMY .....	53
5.2 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU.....	54
5.3 VÝROBA A KONSTRUKCE FORMY .....	56
5.3.1 Konstrukce a výroba tvarových dílů.....	56
5.3.2 Rozpěky.....	60
5.3.3 Vyhazovací desky.....	61
5.3.4 Horký vtokový systém.....	62
5.3.5 Temperace formy .....	63
5.3.6 Materiály pro výroby vstřikovacích forem .....	64



<b>6</b>	<b>METODY KOREKČÍ KE SNÍŽENÍ POČTU OPTIMALIZAČNÍCH KOL .....</b>	<b>66</b>
6.1	NADSAZENÍ PŘI POČÁTEČNÍ KONSTRUKCI FORMY .....	66
6.2	NADSAZENÍ ZÁKLADNY DÍLU.....	66
6.3	NADSAZENÍ DALŠÍCH ČÁSTÍ VÝROBKU.....	69
6.4	VYHODNOCENÍ OPTIMALIZACE VÝROBY PLASTOVÉHO DÍLU .....	72
<b>7</b>	<b>EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ .....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>76</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>78</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>80</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>85</b>

## ÚVOD

Výroba dílů z plastů (makromolekulárních látek) nachází stále větší uplatnění v průmyslové výrobě. Naproti výrobě z konvenčních materiálů poskytuje často porovnatelné vlastnosti výrobku při nižší hmotnosti a ceně výrobku, jednodušší automatizaci výroby i možnost recyklace použitých, nebo nepoužitelných dílů. Technologie výroby z plastů zahrnují vytlačování, válcování, vyfukování a vstřikování. [2]

Od svého vzniku v druhé polovině 20. století se technologie vstřikování rozvíjí obrovskou rychlostí. Z prvotní výroby jednoduchých součástí se tato technologie rozrůstla do všech odvětví průmyslové výroby. V dnešní době nahrazují vstřikované výrobky mnohé díly z konvenčních materiálů jako např. kovy, dřevo, keramika, sklo atd. V dnešním světě se můžeme setkat s výrobky z plastů v každodenním životě, např. obaly, armatury, hračky, součástky v automobilovém průmyslu, ale i ve speciálních oblastech použití (konstrukční díly, chirurgické pomůcky, díly pro kosmonautiku).

Se stále stoupající produkcí vstřikovaných součástí a rozšiřování jejich uplatnění rostou i požadavky na kvalitu. Toto klade vysoké nároky nejen na chemiky při přípravě směsí, ale i na konstruktéry vstřikovacích strojů a v neposlední řadě na konstruktéry forem pro vstřikování plastů. Forma je základem částí průběhu výroby, která dává výrobku tvar, proto je velmi důležité její co nejdokonalejší řešení. [2]

V dnešní době se pro konstrukční účely používají počítačové programy, které značně zjednodušují práci konstruktérovi formy (CAD systémy), pomáhají výrobcům formy (CAM systémy), ale i zefektivňují celý proces výroby. [1]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VSTŘIKOVÁNÍ

Je cyklický tvářecí proces, při kterém se materiál v plastickém stavu vstřikuje vysokou rychlostí do uzavřené, temperované dutiny formy. Provádí se na vstřikovacím stroji.

Vstřikovací stroj:

- plastikační jednotka – převádí materiál do plastického stavu,
- vstřikovací jednotka – vyvozuje tlak taveniny a zajišťuje dopravu taveniny do formy,
- forma – zajišťuje tvar výrobku,
- uzavírací jednotka – zajišťuje uzavření formy s vnitřním přetlakem,
- vstřikovací jednotka – zajišťuje definované vtékání taveniny do formy.

Uzavírací síla formy zabezpečuje těsnost formy při vstřikování. Teplota formy se udržuje teplotou pod  $T_m$  u termoplastů, nad  $T_m$  u tavitelných reaktoplastových směsí. Teplotní poměry jsou rozhodující pro způsob plnění formy. Tlak v dutině formy je nižší než vstřikovací tlak a ztráty 30-80 % u pístové plastifikace a  $\approx 20$  % u šnekových vstřikovacích strojů.

Poměry v dutině formy jsou ovlivněny vstřikovacím tlakem až do okamžiku zatuhnutí vtoků. Vtokový systém je tvořen kanály, spojující trysku s jednotlivými dutinami formy.

Vtokový zbytek je materiál, který zatuhne ve vtokovém systému (představuje ztrátu materiálu – technologický odpad). [1]

## 1.1 Materiály pro vstřikování

- Termoplast je plastický, deformovatelný materiál, který si tyto vlastnosti uchovává i po zahřátí a opětovném ochlazení. Většina termoplastů jsou vysokomolekulární polymery, jejichž řetězce mezi sebou interagují slabými van der Waalsovými silami,
- Reaktoplasty jsou opak termoplastů (bakelit, vulkanizovaný kaučuk), které po termickém vytvrzení již nelze zpracovávat teplem.

## Základní typy polymerů

PE – Polyetylén (HDPE, LDPE)

PP – Polypropylén

PVC – Polyvinylchlorid

Podle druhu materiálu se volí režim vstřikování resp. podmínky vstřikování, jim pak odpovídá velikost smrštění výstřiku.

Smrštění výstřiku je rozdíl mezi poměrem plastového výrobku a rozměrem formy po určité době odležení.

Materiály pro vstřikování jsou děleny:

- dle typu materiálu - krystalické (PE, PP), amorfni (PS, PMMA),
- dle obsahu plniva – snižuje se s rostoucím obsahem.

U reaktoplastů jsou zmetky a vtokové zbytky nezpacovatelné (jen pro rozemletí jako plniva). Tokové vlastnosti můžeme řídit úpravou stupně nasítování. U PET se tokové vlastnosti upravují jen teplotou nasítování. [2]

U kaučuků jsou upravovány indukční periodou vulkanizace (bezpečnost) a rychlost vulkanizace vhodnou skladbou vulkanizačních přísad (urychlovače atd.).

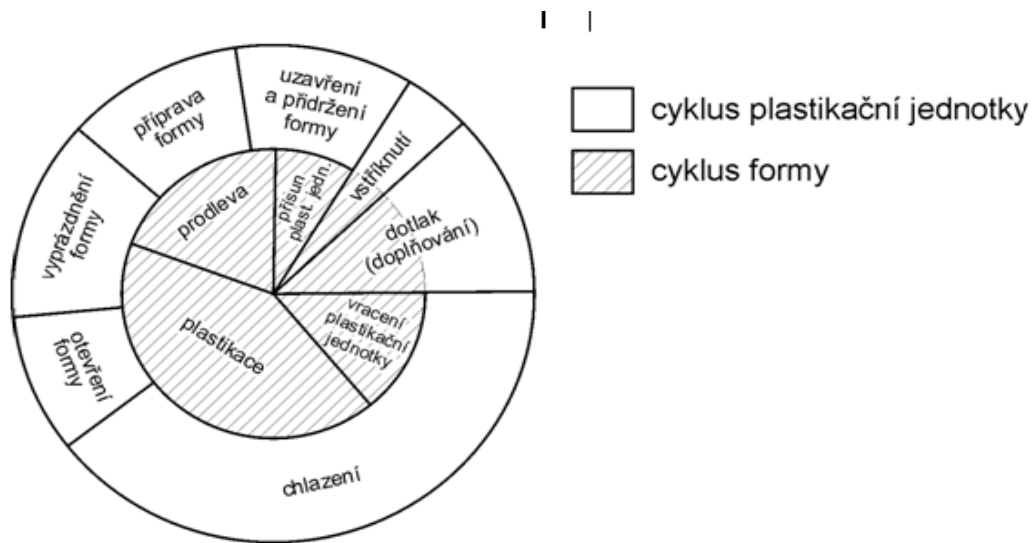
## 1.2 Vstřikovací cyklus

Forma se uzavírá uzavírací jednotkou:

- mechanickou,
- hydraulickou,
- kombinovanou.

Typ uzavírací jednotky se určuje rychlost uzavírací formy.

Doba plnění formy do prvního naplnění, pak dotlak – působení tlaku na zaplněnou formou, probíhá další doplňování vyrovnávající úbytek obsahu ochlazením a netěsností formy, až do zatuhnutí vtoku. Má vliv na % závad, bubliny, propadliny a zbytkové pnutí. [1]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus

## 2 VSTŘIKOVACÍ FORMY

### 2.1 Zásady pro konstruování forem

Forma je nástroj, který se upíná na vstřikovací stroj. V průběhu vstřikovacího cyklu je naplněna roztaveným plastem. Po zchladnutí je zhotoven výstřik s požadovaným tvarem a funkčními vlastnostmi. Forma během své životnosti musí splňovat následující požadavky:

- odolávat vůči vysokým tlakům,
- zajistit požadovaný rozměr a kvalitu výstřiku,
- snadné vyjmutí výstřiku,
- snadná obsluha a automatický provoz,
- nízká pořizovací cena,
- snadná a rychlá výroba,
- vysoké využití zpracovávaného plastu. [4]

Konstrukční koncepce a uspořádání formy, a také způsob výroby závisí na účelu a požadavcích, které má forma splňovat. Životnost formy je dána volbou materiálu tepelným zpracováním funkčních částí jako je tvárník, tvárnice atd. Materiál je volen s ohledem:

- na druh zpracovávaného plastu,
- na použité technologie,
- na velikosti výrobku a jeho složitosti,
- na velikosti série,
- na tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi,
- na cenu.

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do skupin podle násobnosti, na jednonásobné a více vícenásobné. Dále podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení formy na dvoudeskové, třídeskové, etážové, čelist'ové atd. Vstřikovací

forma se skládá z mnoha dílů. Jednotlivé díly lze rozdělit do několika kategorií. Jsou to díly:

- vymezející tvarovou rovinu,
- temperační systém,
- vtokového systému,
- upínací a vodící elementy.

Konstrukční části zajišťují správnou činnost nástroje a funkční části jsou v kontaktu s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar. Výroba dílů technologií vstřikování probíhá na vstřikovacích strojích ve formě během krátkého času při působení dostatečného tlaku a teploty s dalšími technologickými parametry.

Forma proto potřebuje vhodný vtokový systém, temperování, vyhazování atd. Pro zaručení požadovaných tvarových a rozměrových parametrů musí mít vysokou přesnost a jakost funkčních ploch dutiny a funkčních dílů. [3]

Konstrukce plastového dílu je složitější než konstrukce plechové dílce. Při výrobě musí konstruktér brát v úvahu také to, co se děje během vstřikování v dílu z plastu. Při konstrukci plastového dílce jsou dány jisté konstrukční omezení, co se týká tvarů a vlastností. Z hlediska konstrukce formy musí tvar její dutiny umožnit především vhodné zaformování. Tímto hlediskem je určena i dělicí plocha. Na dělicí plochu je pak vázána celá koncepce formy s vtokovým systémem, vyhazovacím paketem, temperací a odzdušněním.

Jelikož výroba formy je finančně náročná, je někdy často výhodné vyrábět tzv. vícenásobné formy pro výrobu několika součástí najednou. Volba optimální násobnosti je závislá na mnoha faktorech. Posuzuje se například z hlediska:

- charakteru a přesnosti výstřiku,
- velikosti a kapacitě vstřikovacího stroje,
- požadovaného množství a termínu dodávky,
- ekonomika výroby.

Protože vysoká násobnost formy sebou přináší také vysoké nepřesnosti a nižší kvalitu výstřiku, je obecně výhodnější používat násobnost co nejmenší. Tvarově náročné a velkorozměrné výstřiky se většinou vyrábějí v jednonásobných formách. Násobnost forem také



kromě tvaru a přesnosti výstřiku ovlivňuje také samotný vstřikovací stroj. Omezení ze strany stroje je z hlediska vstřikovací kapacity, plastikačního výkonu a uzavírací síly. Stroj musí zajistit dostatečné zaplnění tvarové dutiny s dostatečnou rezervou. Rezerva uzavírací síly a objemu taveniny má být 20%. [5]

Aby bylo dosaženo kvalitního výstřiku, je důležité zvolit vhodný vstřikovací stroj. Pro navrženou formu musí stroj mít:

- dostatečnou vstřikovací kapacitu,
- vyhovující uzavírací a přidržovací sílu,
- vyhovující vstřikovací tlak,
- vhodnou koncepci.

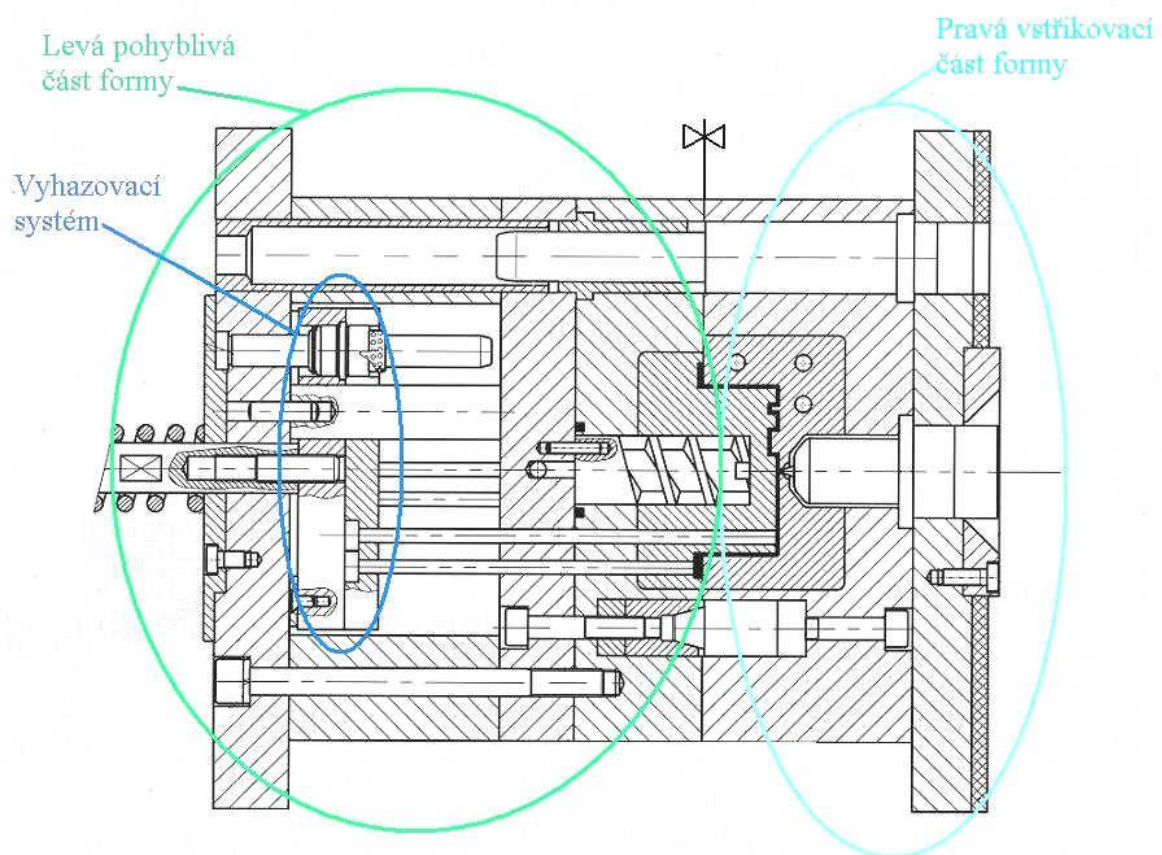
Množství taveniny potřebné pro jeden cyklus bývá menší, než je kapacita vstřikovací jednotky. Využití se pohybuje kolem 90 %. Toto využití by se nemělo překročit, protože při výrobě je nutné vyrovnávat úbytek plastu způsobený teplotním smrštěním tzv. dotlakem.

Uzavírací síla se po dosednutí obou částí formy a zahájení vstřikování zvýší na sílu přidržovací, která musí být taková, aby udržela formu zavřenou po celou dobu vstřikování. Mimo technologické parametry musí vstřikovací stroj splňovat také konstrukční požadavky formy. Její koncepce a velikost vyžaduje stroj:

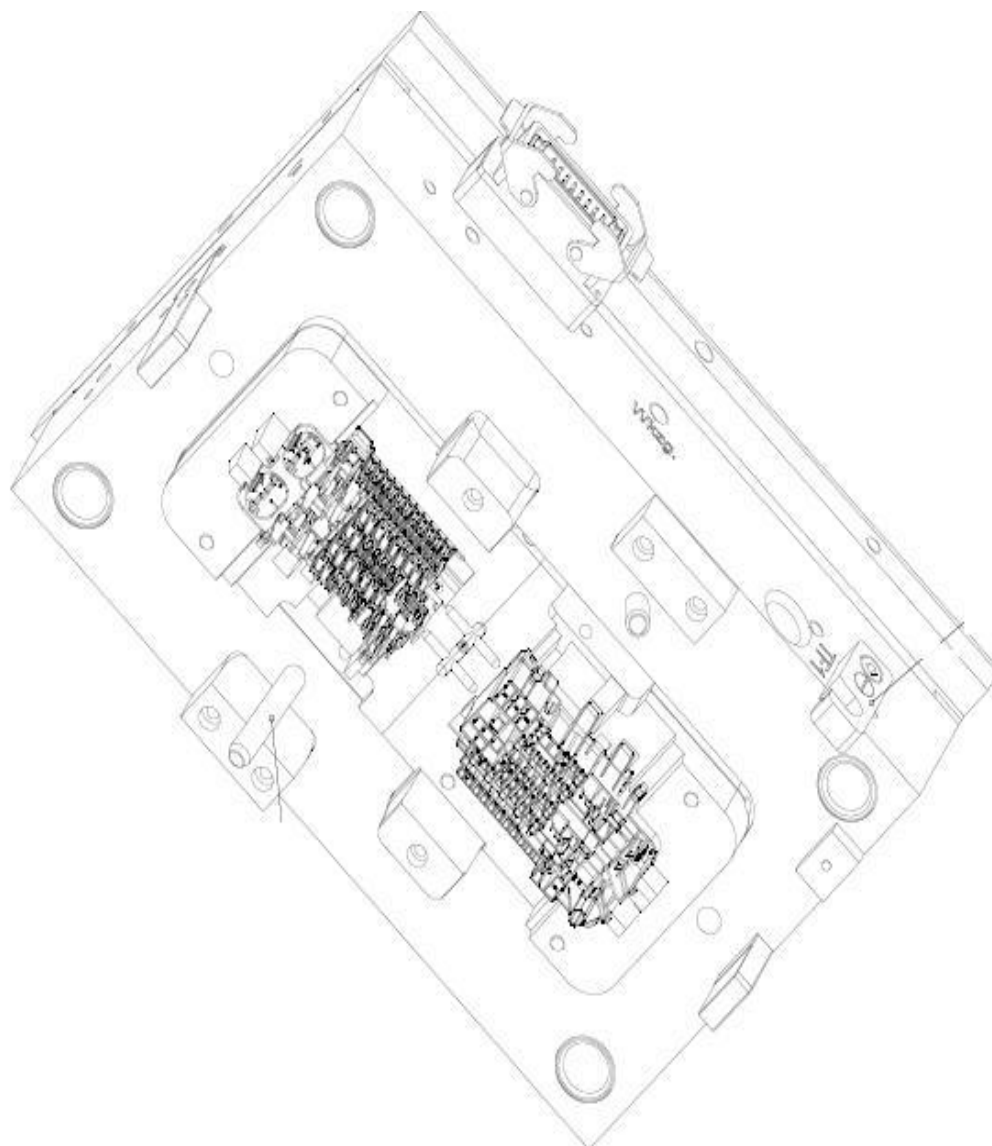
- s vyhovující světlostí mezi sloupky,
- s dostatečnými rozměry upínacích ploch na pevné a pohyblivé upínací desce stroje,
- s vhodnou velikostí středících otvorů a dosedací trysky stroje,
- vhodné rozteče upínacích šroubů. [5]

Ukázka konstrukce vstřikovací formy (obr. 2):

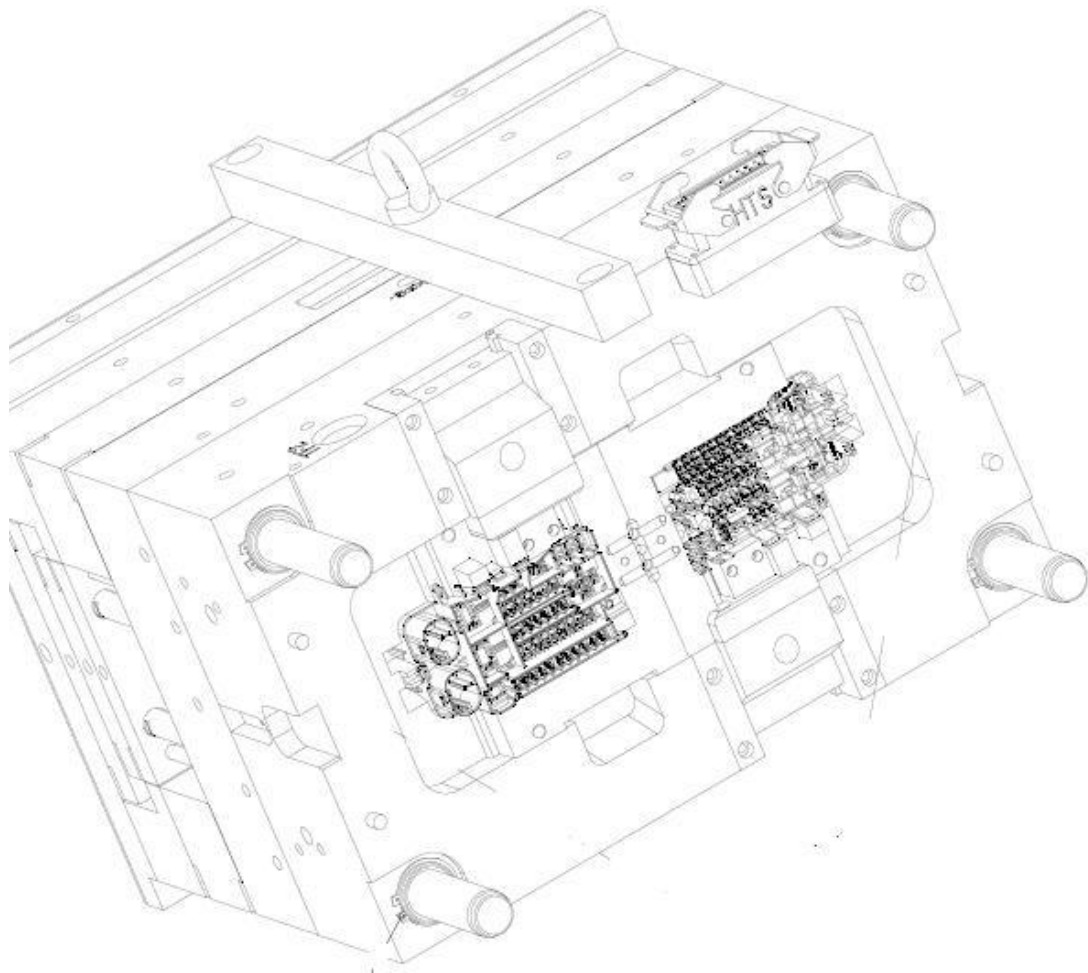
- Pevná část: tvárnice, vtokový systém (obr. 3.),
- Pohyblivá část: tvárník, vyhazovací paket (obr. 4.).



Obr. 2. Vstřikovací forma



*Obr. 3. Pohled na pevnou část formy*



*Obr. 4. Pohled na pohyblivou část formy*

## 2.2 Postup při konstrukci formy

Podle podkladů, které konstruktér formy obdrží (výkres součásti, násobnost formy, konstrukční návrh a další doplňkové údaje), následují tyto kroky:

- s ohledem na umístění vtoku a způsobu zaformování, posouzení výkresu součásti z hlediska tvaru, rozměrů a vhodného zaformování určit, případě upřesnit tvar a umístění dělicí roviny tak, aby byla co nejjednodušší kvůli výrobě a aby procházela hranami výstřiku (kvůli funkčním a vzhledovým vadám),
- s ohledem na smrštění, výrobní toleranci a opotřebení dutiny stanovit rozměry tvarových dutin a jejich uspořádání. Velikost výrobní tolerance dutiny formy se volí 20 % ze smrštění. Opotřebení dutiny je velmi malé, proto ho lze zanedbat. Výjimkou je výroba přesných výstřiků ve velkých sériích,
- zvolení vhodné konstrukce temperačního a vyhazovacího systému a způsobu odvzdušnění,
- určení vhodného materiálu na rám formy a ostatní díly s ohledem na zatížení a technologické podmínky lisování,
- zvolení vhodného způsobu vystředění formy,
- kontrola funkčních parametrů formy s ohledem na určený vstříkovací stroj. [14]

Konstruktér formy se řídí nejen funkčními výrobními požadavky, ale také ekonomikou a termínem dodání. Proto se dají použít i různá příslušenství, která splní všechny tyto podmínky. Jsou to např. typizované rámy forem, vyhřívané trysky, robotizace při vstříkování a další zařízení.

Přesnost tvarové dutiny se pohybuje v rozmezí IT6 až IT12. Chybně nastavené rozměry lze vykompenzovat úpravou technologických parametrů vstříkování.

Dutina formy je zvětšena především kvůli smrštění plastu. Výrobní tolerance se stanoví podle technologie výroby s ohledem na toleranci výstřiku. Přídavek na opotřebení dutiny formy se bere v úvahu jen u velkých sériích, kde je nebezpečí, že ovlivní funkční rozměry výstřiku. Tepelná roztažnost se uvažuje jen u rozměrných dílů při vysokých teplotách formy z materiálu s velkou teplotní roztažností jako např. hliník nebo měď. [5]

Dalším neméně důležitým parametrem formy je jakost povrchu, která určuje i vzhled výsledného výstřiku. Funkční plochy v dutině formy se vyrábějí jako:

- *matné* – jsou jednodušší na výrobu, jsou schopny překrýt výrobní chyby na nedostatky výroby formy a vstřikování (studené spoje, vtokové čáry, ...). Je to výchozí plocha po třískovém obrábění,
- *lesklé* – vyžadují nákladnou a náročnou technologii opracování dílů, které musí být vyrobeny z kvalitních a tedy i drahých materiálů. Zvýrazní všechny výrobní nedostatky jak formy, tak výstřiku,
- *dezénové* – jde o speciální druhy výroby forem. Vyžaduje kvalitní materiál formy s vhodným opracováním povrchu dutiny. Vyrábí se například elektrochemicky a elektroerozivně. Při výrobě bočních ploch je třeba zvýšit velikost úkosu odformování.

Větší drsnosti povrchu má za následek horší odformování výstřiku. Doporučené drsnosti pro obráběné plochy dutiny formy jsou v tabulce. (Tab. 1.)

Tab. 1. Drsnost povrchu u obráběných forem

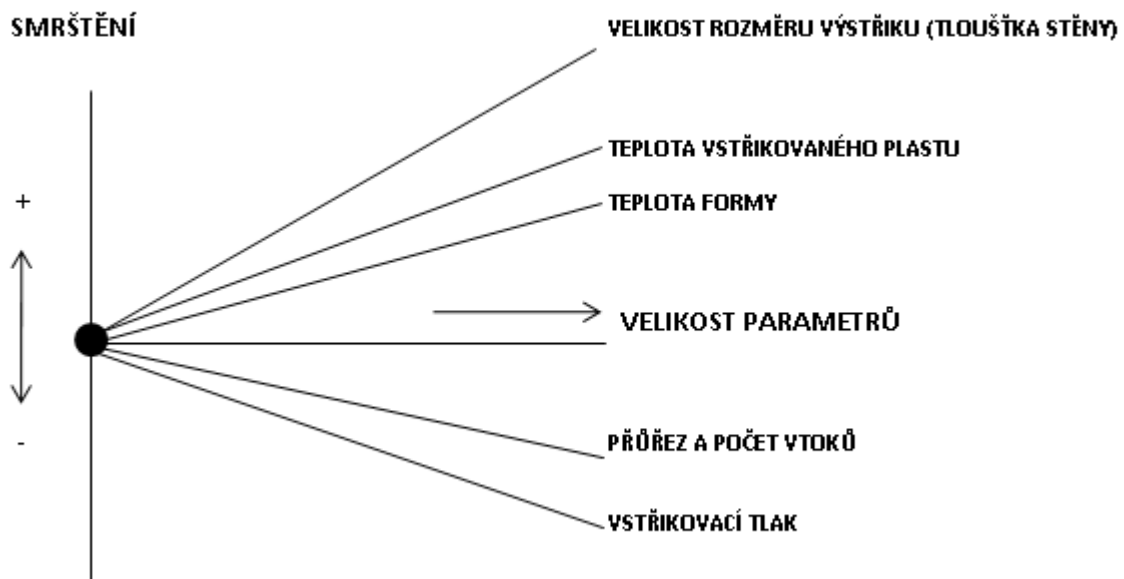
Ra (μm)	Obrobená a požadovaná jakost ploch
0,05	nejpřesnější tvárnice a tvárníky s opracováním na vysoký lesk
0,1	tvárníky a tvárnice s opracováním na běžný lesk
0,2	tvárníky a tvárnice s dokonalým povrchem
0,4	tvárníky a tvárnice s matným povrchem opracování dosedacích ploch
0,8	opracování tvárníc a tvárníků u běžných forem a u dosedacích ploch
1,6	opracování tvárníc a tvárníků méně náročných forem a dosedacích ploch

### 2.2.1 Smrštění

Velikost smrštění je dána rozdílem rozměrů zhotovené dutiny formy a výslednými rozměry plastového dílu, pokud se neuvažují další přídavky. Udává se v procentech. Velikost je ovlivněna jak druhem plastu, tak tvarem výstřiku, technologií vstřikování, ale i vstřikovací formou (vtokovou soustavou, temperačním okruhem apod.). Vliv některých činitelů je na obrázku. Při zjišťování přesné velikosti smrštění je nutné tyto faktory brát v úvahu.

Od jeho velikosti se odvíjí konstrukce formy. Její stanovení je velmi obtížné, proto se využívá tabulek, ve kterých je pro jednotlivé plasty smrštění spočítáno a navrženo. Stanovení smrštění z těchto tabulek není vždy dostačující a rozhodující. U přesných výstřiků je třeba tvar dutiny formy dimenzovat (nadsazovat), aby bylo v případě nutnosti tvar dutiny formy patřičně upravit.

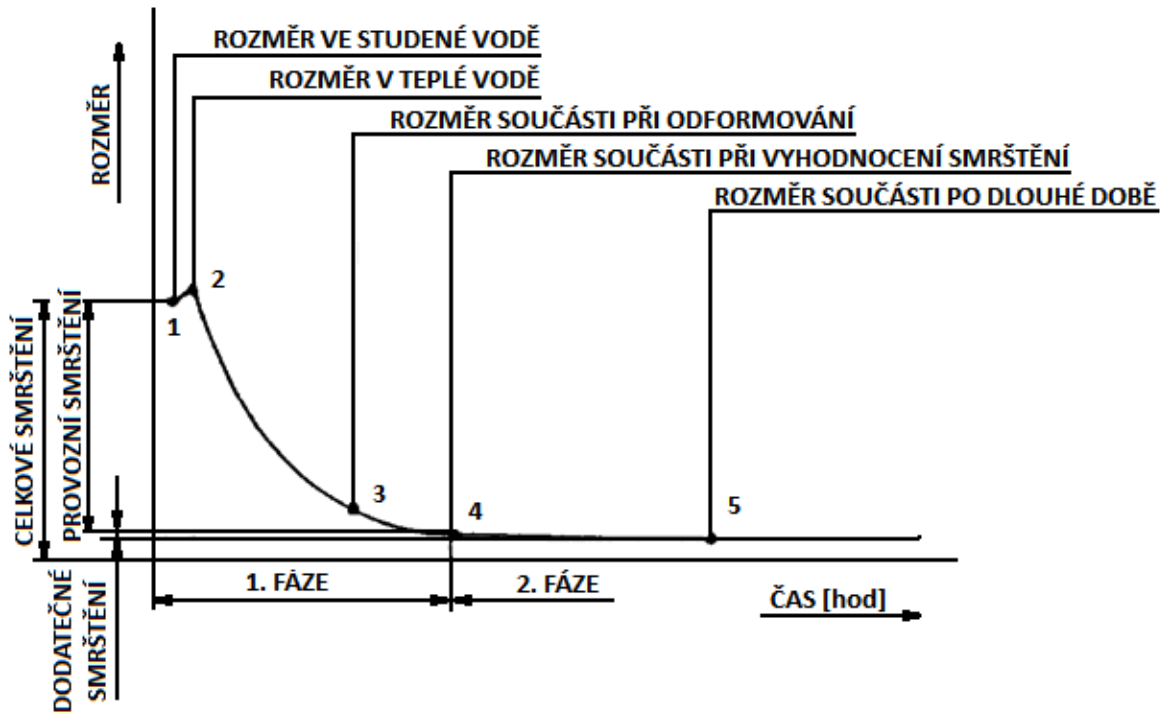
Velikost smrštění v jednotlivých směrech výstřiku nemusí být totožné. Vzniklá struktura (asymetrické plnivo – vlákna) u semikrystalických plastů a také směr proudu taveniny způsobuje anizotropii (nestejnoměrnost vlastností v různých směrech souřadného systému. Vyjadřuje se v procentech). V tomto případě je definována jako rozdíl smrštění ve směru a kolmo a na směr toku taveniny. Je důležité ji zohlednit při umístění vtoku. [3]



*Obr. 5. Vliv nejdůležitějších činitelů na velikost smrštění*

Smrštění se dělí do dvou fází. První fáze je tzv. provozní smrštění stanovené 24 hodinami po výrobě výstřiku. Představuje 90 % celkového smrštění. Druhá fáze smrštění je dodatečné smrštění, které probíhá v delším časovém úseku závislém na druhu plastu. Dodatečné smrštění lze urychlit temperováním a kondicionováním (umělé vpravení vlhkosti do materiálu

výrobku, kterou ztratil sušením granulátu, aniž by díl změnil tvar a rozměry). Průběh smrštění je na obrázku. [3]



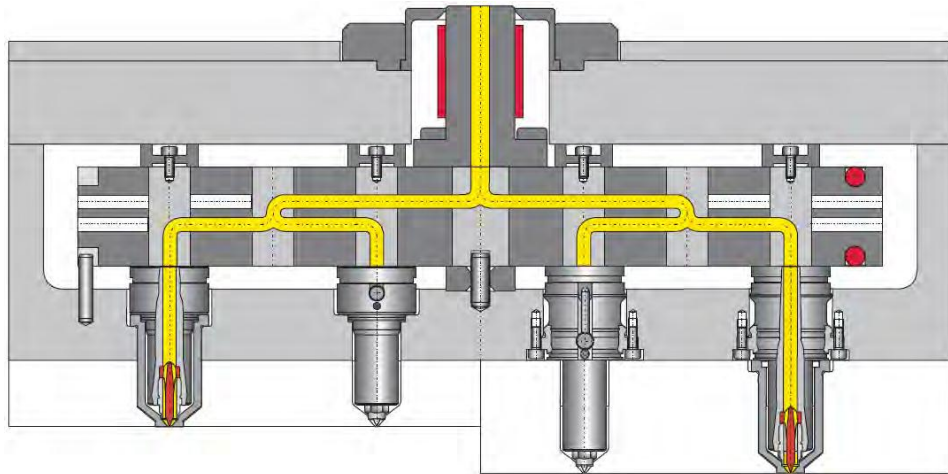
Obr. 6. Průběh smrštění výstřiku

### 2.3 Vtokový systém

Je to systém kanálů a ústí vtoku, který má za úkol zajistit správné naplnění dutiny formy technicky homogenní tavenu plastu v nejkratším možném čase a s minimálními odpory, snadné odtržení nebo oddělení od výstřiku a snadné vyhození vtokového zbytku.

Příklad vtokového systému je na Obr. 7.



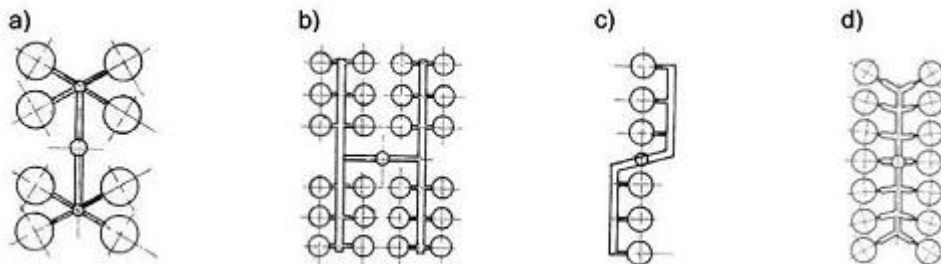


Obr 7. Vtokový systém

Tvar, rozměry, umístění vtoku a ústí vtoku do dutiny ovlivňuje:

- rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku,
- spotřeba plastu,
- náročnost začistění vtoku na výstřiku,
- energetická náročnost výroby.

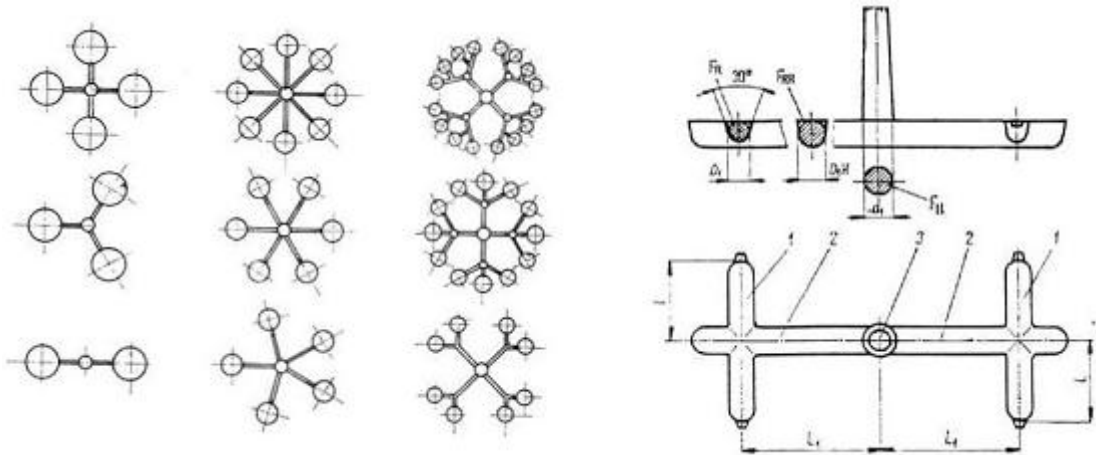
Vtoková soustava a její celkové uspořádání je dáno konstrukcí formy a počtem tvarových dutin (násobnost formy). Zejména u termoplastů má druh a umístění vtoku podstatný vliv na proděnění taveniny ve formě, vytváření tzv. studených spojů, orientaci makromolekul a plniva, rovnoměrnost krystalizace, anizotropii vlastností a rozměrů, povrchový vzhled apod. Vtok má být řešen tak, aby naplnění proběhlo co nejkratší cestou bez teplotních a tlakových ztrát a pokud možno všude ve stejném čase. Pokud je forma řešena jako vícenásobná, musí dojít k plnění všech dutin současně a při stejných technologických podmínkách, a tedy při stejné teplotě taveniny a při stejném vnitřním tlaku. [9]



## Řadové uspořádání vtokové soustavy vícenásobných forem

a) se stejnou délkou toku taveniny

b), c), d) s nesejnou délkou taveniny (nevhodné bez korekce ústí vtoku)



Obr. 8. Uspořádání vtokových systémů

Uspořádání tvarových dutin je znázorněno na Obr. 8. Je možné buď do hvězdy, nebo v řadě. Z pohledu plnění tvarových dutin je lepší uspořádání do hvězdy, jelikož k zaplnění dochází ve stejný čas a při stejném tlaku. Naproti tomu při uspořádání v řadě je toto možné pouze při provedení korekce ústí vtoku tzn. změnou rozměrů rozváděcích kanálů směrem ke vzdálenějším dutinám.

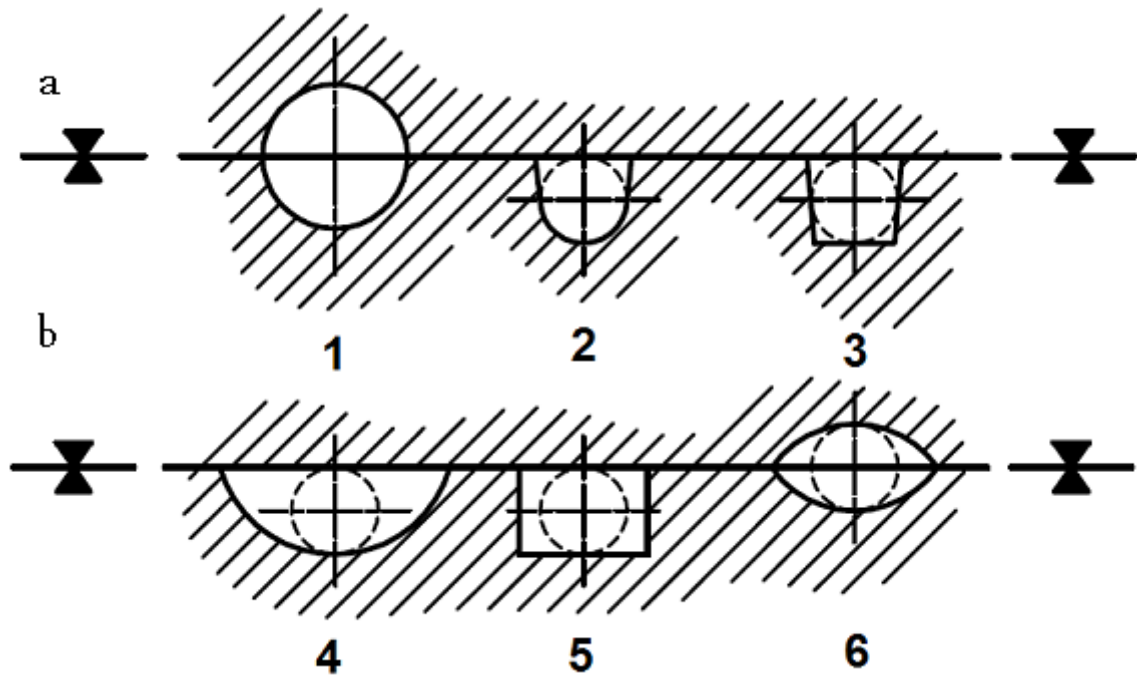
Charakter výstřiku, způsob a ekonomika výroby následně určí, zda se použije:

- *studený vtokový systém* - který je vhodný pro jednodušší výstřiky a malosériovou výrobu,
- *horký vtokový systém* – je vhodnější pro složitější výstřiky a hromadnou výrobu.

### 2.3.1 Studený vtokový systém

Průtokem taveniny studeným vtokovým systémem roste její viskozita na vnějším povrchu (plast tuhne). Ztuhlá povrchová vrstva tak vytváří tepelnou izolaci stále tekutému vnitřnímu proudu, který zaplní celou vnitřní dutinu formy. V okamžiku zaplnění dutiny prudce vzroste vnitřní odpor a poklesne průtok. Odvodem tepla do stěn formy pokračuje tuhnutí

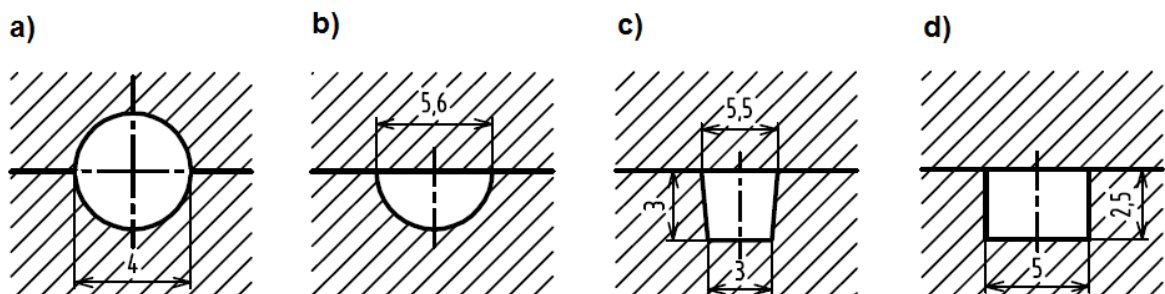




Obr. 10. Průřez vtokových kanálů

a) funkčně výhodné, b) funkčně nevýhodné, 1,6 – výrobně nevýhodné, 2,3,4,5 – výrobně výhodné

Z jednotlivých druhů průřezu kanálu je kruhový nejpoužívanější a také nejvhodnější. Jeho výhoda spočívá ve snadné výrobě. Jestli je průřez vhodný nebo nevhodný se hodnotí dle tzv. smáčivého čísla  $as$ , které vyjadřuje poměr průtočného průřezu k smáčenému povrchu. Čím je číslo vyšší, tím je průřez vhodnější. Srovnání základních typů kanálů při stejném průřezu viz Obr. 11.



Obr. 11. Srovnání základních typů kanálů dle smáčivého čísla

$$as = a)1, b)0,86, c)0,84, d)0,83$$

Aby bylo možné všechny tyto zásady dodržet, je třeba:

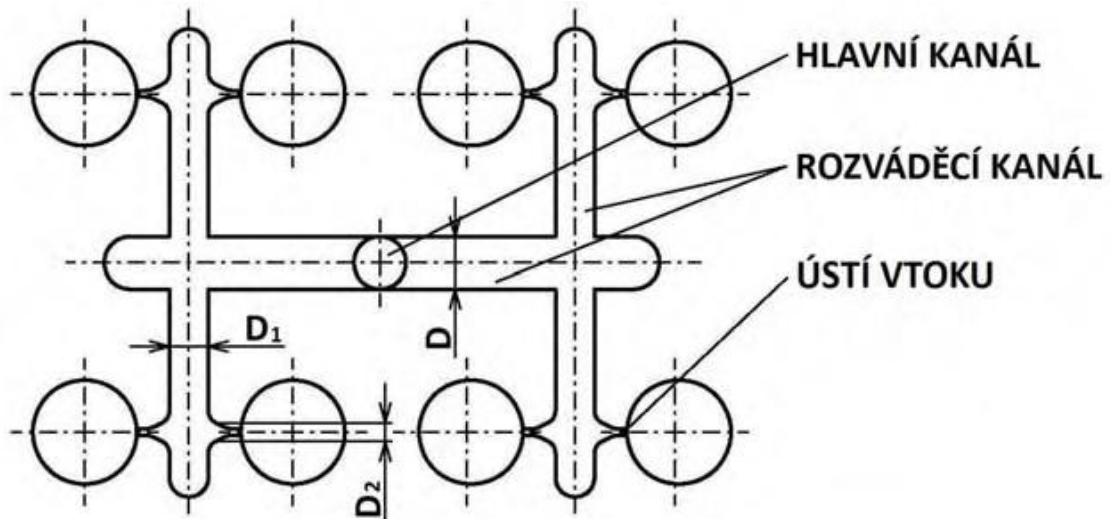
- zaoblit všechny ostré hrany vtokových kanálů,
- stanovit úkosy vtoků kvůli snadnému odformování,
- vyleštit povrch vtokového systému s orientací ve směru odformování,
- zachytit čelo proudící taveniny prodloužením rozváděcího kanálku,
- vyloučit ve vtokovém systému místa s větším nahromaděním plasty,
- neprovádět větvení vtokových systémů pod ostrým úhlem, ale naopak spíše do pravého úhlu. [10]

Hlavní vtokový kanál navazující na trysku vstřikovacího stroje se konstruuje jako kuželový rozšířeným ústím do rozváděcího kanálu přímo do výstřiku. Vtoková část bývá o 0,5 mm až 1mm větší než průměr trysky. Jeho velikost se určuje empiricky podle hodnocení výstřiku. Kužel má úkos  $1,5^\circ$ .

Průměr rozváděcího kanálu se volí buď nepatrně větší, nebo stejný jako ústí vtokového kanálu. V místě spojení je nutné vytvořit jímku chladného čela taveniny jako tahače vtoku. Jímka tak umožní snadnější vyhození vtokového zbytku.

Vtokové ústí je zúžená část rozváděcího kanálu. Jen ve výjimečných případech jako je potlačení např. propadů se může použít plně zúžený vtok. Zúžením se zvýší teplota taveniny před vstupem do dutiny formy. Jeho velikost musí být co nejmenší kvůli snadnému zčištění vtoku, ale také musí být zajistit spolehlivé naplnění dutiny formy.

Tvar ústí bývá kruhový pro rotační díly nebo šterbinový pro tvarové výstřiky. Jeho parametry se volí podle objemu výstřiku. [11]



Obr. 12. Části vtokového systému

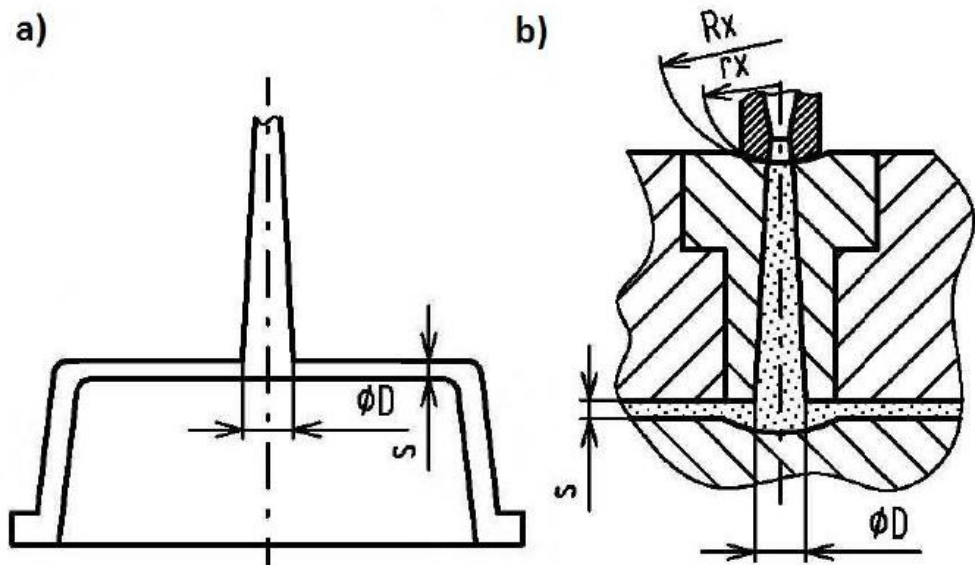
$D$  – hlavní rozváděcí kanál,  $D_1$ ,  $D_2$  vedlejší rozváděcí kanál

### ***Kuželový vtok***

Přivádí taveninu do dutiny vtoku bez zúžení vtokového ústí. Používá se převážně u jednonásobných forem pro symetrické tlustostěnné výstřiky. Jeho vhodný zejména kvůli vysoké účinnosti dotlaku. Nevýhodou tohoto vtoku je, že vždy zanechá stopu a jeho odstranění je velmi pracné. [9]

### ***Bodový vtok***

Je nejpoužívanější z kategorie zúžených vtoků. Má většinou kruhový průřez. Bývá používán jako ústí z vtokového kanálu, z předkomůrky nebo z rozváděcích kanálů. Při použití tohoto typu je třeba použít třídeskový systém formy, aby jím bylo zajištěno, že se nejprve odtrhne vtokové ústí a pak se otevře forma. Nedoporučuje se používat u tekutých a plněných plastů. [9]

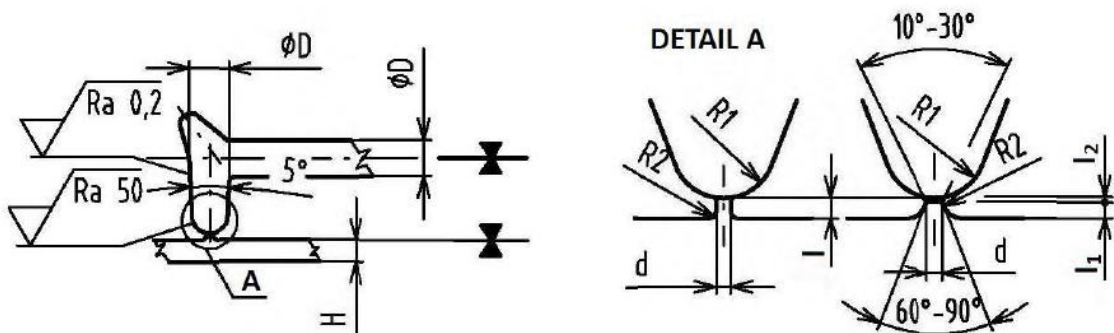


Obr. 13. Kuželový vtok

a) plný kuželový vtok, b) čočkovité vybrání v dutině formy

$D$  – průměr vtokového kanálu,  $s$  – tloušťka stěny výstříku,  $R$  – poloměr sedla trysky,

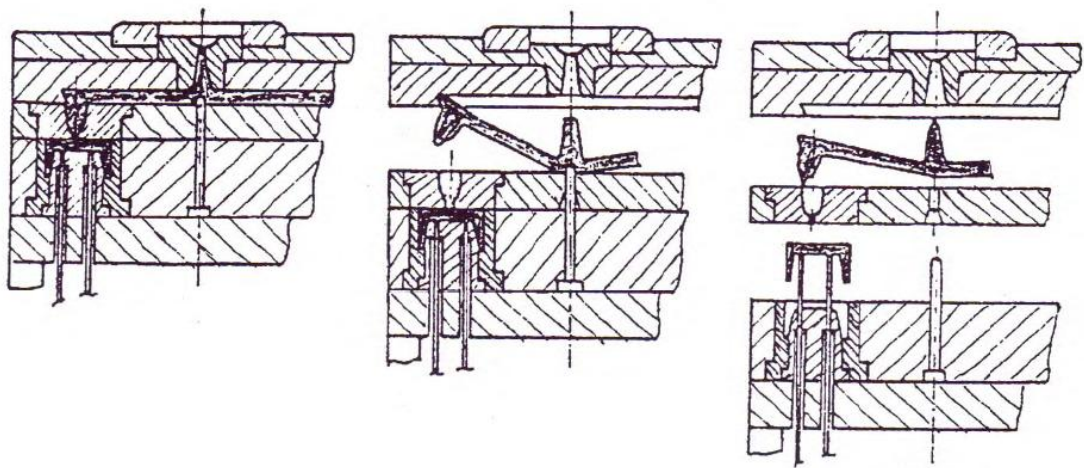
$r$  – poloměr sedla trysky stroje



Obr. 14. Bodové vtokové ústí

$D$  – průměr komůrky,  $R$  – poloměr zakončení komůrky,  $R$  – poloměr zakončení ústí,

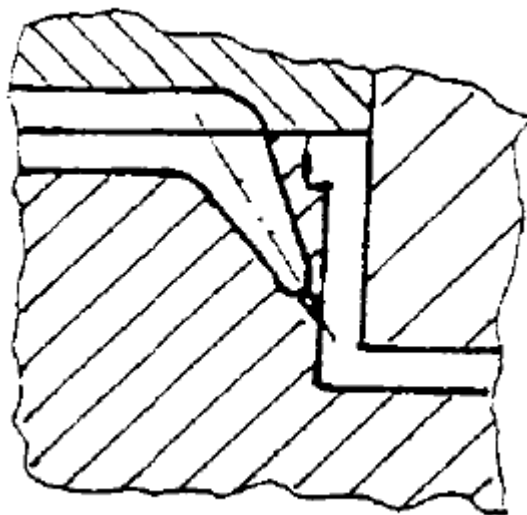
$d$  – průměr ústí,  $H$  – tloušťka výstříku



Obr. 15. Třidesková koncepce formy

### **Tunelový vtok**

Je zvláštní případ bodového vtoku. Jeho výhoda je v tom, že vtokový zbytek může ležet v jedné rovině s výstřikem, čímž se ušetří za nákladnou a složitou třideskovou formu. K oddělení vtokového zbytku dojde otevřením formy nebo při vyhazování výstřiků. Pro správnou funkci tunelového vtoku je třeba vytvořit ostrou hranu, která oddělí vtokový zbytek od výstřiku. Oproti bodovému vtoku je mnohem náročnější na výrobu. Tento vtok se používá zejména u vzhledově náročných výstřiků. [9]



Obr. 16. Tunelový vtok

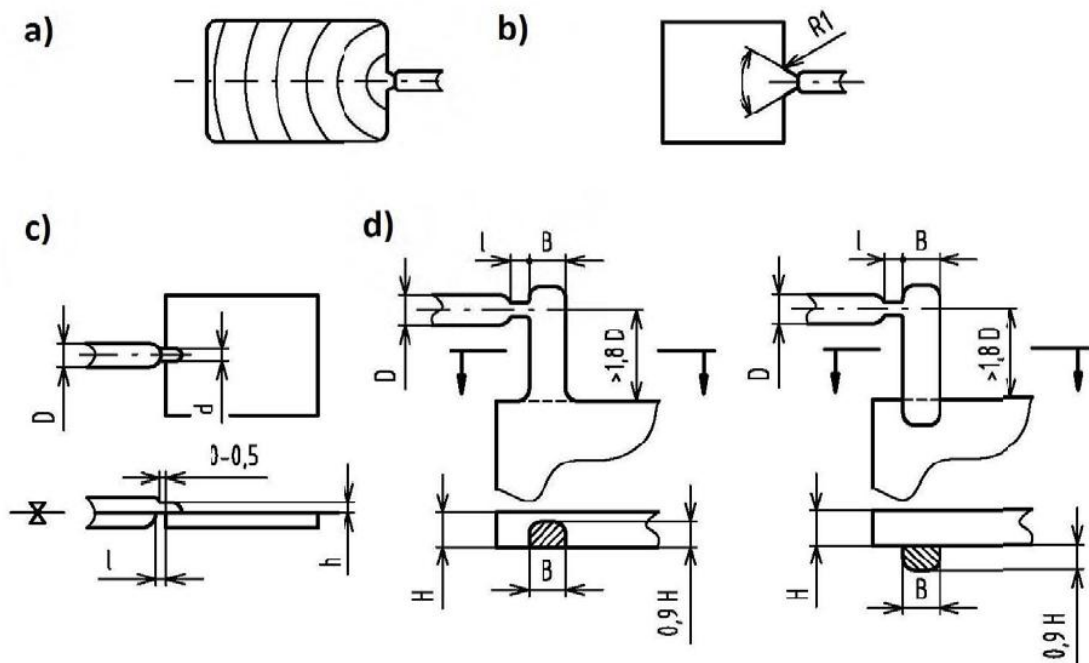


**Boční vtok**

Tento vtok má tu zvláštnost, že při odformování zůstává vtokový zbytek spojen s výstřikem. Jeho oddělení se při automatickém cyklu provádí zvláštním odřezávacím zařízením, které je součástí formy. V běžné praxi se odděluje ručně ulamováním. Vtokové ústí se často upravuje kvůli zamezení volného vstřikování taveniny do dutiny. Upravuje se buď do tvaru vějíře, nebo se řeší jako boční vtok s překrytím, které zamezuje poškození tvárnice. Po oddělení vtokového zbytku zůstává stopa na spodní části výstřiků. Při výrobě např. optických výstřiků se používá nepřímý boční vtok, který zamezí vzniku velkých vnitřních pnutí. Vtokové ústí je v nálitku, který se dodatečně oddělí obráběním. [9]

Prstencový, deštníkový, diskový a filmový boční vtok se používá v těch případech, pokud jsou na výstřiky kladeny vyšší nároky z hlediska kvality. Jejich odstraňování je však mnohem složitější a proto se jejich tloušťka volí co nejmenší (0,3mm).

Použití jednotlivých druhů je na Obr. 17.



Obr. 17. Boční vtok

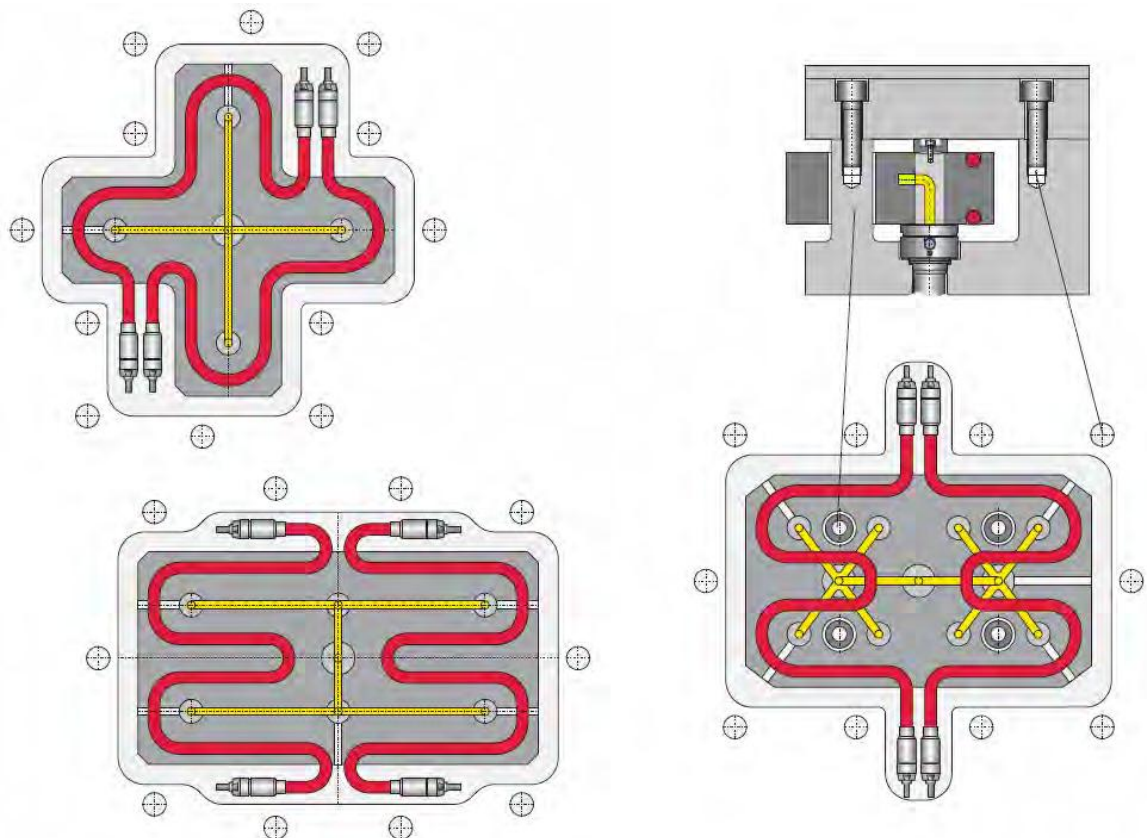
a) běžný, b) vějířový, c) s překrytím, d) nepřímé vtoky

### 2.3.2 Horké vtokové soustavy

Vyhřívané vtokové soustavy se používají především u forem pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Jelikož je soustava rozvodu taveniny značně tepelně a mechanicky namáhána, vyžaduje větší tuhost formy a tedy i větší přesnost výroby formy. Tím se zvýší výsledná cena formy. Proto nejsou tyto formy ekonomicky vhodné pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz.

U jednonásobné formy je vstřikovací tryska napojena přímo na ústí do dutiny formy. U vícenásobných forem je součástí vyhřívané vtokové soustavy vyhřívaný rozváděcí blok s tryskami, který pak ústí do dutiny formy pomocí kanálů.

Správná teplota taveniny je řízena regulátorem ovládaným snímači. U náročnějších a větších forem se používá více nezávislých topných okruhů. [10]



Obr. 18. Vyhřívaný rozváděcí blok

## 2.4 Vyhazovací systém

Protože výstřik po otevření formy zůstane v pohyblivé straně je třeba vyhazovací systém, který zajistí vyhození nebo vysunutí z dutiny nebo tvárníku otevřené formy.

Pracuje ve dvou fázích:

- pohyb vpřed (vlastní vyhození),
- pohyb vzad (návrat vyhazovacího systému do původní polohy).

Pro správnou činnost vyhazovacího systému je třeba, aby měl výstřik hladký povrch a stěny měly úkosey minimálně  $0,5^\circ$ . Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby se zamezilo přičení výstřiku a tím vzniku trvalých deformací nebo dokonce k poškození. Tvar, rozložení a umístění vyhazovačů je velmi rozmanitý a záleží na tvaru výstřiku. V některých případech lze vyhazovače využít i k výrobě funkčních dutin nebo jako části tvárníku. U hlubokých tvarů umožní odvodušnění tvarů. [12]

Ve většině případů zanechají vyhazovače stopu na dílu. V takových případech, pokud je tato stopa na závadu, se výstřik buď dodatečně opraví, nebo se vyhazovače umístí na stranu, kde stopa nebude vadit. Kromě vyhazování výstřiků se vyhazují také vtokové zbytky. V některých případech uspořádání je dokonce možné oddělit vtokový zbytek od výstřiku.

Mechanismus pohybu vyhazovacího systému bývá aktivován:

- při otevření formy narážecím kolíkem upevněným na traverzu vstřikovacího stroje,
- hydraulickým nebo pneumatickým zařízením, které bývá obvykle příslušenstvím vstřikovacího stroje,
- ruční vyhazování.

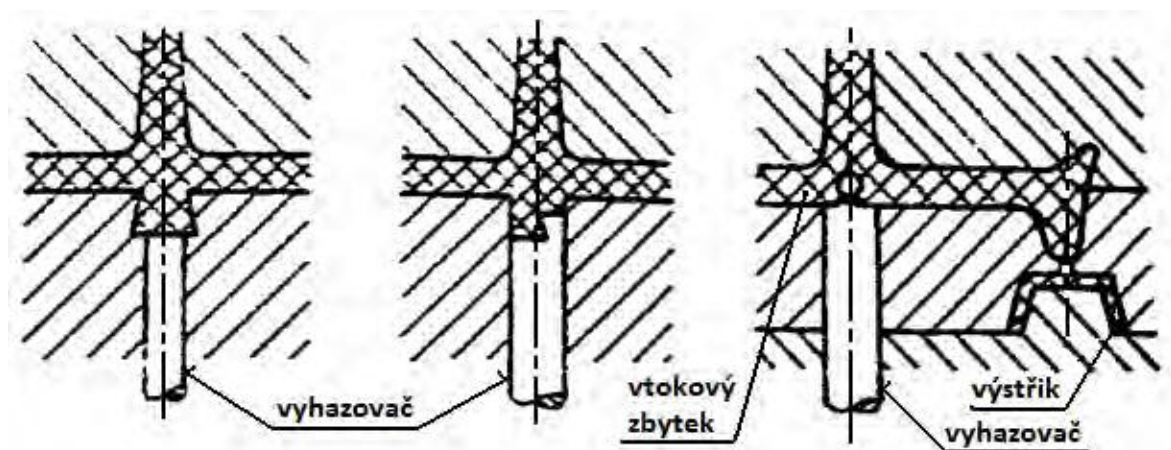
Zpětný pohyb je zajištěn:

- vratnými kolíky,
- pružinami,
- speciálním mechanickým, vzduchovým nebo hydraulickým zařízením.

Vyhazovací systém musí vyvinout dostatečnou sílu pro vyhození výstřiku. Velikost této síly závisí:

- na velikosti smrštění a jakosti povrchu funkčních ploch tvárníku formy,
- na technologických podmínkách vstřikování (tlaku, teplotě formy a platu, době chlazení),
- na pružných deformacích. [12]

Při rozevírání formy je třeba zajistit, aby byl vtokový zbytek přidržen na vyhazovací straně, dokud není bezpečně vytažen vtok z vtokové vložky. Potom je teprve vyhazovacím kolíkem vyhozen výstřik s vtokovým zbytkem. Jednotlivé způsoby jsou znázorněny na Obr. 19. Použití daného způsobu je závislé na koncepci formy a funkci vtokového zbytku.



Obr. 19. Způsoby přidržení a vyhození vtokového zbytku

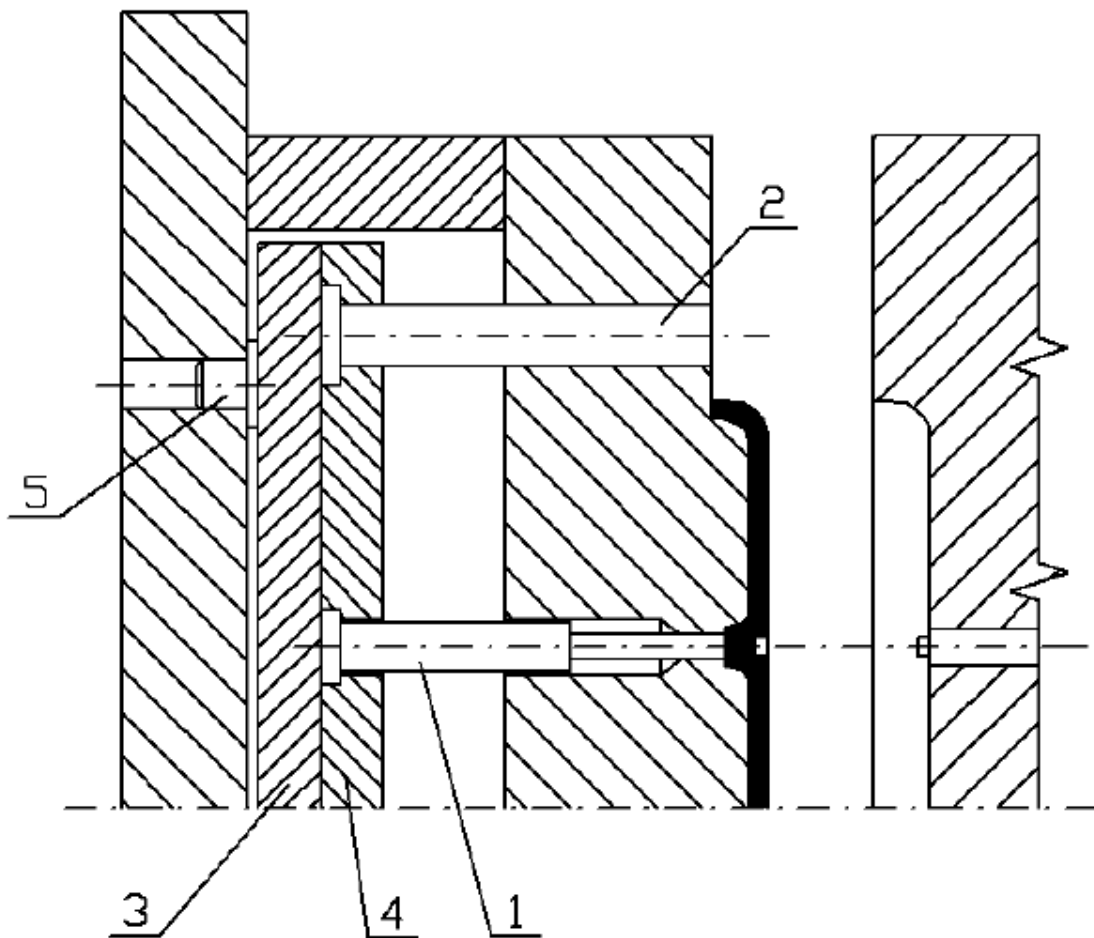
#### 2.4.1 Mechanické vyhazování

Nejčastější způsob vyhazování výstřiků je mechanický princip, buď pomocí vyhazovacích kolíků, nebo pomocí stíracích desek, stíracích kroužků. V řadě případů se jednotlivé způsoby kombinují.

### *Vyhazovací kolíky*

Je to nejčastější a zároveň nejlevnější způsob, díky své výrobní jednoduchosti a to se zaručenou funkčností. Používá se všude tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození.

Vyhazovací kolíky jsou obvykle válcové. Jejich uložení ve formě bývá nejčastěji v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle požadované funkce a tuhosti plastu. Tímto uložení se získá dostatečná vůle, která zajistí odzdušnění formy. [13]

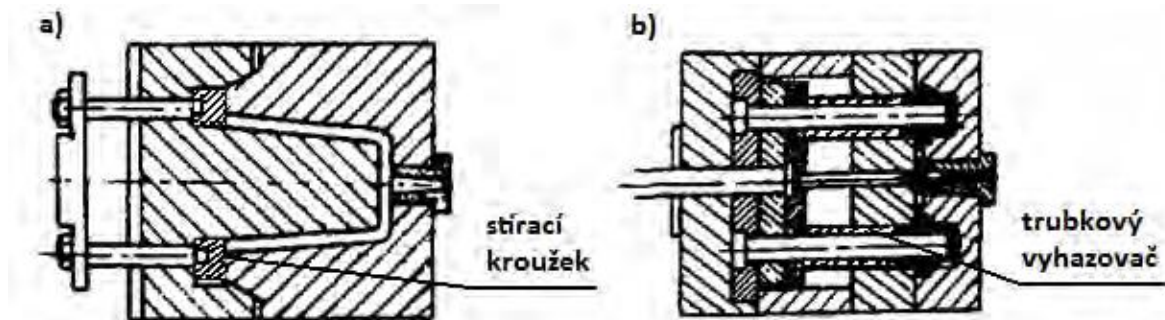


*Obr. 20. Vyhazovací kolíky*

*1 – vyhazovací kolík, 2 – vratný kolík, 3 – spodní deska vyhazovače, 4 – horní deska vyhazovače, 5 – narážka*

### *Stírací deska*

Tento způsob vyhazování funguje na principu stírání výstřiku z tvárníku po celém jeho obvodu. Tento způsob vyhazování je vhodný u výstřiků, na kterých by stopa po vyhazovači vadila. Díky velké stykové ploše stopu nezanechá. Velká styková plocha způsobuje také minimální deformace výstřiku. Používá se zejména u tenkostěnných výstřiků, kde by hrozila velká deformace klasickými vyhazovači. Speciálním případem je trubkový vyhazovač.

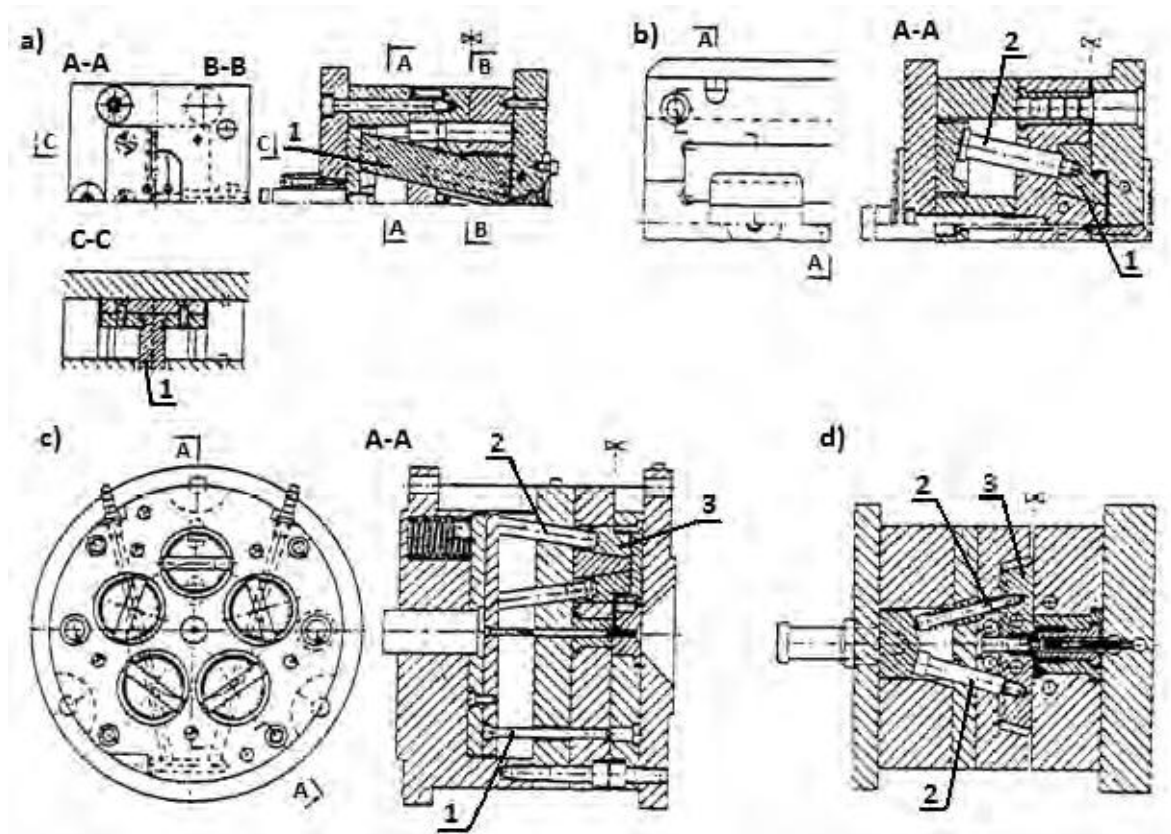


*Obr. 21. Vyhazování stírací deskou*

*a) stírací kroužek, b) trubkový vyhazovač*

### *Šikmé vyhazování*

Je to speciální způsob mechanického vyhazování, který využívá kolíky umístěné vůči dělicí rovině pod různými úhly. Využívají se u malých a středních výstřiků, které mají mělký vnitřní nebo vnější zápich. [12]



Obr. 22. Formy s šikmým vyhazováním

1 – vyhazovač, 2 – vyhazovací čep, 3 – stírací vložka

#### 2.4.2 Vzduchové vyhazování

Vzduchový systém vyhazování je nejvhodnější pro tenkostěnné výstřiky větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování odvodu vzduchu, aby se nedeformovaly. Běžné mechanické vyhazování používané u větších výstřiků vyžaduje velký zdvih vyhazovače a tím i větší délku formy.

#### 2.4.3 Hydraulické vyhazování

Hydraulický vyhazovač se vyrábí jako uzavřená hydraulická jednotka, která se zabuduje přímo do připraveného místa ve formě. Používá se hlavně k ovládní mechanických vyhazovačů, jako jsou kolíky, stírací desky apod. Umožňuje pružnější pohyb a větší flexibilitu.

[13]

## 2.5 Temperační systém

Účelem temperance je udržet konstantní teplotní režim formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování při dodržení všech technologických požadavků na výrobu. Toto se dosahuje ochlazováním, případně vyhříváním celé formy nebo její části.

Během vstřikování se do formy přivádí roztavený plast, který v dutině chladne až na teplotu vhodnou pro vyjmutí výstřiku. Temperace ovlivňuje zaplnění formy a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí plastu. Opakovaným vstřikováním plastu do dutiny se forma stále více ohřívá. Proto je potřeba přebytečné teplo odvést temperančním systémem.

Naopak je tomu při zpracování některých plastů vyžadující vyšší teplotu (PC až 120°C). V takových případech jsou tepelné ztráty vyšší než ohřátí formy od vstřikované taveniny a forma se musí naopak ohřívát. Stejně tak při zahájení výroby je třeba formy nejprve nahřát na provozní teplotu. [15]

Odlišnou teplotou jednotlivých částí formy se zvyšují rozměrové a zejména tvarové úchytky výstřiku. V některých případech se však záměrně temperují různé části formy odlišně, čímž se eliminují tvarové deformace způsobené anizotropií smrštění plastu. Zpracovatelské teploty formy a taveniny vybraných plastů jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2. Požadované teploty formy a taveniny

Termoplast	Teplota taveniny (°C)	Teplota formy (°C)
ABS	190-250	50-85
PA 6	230-290	40-120
PC	280-320	85-120
HDPE	180-270	20-60
LDPE	180-270	20-60
PMMA	200-250	50-80
POM	180-220	50-120
PP	170-280	20-100
PS	180-260	55-80
PVC tvrdé	190-220	30-60
SAN	200-260	50-85
PSU	340-400	120-160
PEAK	380-430	160-220
LCP	310-360	65-95

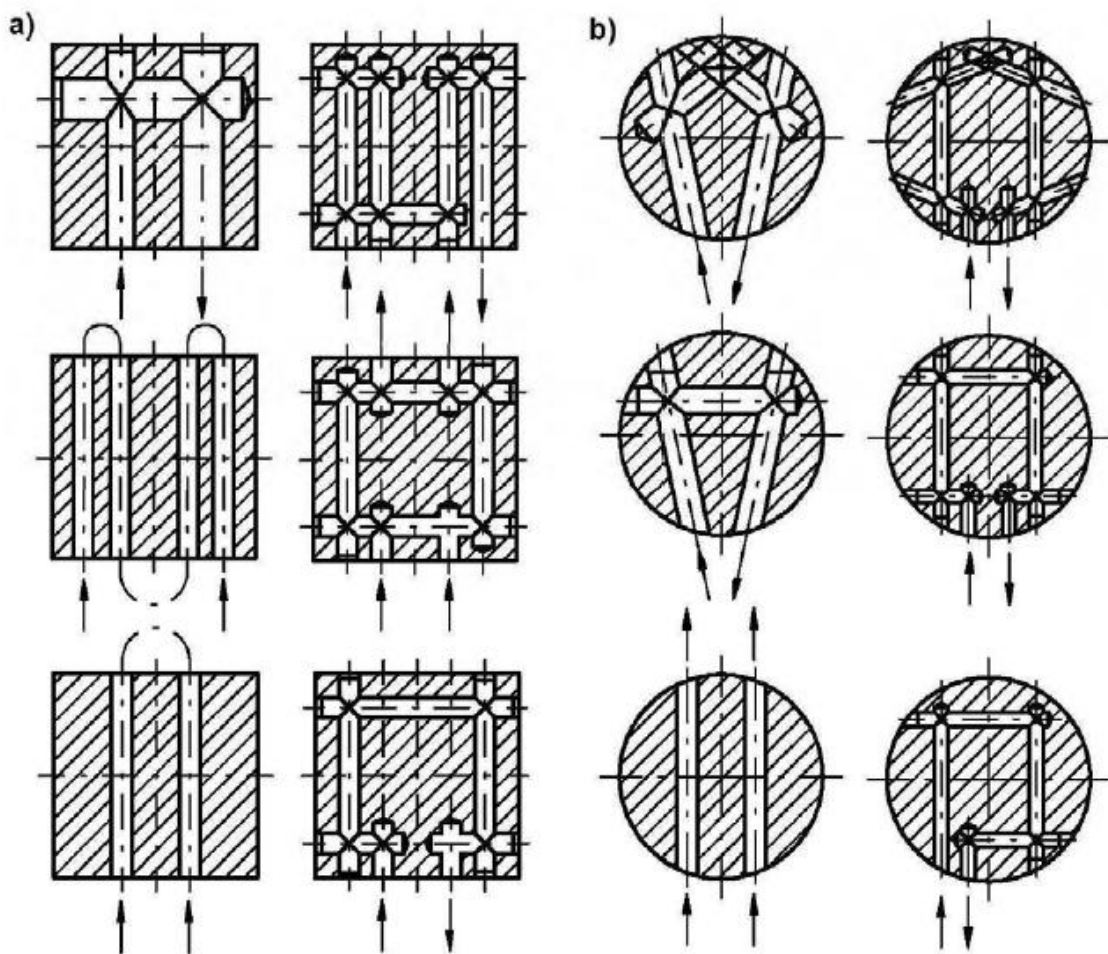


Úkolem temperace je:

- zajistit rozměrovou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu dutiny,
- odvést teplo z dutiny naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku

Teplné ztráty zahrnující odvod tepla od upínacích desek stroje, odvedené do okolí a vyzáření se velmi těžce zjišťují. Přesnější hodnoty lze získat výpočtem, který je však velmi složitý. Pro omezení tepelných ztrát formy se upravuje povrch formy leštěním, případně se forma pokryje izolační fólií. Aby se omezilo úbytkům tepla přes upínací plochu formy do stroje, vkládá se mezi stroj a formu izolační deska z materiálů na bázi vystužených reaktoplastů, nekovových organických látek apod. (sklotextit, sklotextit SI...). [15]

Příklady konstrukčního řešení temperačních okruhů formy jsou na obrázku Obr. 23.



Obr. 23. Příklad konstrukčního řešení temperačních okruhů

Nejčastějším aktivním médiem je voda, která proudí v temperačních kanálech uvnitř formy. Účinnost přestupu tepla je dána velikostí a kvalitou styčné plochy kanálu, způsobem prodění a také teplotním rozdílem média.

Tab. 3. Aktivní temperační prostředky

Typ	Výhody	Nevýhody
voda	dobrý přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost	použitelné do 90°C, vznik koroze, usazování kamene
olej	možnost temperace nad 100°C	zhoršený přestup tepla
glykoly	omezení koroze	stárnutí, znečištění prostředí

Použití vzduchu jako chladicího média je velmi omezené díky malé účinnosti. Hodí se pouze pro ochlazování povrchu formy a vnitřku dutiny při jejím optevření, případně při chlazení tenkých tvárníků, jader nebo vyhazovačů. Používá se jen tehdy, je-li díky nedostatku místa použití kapaliny nemožné. [10]

## 2.6 Odvzdušnění forem

V dutině formy je před vstříknutím plastu vzduch. Při jejím plnění je vzduch v dutině stlačován a jeho tlak narůstá. Tento nárůst tlaku může vyústit až k zažehnutí vzduchu a ke spálení plastu. Tento jev je nazýván Dieselův efekt. Vzduch v dutině formy také negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti výstřiku tvořením bublin, které zůstávají uzavřené ve stěnách výstřiku. Z těchto důvodů je třeba zajistit dobré odvzdušnění formy.

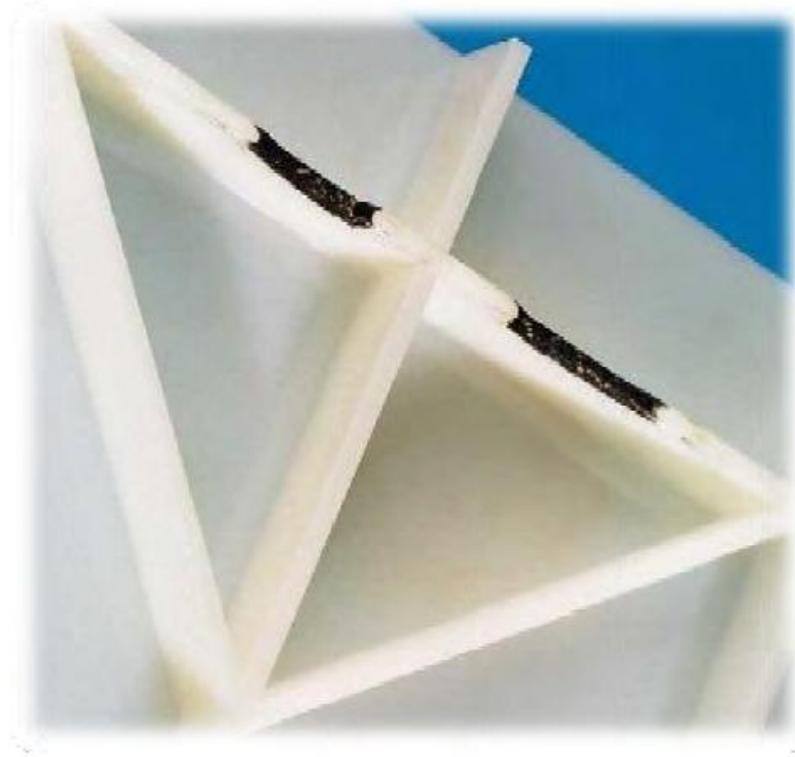
V průběhu vstřikování roste tlak taveniny. Velikost protitlaku stlačeného vzduchu je závislý na odvzdušnění. Je-li nutné zvýšit vstřikovací tlak díky nedokonalému odvzdušnění, bude to mít za následek vnesení zbytečných vnitřních pnutí do výstřiku.

U výstřiku s tenčími stěnami díky nižší teplotě taveniny, nedostatečném tlaku a rychlosti plnění se soustřeďuje vzduch na protilehlé straně od vtoku. Jestliže není umožněné vzduchu uniknout, vzniká nedotečený výstřik. K této vadě může dojít i při nízké teplotě formy nebo malé dávce plastu. [15]

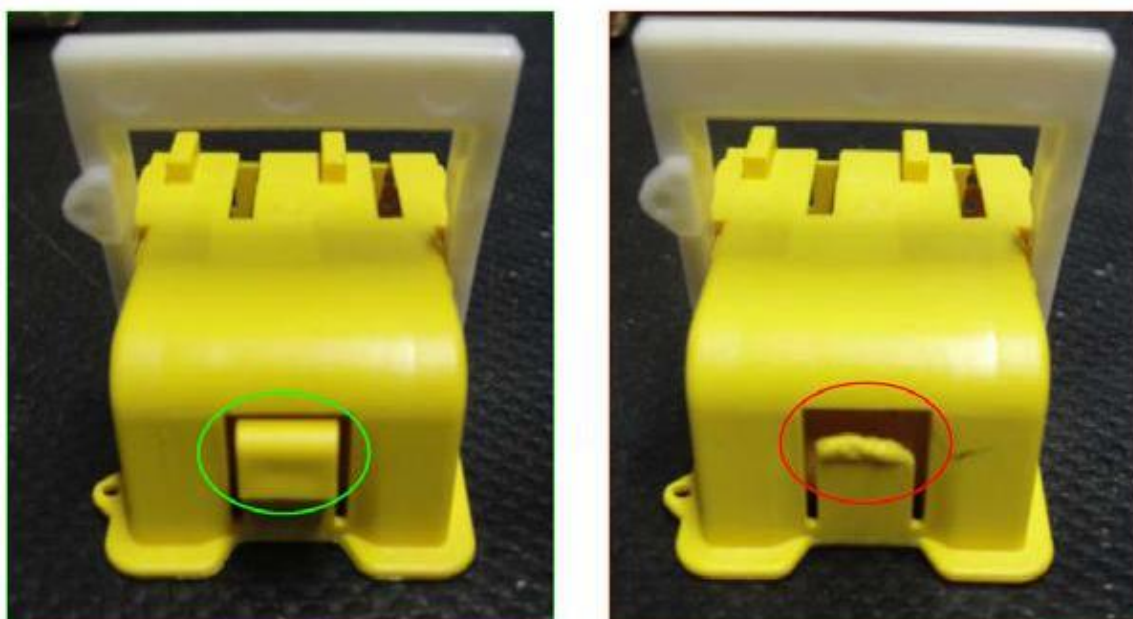
Při určitých technologických parametrech a větších tloušťkách stěn výstřiků vzduch, který nemohl uniknout, vnikne do taveniny a při chladnutí vytvoří bubliny. Bubliny vzniklé nedostatečným odvzdušněním od bublin vzniklých jiným způsobem lze rozeznat, tak, že jsou rozloženy na protilehlé straně vtoku. Bubliny vzniklé například z důvodu vlhkosti polymeru, nebo přehřátím jsou naopak téměř rovnoměrně rozptýleny v celém objemu výstřiku.

### 2.6.1 Určení místa pro odvzdušnění

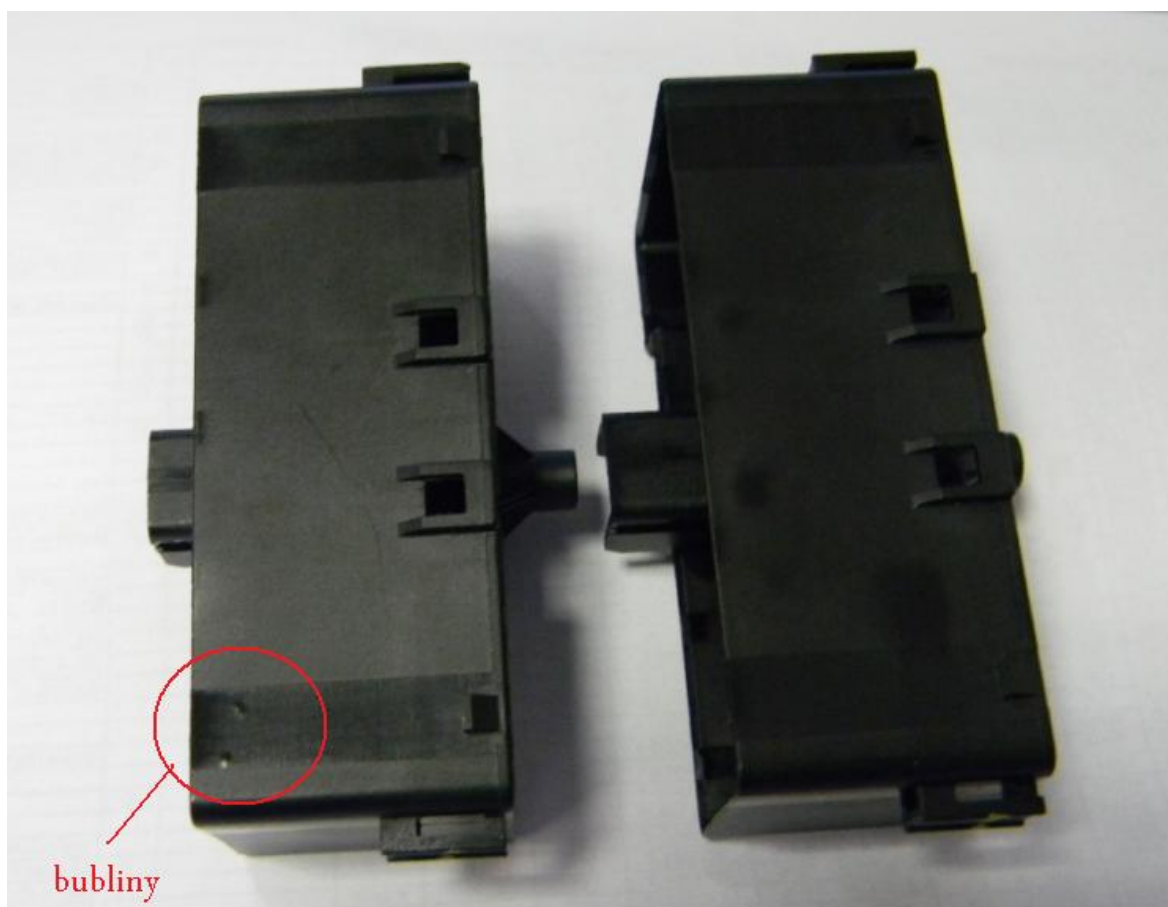
Určit místo pro odvzdušnění je někdy zřejmé z tvaru výstřiku, jindy může být jeho určení obtížnější. Je třeba brát v úvahu směr a způsob zaplnění dutiny taveninou. V nejpozději naplněném místě bude třeba zajistit dostatečné odvzdušnění. Pokud je určení místa natolik obtížné, že nejde stoprocentně určit rozvahou, musí se udělat taková opatření, aby bylo možné odvzdušnění dodatečně realizovat. Poté následují praktické zkoušky formy, při kterých se snadno identifikují místa pro odvzdušnění. [9]



*Obr. 24. Dieselův efekt*



*Obr. 25. Nedolítý díl vlivem špatného odvzdušnění*



*Obr. 26. Bubliny na dílu vlivem špatného odvzdušnění*

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto následující cíle:

- vypracovat studii na dané téma,
- popsat postup optimalizace výroby běžným způsobem,
- navrhnout možnosti snížení počtu optimalizačních kol,
- vypracovat ekonomické zhodnocení.

V teoretické části jsou schromážděny poznatky týkající se procesu vstřikování, vstřikovacího stroje, konstrukce formy a polymerů používaných pro vstřikování.

V praktické části této diplomové práce byl nakreslen zadaný plastový díl ve 3D. Nádledně byly vytvořeny 2D výkresy sestav se všemi díly, potřebné pro montáž formy. K tomuto výrobku byla zkonstruována a vyrobena forma. Při výrobě formy bylo použito normálií od firmy Hasco a Mold-Masters.

Dalším krokem této diplomové práce byl popis výroby jednotlivých uzlů a částí formy, kde bylo nutné navázat na korekci formy, a to jak klasickým způsobem, tak až po kroky vedoucí k snížení počtu korekčních kol.

## 4 PREZENTACE PLASTOVÉHO VÝSTŘIKU

Základním požadavkem pro výrobu formy bylo určení násobnosti formy. Jelikož jde o velmi přesný a rozměrově náročný plastový výstřík, bylo rozhodnuto o jednonásobnosti formy.

Plastový výstřík patří do skupiny výrobků pro automobilový průmysl, a proto jsou kladeny na samotný výstřík největší možné požadavky, co se týká tvaru, rozměrů a povrchem výstříku.

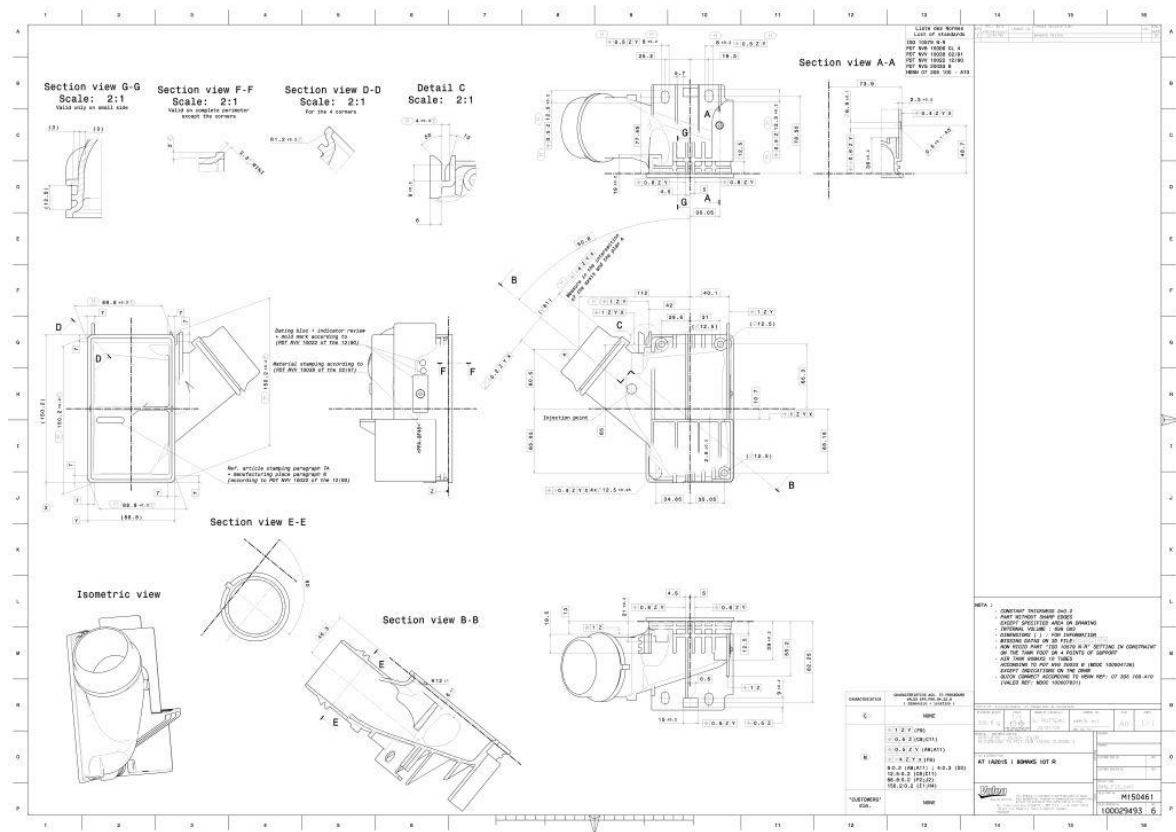
Prvotními a základními podklady pro výstřík, a tím i pro stavbu formy, bylo 2D zadání prostřednictvím výkresové dokumentace (výkres plastového výstříku) a 3D model.

### 4.1 Výkresová dokumentace 2D

Zadání plastového výrobku je dodáno ve výkresové formě a to pro určení tvaru plastového výstříku, tak i pro samotné měření pro zpracování měrového protokolu. Výkresová dokumentace je dodávána v elektronických formátech.

Z výkresu výstříku je dáno:

- materiál, z kterého je plastový výstřík vyroben,
- tolerované rozměry,
- tolerované geometrické rozměry,
- rozměry bez tolerancí,
- popis a označení plastového výstříku,
- smrštění daného polymeru.



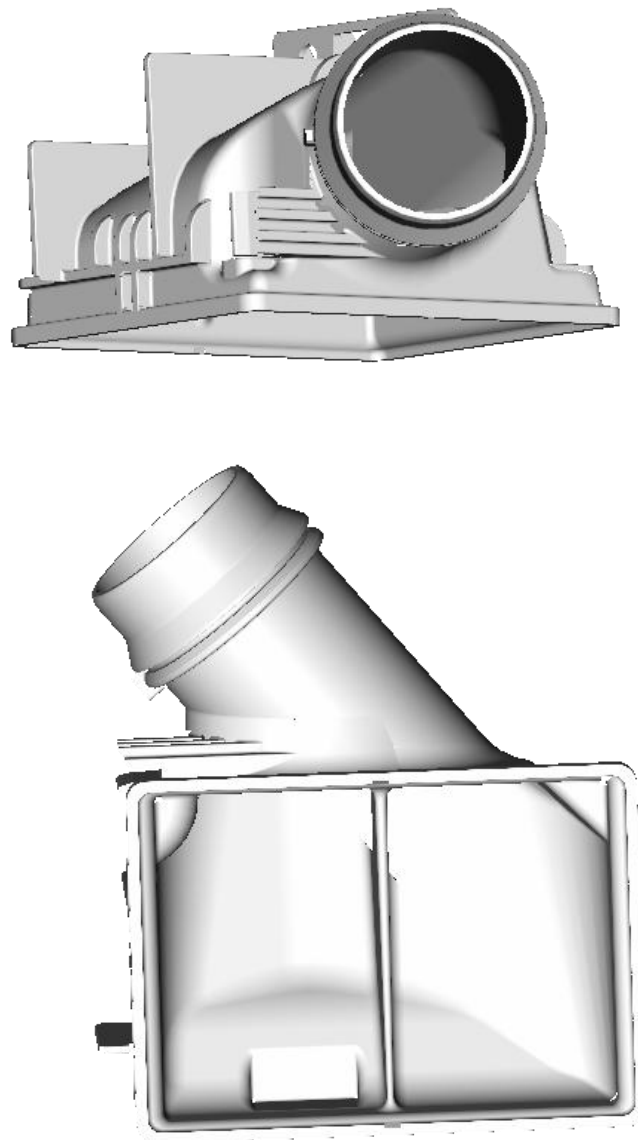
Obr. 27. Výkres plastového výstřiku

## 4.2 3D model výstřiku

3D model bývá dodán od zákazníků ve tvarech step, igs, atd. Dle 3D modelu plastového výstřiku se určuje základní koncepce formy. Konstruktor formy musí jako první věc udělat a zkontrolovat tyto body:

- je možné výstřik odformovat,
- komunikovat se zákazníkem všechny změny, které vedou ke snížení nákladů na výrobu vstřikovací formy,
- formovací úkosy,
- technologické rádiusy.





*Obr. 28. Model plastového výstřiku*

### **4.3 Materiál plastového dílu**

Materiál vyráběného plastového výstřiku byl určen zákazníkem na Polypphtalamid s 45% skelných vláken, obchodní značka je Grivory HT2V - 45H PPA GGF45.

Grivory HT2V-45H je termoplastický materiál na základě semikrystalické struktury.

Využití Polypphtalamidu v různých odvětvých průmyslu:

- elektromechanický,

- elektronický,
- automobilový průmysl,
- bezpečnostní technologie.

Sušení materiálu je procesně určena dle materiálového listu takto:

- teplota sušení max. 80°C,
- čas sušení 4-12 hodin.

Materiálový list dále udává, jak má být nastavena teplota horkého vtoku a jakými vstřikovacími rychlostmi je nejlépe vstřikovat tento polymer. V tabulce tab. 4. jsou data dle výroby polymerů a data pro vstřikování a pracovní tlaky v tab. 5.

*Tab. 4. Zpracovatelské teploty*

Teploty pro zpracování Grivory HT2V-45H	
Zona 1	315-330°C
Zona 2	315-340°C
Zona 3	315-335°C
Tryska	310-335°C
Nástroj	100-140°C

*Tab. 5. Parametry dle materiálového listu*

Vstřikovací rychlost, tlaky	
Vstřikovací rychlost	vysoká
Dotlak	500-700 bar
Dynamický tlak	5-15 bar
Rychlost šneku	50-100 1/min

#### 4.4 Vstřikovací stroj

Plně funkční vstřikovací stroj s prováděnou pravidelnou údržbou, včetně čištění olejové náplně, je samozřejmým předpokladem pro optimalizaci procesu vstřikování. Z hlediska výsledku, tj. výroby výstřiků s definovanou kvalitou, je konstrukční provedení použitého vstřikovacího stroje nedůležité.

Důležitá je reprodukovatelnost nastavených výrobních parametrů, kontrolovaná zejména u dílů pro automobilový průmysl. Další částí práce se vstřikovací formou je nutné kromě reprodukovatelnosti parametrů zajistit správný výběr stroje s ohledem na uzavírací sílu kapacitoplastikační jednotky.

Hlavním úkolem uzavírací jednotky vstřikovacího stroje je být nosičem vstřikovacích forem. Pro zajištění výroby výstřiků bez přetoků v dělicí rovině, při dostatečné tuhosti formy, zejména v oblasti všech pohyblivých částí – čelisti a jejich uzavírací klíny.

Pro výrobu zadaného plastového dílu byl vybrán vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420C. Největší vliv na výběr stroje měly parametry uvedené v tabulce. Nemalý vliv pro koupi tohoto stroje byla cena, poněvadž byl zakoupen pro tuto danou výrobu.



*Obr. 29. Vstřikovací stroj*

Tab. 6. Technické parametry vstřikovacího stroje

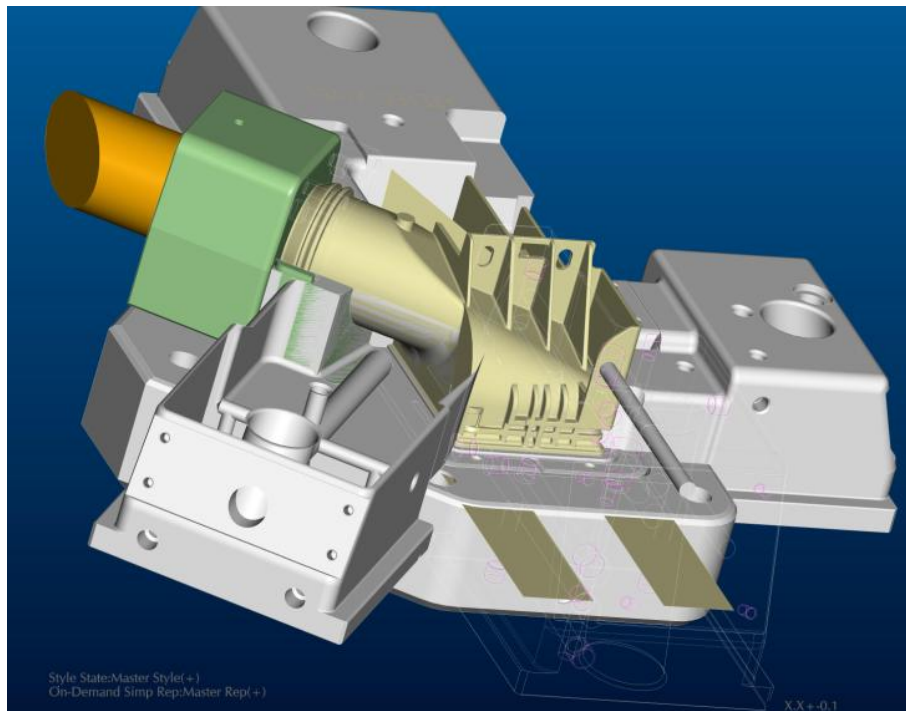
ARBURG ALLROUNDER 420 C 3000-350		PLASTOVÝ DÍL + DATA FORMY	
<b>Uzavírací jednotka</b>		<b>Forma</b>	
Uzavírací síla	3000KN	Uzavírací síla	2800KN
Rozměr upínacích desek	970 x 970 mm	Rozměr formy	696 x 796mm
Rozteč vodících sloupků	820 x 820 mm		696 x 796mm
Maximální pojezd upínací desky	500 mm	Dráha	250mm
Maximální vzdálenost upínacích desek	950 mm	Výška formy	648mm
<b>Plastifikační jednotka</b>		<b>Plastový díl</b>	
Vstřikovací tlak	212 Mpa		
Maximální objem dávky	280 cm <sup>3</sup>	Objem dávky	250 cm <sup>3</sup>
Maximální vstřikovací tok	168 cm <sup>3</sup> /s	Vstřikovací rychlost	96 cm <sup>3</sup> /s
Maximální materiálová výkonnost	29/15 kg/h	Hmotnost dílu	296g
Průměr šneku	40 mm		
Poměr L/D	20		

Tab. 7. Procesní podmínky

Čas vstřiku	2.7s
Celkový čas cyklu	41s
Čas chlazení	20s
Čas plastifikace	6.5s
Čas dotlaku	4s
Teplota chladicí kapaliny	140°C

## 5 KONSTRUKCE, VÝROBA A KOREKCE FORMY

Konstrukce formy začíná na první rozvaze o konceptu formy. Ze zadání plastového výrobku je zřejmé, že půjde o jednonásobnou formu s fixní stranou formy, kde je umístěn horký vtok, které je umístěn v upínací desce formy a formovací desce. Pohyblivou stranu tvoří formovací deska s tvárníkem, mechanickým vyhazovacím systémem. Tvarovou dutinu tvoří tvárník s několika šíbrý. Zaformování dílu v tvarových částech vstřikovací formy je na obrázku obr. 31.



Obr. 30. Zaformování výstřiku

### 5.1 Zásady a postup při konstrukci formy

Vlastní koncepce má následující postup:

- posouzení výkresu součásti z hlediska tvarů, rozměrů a tvářecích podmínek. Je třeba znovu zkontrolovat rozměry, jejich tolerance, rozdíly v tloušce stěn s ohledem na propadliny lunkry,

- určení, případně upřesnění dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Respektovat také směr a velikost potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění vtoků a vyhazování z dutiny formy.
- dimenzování tvarové dutiny a umístění ve formě,
- stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému a odvzdušnění dutin formy,
- navržení rámu formy s ohledem na tuhost a životnost formy,
- vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj s ohledem na využití dostupných prostředků. [9]

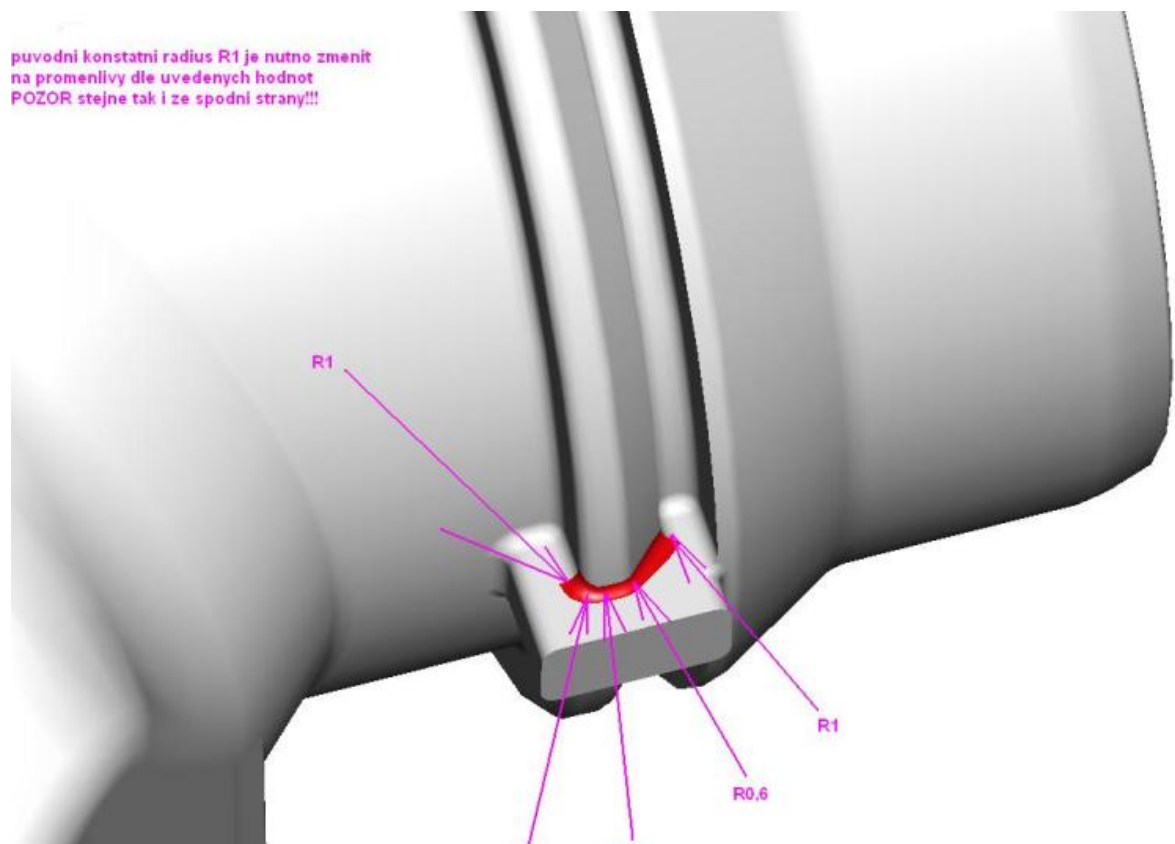
## 5.2 Zaformování výstříku

Správné zaformování výstříku a vhodná volba dělicí roviny patří k zásadním kritériím konstrukce formy. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu.

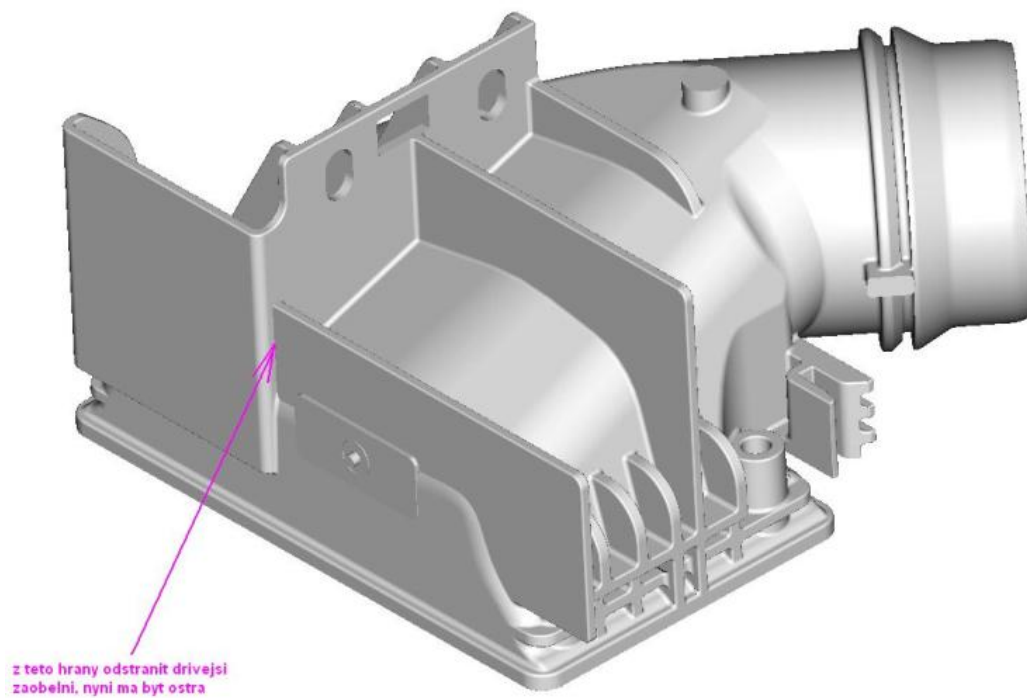
Dělicí rovina bývá navržena jako rovina rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá, nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstříků boční otvory hlavní a vedlejší plochy. Proto je třeba, aby dělicí plocha:

- umožnila snadné vyjmutí výstříku z formy,
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná a dobře sli-covatelná,
- probíhala v hranách výstříku,
- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technolo-gických úkosů a souosost výstříku,
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních vad.

Pro jednodušší zaformování zadaného výstříku a snadnější výrobu byla u zákazníka vyžá-dána změna proměnlivosti rádiusu. Hodnota proměnlivosti rádiusu byla navrhnutá R 0.8 – R 1mm. Tato změna má vliv na odformování této části výstříku a přispěje k tomu, aby při výrobě nedocházelo ke škrábání dílů a tím spojené tvoření nečistot v daném místě formy. [9]



Obr. 31. Změna proměnlivosti rádiusu



Obr. 32. Zákaznická změna profilu výstřiku

## 5.3 Výroba a konstrukce formy

### 5.3.1 Konstrukce a výroba tvarových dílů

Nejdůležitější částí formy jsou tvarové díly. Tyto části tvoří konečný tvar výstřiku a je tedy nutné, aby bylo při jejich konstrukci dbát na co přesnější parametry. Pro pevnou část formy je konstruována a vyráběna tvárnice. Je obvykle vyráběna z konstrukčních materiálů a tepelně zpracována. Pohyblivá část formy je tvořena tvárníkem a pohyblivými čelistmi.

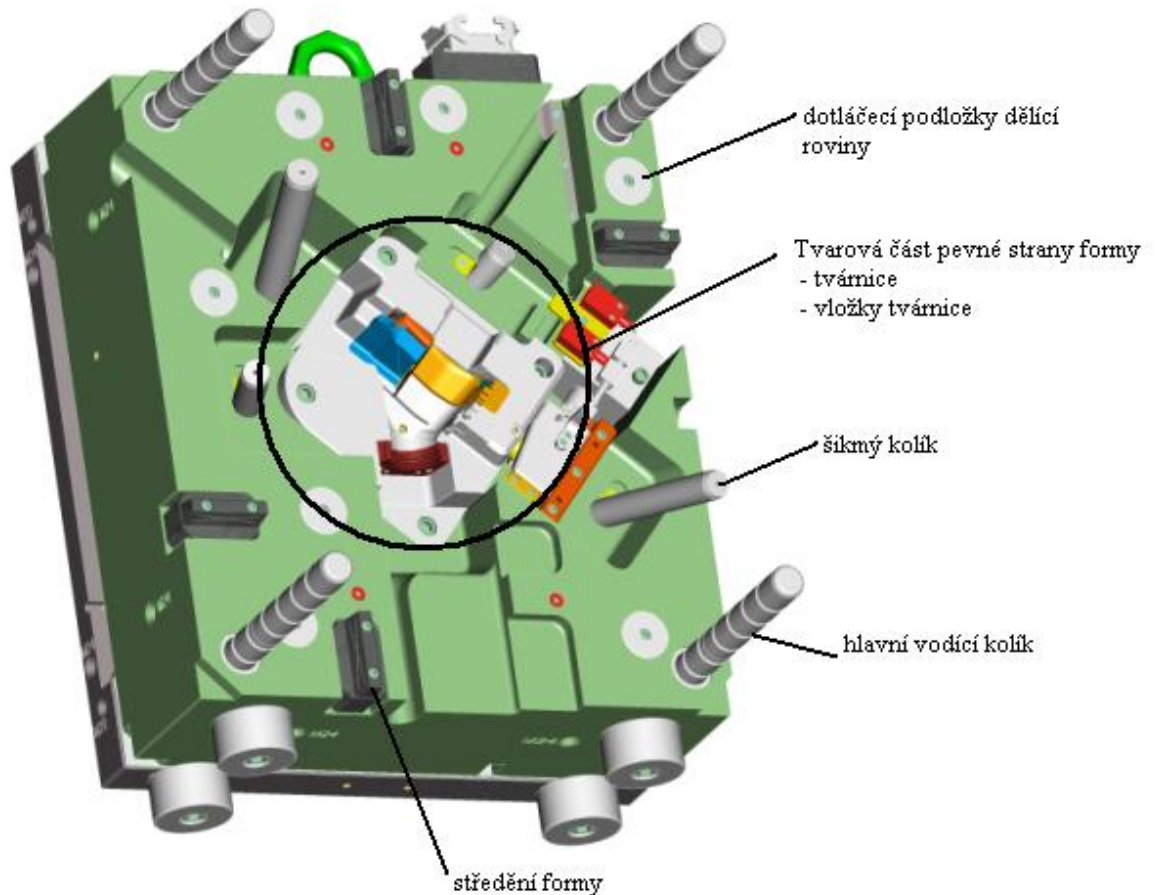
Postup výroby tvarových dílů, jejich materiál a tepelné zpracování:

- vyřezání materiálu tvarové části,
- frézování dle výkresové dokumentace,
- vrtání otvorů pro šrouby a temperační okruhy,
- CNC frézování před kalením,
- tepelné zpracování,
- broušení obvodů po kalení,
- CNC frézování po kalení,
- EDM obrábění (drátové řezání, hloubení tvarových dutin),
- výstupní kontrola.

Tvarové součásti jsou na obou půlkách formy. Kromě tvarových součástí jsou na pevné straně tyto součásti:

- šikmé kolíky,
- hlavní vodící kolíky,
- středění formy,
- dotlačecí podložky dělicí roviny.



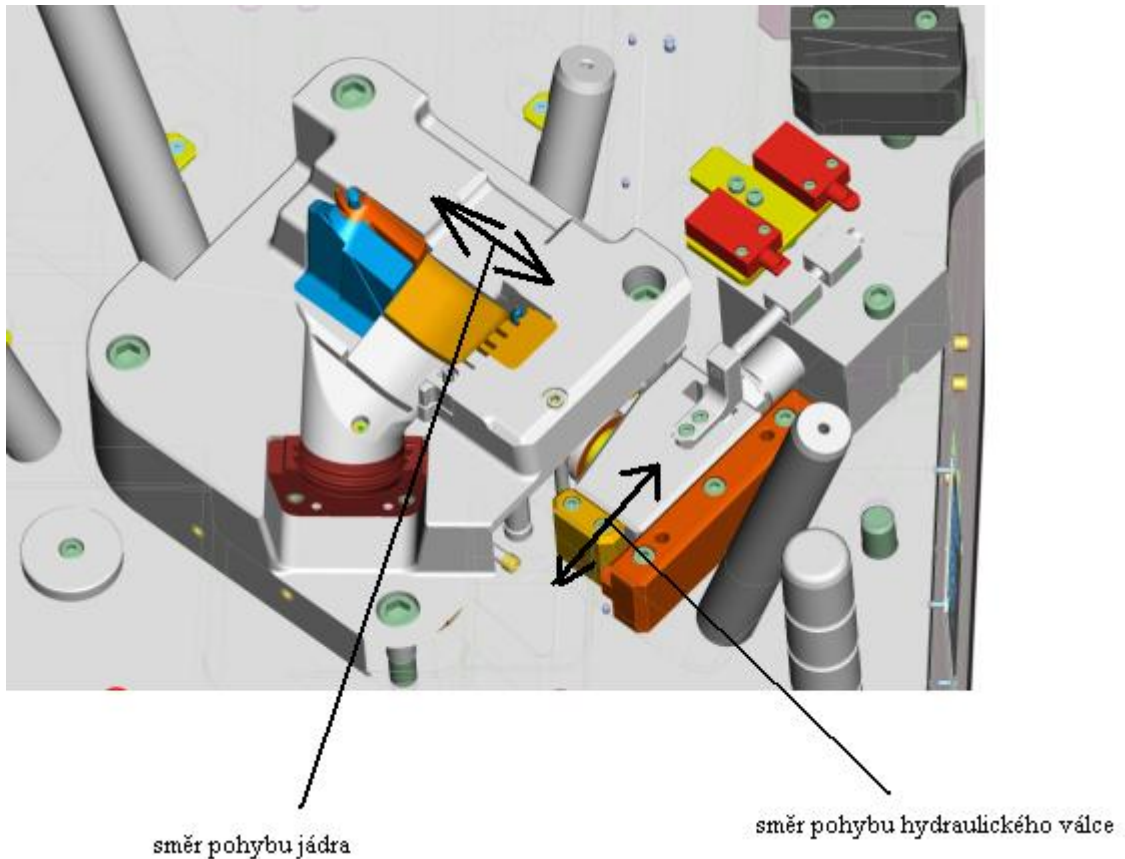


Obr. 33. Pevná strana vstřikovací formy

Specifikací pevné strany je odformování díry, které je provedeno šikmým jádrem. Šikmé jádro se pohybuje pomocí hydraulického válce, který je hlídán koncovými spinači pro horní a dolní polohu jádra. Obr. 34.

K tomuto způsobu konstrukce byly použity zkušenosti z podobného typu výstřiků a zkušenosti z prototypové formy, která byla základem pro sériovou formu. U prototypové formy byla tato část řešena soustavou vložek, které při odformování výstřiku zůstaly na dílu. Pro další výstřik bylo nutné tyto vložky sestavit zpět do formy.

Pro sériovou formu bylo tedy nutné použít odformování pomocí hydraulického válce, který pomocí vedení tvarových vložek v drážkách odformuje tuto pasáž před otevřením formy.

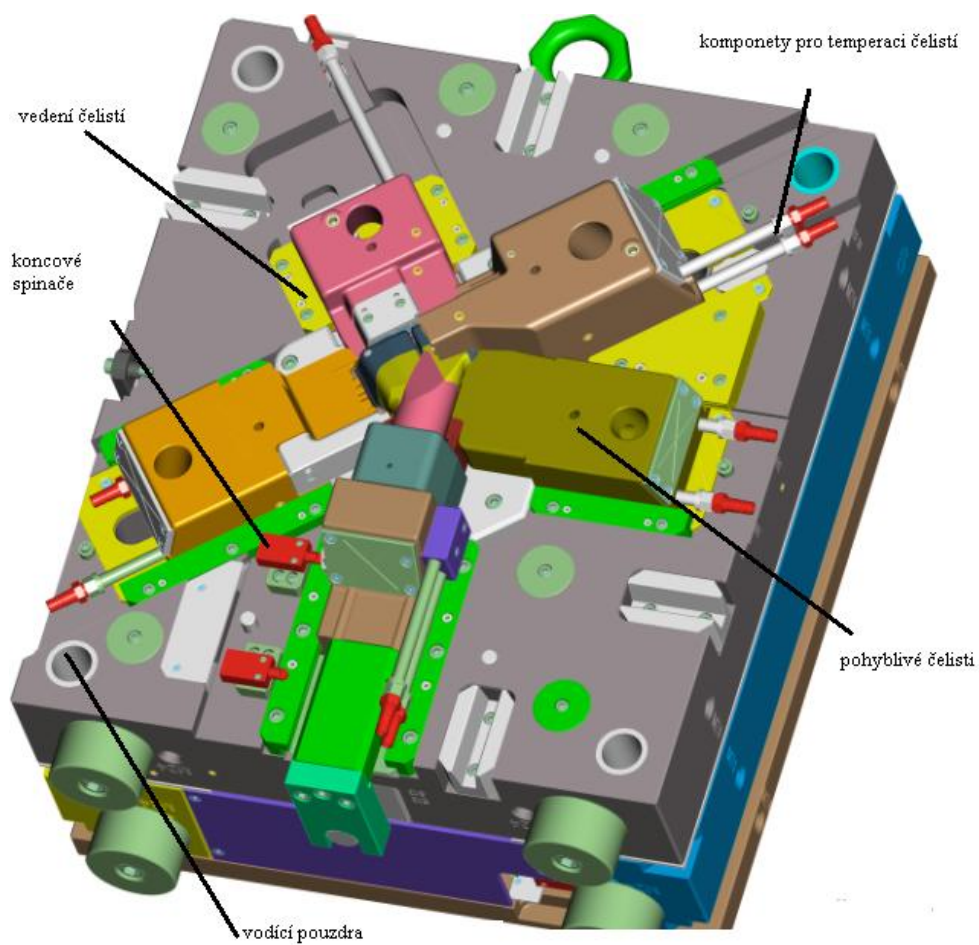


Obr. 34. Odformování pomocí hydraulického válce

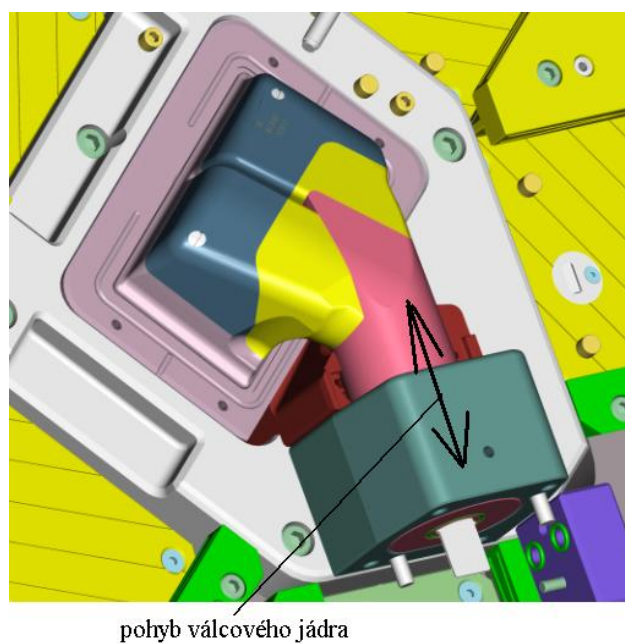
Tvárník z pohyblivé strany tvoří jednu z nejdůležitějších částí formy, společně s pohyblivými čelistmi a šikmým vyhazovačem. Další z funkčních položek formy pohyblivé strany jsou:

- vedení čelistí,
- hlavní vodící pouzdra,
- komponenty pro temperaci čelistí,
- koncové spínače hydraulicky pohybovaných čelistí.

Na obr. 36, je znázorněno odformování pomocí šikmého vyhazovače, který tvoří část pohyblivé části formy. Šikmý vyhazovač slouží pro odformování negativního úhlu plastového výstřiku.



Obr. 35. Pohyblivé části formy



Obr. 36. Odformování dílu pomocí šikmého vyhazovače

Další částí vstříkovací formy jsou formovací desky, ve kterých jsou uloženy tvarové díly. Desky umožňují, aby bylo možno upnout formu na vstříkovací stroj. Desky jsou vyrobeny z konstrukčních ocelí 12050, 11600, 11 325 atd.

Postup určení vhodného rámu:

- nakreslit rozmístění dutin funkčních tvarů výstřiků a způsob rozvedení taveniny do dutiny,
- stanovit celkovou průmětnou plochu dutin výstřiku formy do dělicí roviny,
- určit potřebou uzavírací sílu vstříkovacího stroje,
- vyhledat vhodný vstříkovací stroj s nejbližší vyšší uzavírací silou
- ke zvolenému stroji stanovit vhodný typ rámu (vhodné dle rozměrů normalizovaných desek),
- zvolit další spojovací, středící, vodící a dop lňovací mechanismy.

Rám formy vyžaduje snadné a rychlé upnutí na vstříkovacím stroji. Proto jsou upínací desky formy zvětšeny, nebo jinak upraveny. Upínají se pomocí upínek a šroubů, nebo přímo na upínací desku s pomocí magnetického upínání stroje.

### 5.3.2 Rozpěky

Doplňují rám formy v jeho pohyblivé a někdy i v pevné části formy. Jsou nutné z tohoto důvodu:

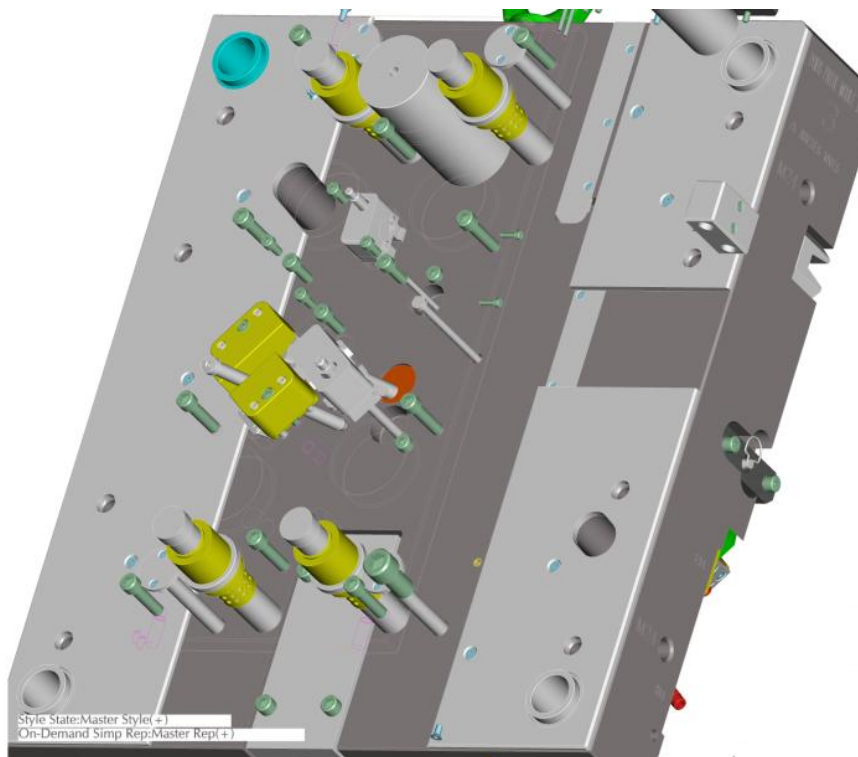
- zvětšují stavení výšku formy,
- vytváří ve formě prostor pro umístění vyhazovacích desek potřebný zdvih vyhazovačů,
- zmenšují stykovou plochu mezi funkční a upínací části formy, aby tepelné ztráty vedení byly minimální,
- u forem s vyhřívanými tryskami vytváří prostor pro vytápěné rozvodné bloky.

Rozpěrky mohou být kruhového, nebo i jiného výrobně jednoduchého průřezu. Jejich rozmístění je voleno tak, aby tuhost rámu byla dostatečná a průhyb desek minimální.

### 5.3.3 Vyhazovací desky

Slouží k ukotvení, vedení, ovládání a zajištění vyhazovačů v jejich pracovním i zpětném pohybu. Používají se obvykle v uspořádání jako deska kotevní a opěrná. Vyhazovací desky, především kotevní deska musí mít vlastní vedení. U menších vyhazovacích desek postačí vedení dvěma kolíky. U větších jsou nutné 4 kolíky. Jejich rozmístění musí být symetrické, aby se zabránilo křížení vyhazovacího paketu. Uspořádání vyhazovacího paketu s klasickými vyhazovači, způsob ukotvení vedení šikmého vyhazovače a rozmístění mechanismu urychlovačů je vidět na obr. 37.

V této formě budou pro vyhazování výrobku použity válcové vyhazovače o průměrech (8-12) mm. Rozmístění a počty vyhazovačů jsou závislé na rozmístění chlazení a tvaru výrobku. I když vyhazovače tvoří nepohledovou stranu výrobku, bylo nutno zabezpečit, aby tvar vyhazovačů kopíroval tvar tvarové dutiny.



Obr. 37. Vyhazovací desky s vedením šikmého vyhazování



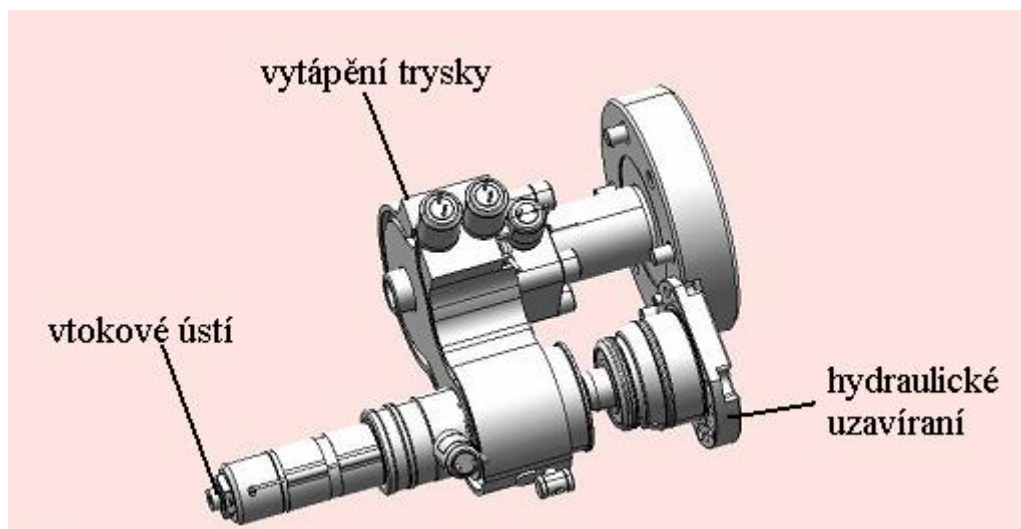
Obr. 38. Válcový vyhazovač

### 5.3.4 Horký vtokový systém

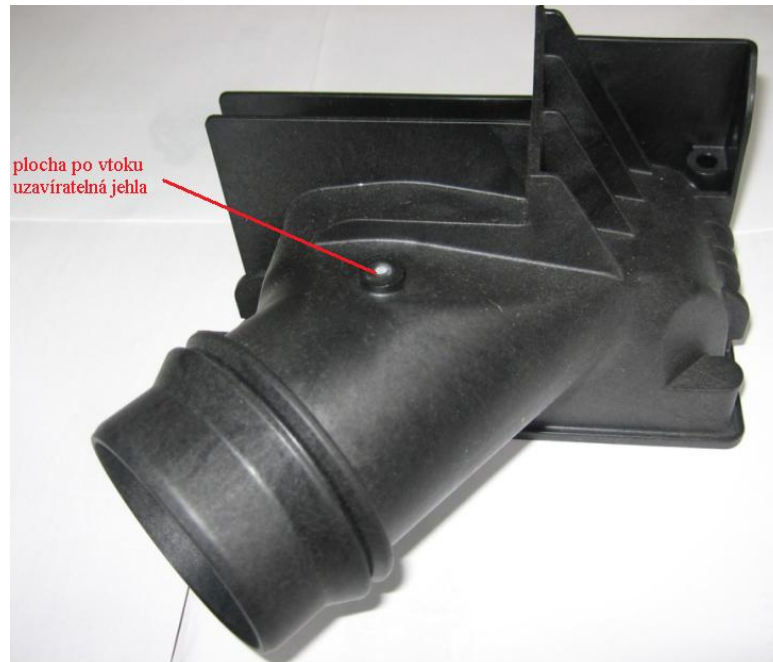
Koncepce formy vyráběné s vyhřívanými vtokovými soustavami je proti běžné formě v tom, že její pevná část nese všechny potřebné elementy tohoto systému, včetně elektrické izolace. Její pohyblivá část se od formy se studenými vtoky neliší. Pevná vtoková část formy je složena s upínací desky, vložené desky s vybráním pro instalaci horkého vtoku a vtokové desky se zabudovanými tvárnicemi.

Zvolenou teplotu rozvodu taveniny řídí regulátor teploty. Jeho ovládání se zajišťuje pomocí tepelných snímačů zabudovaných v tryskách a v rozvodném bloku. Většinou se používají termočlánky Fe-Co (aktivní), u kterých při změně teploty vzniká v místě jejich styku termoelektrické napětí.

Vzhledem k počtu vyráběných dílů za rok, byl zvolen horký vtokový systém Mold - Masters. Kalkulace ceny tohoto horkého vtoku a cena vtokového zbytku po studém vtoku byla i vzhledem k ceně polymeru nižší. Dalším kritériem byl požadavek zákazníka na hladký povrch po vtokovém zbytku. Tento požadavek byl splněn použitím hydraulicky uzavíratelné jehly.



Obr. 39. Vtokový systém Mold-masters



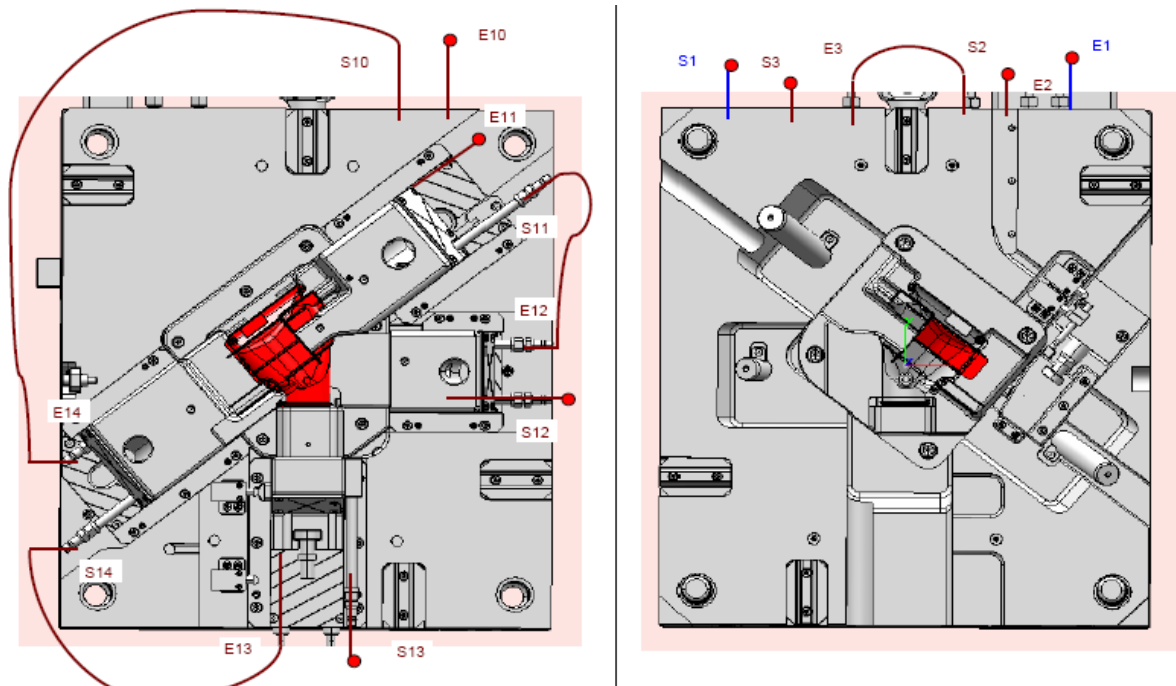
Obr. 40. Plocha po vtoku s uzavíratelnou jehlou

### 5.3.5 Temperace formy

Pro temperaci byl vybrán olej, protože zpracovatelské teploty formy daného polymeru jsou nad 100°C. Každá tvarová vložka má samostatný okruh. Přechod mezi formovacími deskami a tvarovými vložkami je utěsněn pomocí O-kroužků. Jednotlivé vrtané kanály jsou podle potřeby utěsněny uzavíracími šrouby nebo uzavíracími zátkami. Vstupy a výstupy do temperačních kanálů mají přípojovací nátrubky pro napojení hadic. Kanály mají průměr 10 mm, v některých případech 8 mm a to z důvodu možnosti propletení mezi tvarovou dutinou, vyhazovači a tvarovými vložkami.

Formovací desky a deska, v níž je uložen horký vtokový systém, mají ještě samostatné temperační okruhy pro udržování správné teploty těchto desek. Průměry kanálů jsou všechny stejné 10 mm.

Některé okruhy jsou navzájem propojeny, takže nejsou samostatně napojeny na temperační přístroje vstřikovacího stroje.



Obr. 41. Temperace pevné a pohyblivé strany formy

E1, E2, E3 – vstup pevná část

S1, S2, S3 – výstup pevná část

E10, E11, E12, E13 – vstup pohyblivá část

S10, S11, S12, S13 – výstup pohyblivá část

### 5.3.6 Materiály pro výroby vstřikovacích forem

Jednotlivé díly forem vyžadují pro svoji funkci specifické vlastnosti materiálu. Od použitých materiálů na výrobu forem se vyžaduje zejména mechanická pevnost a dobrá obrobitelnost. Životnost a správná funkce formy je také podmíněná správným zacházením a údržbou.

Z hlediska technologie výroby má materiál funkčních dílů zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury:

- dobrá leštitelnost a obrobitelnost,
- odolnost vůči otěru,
- odolnost vůči korozi a chemickým vlivům,



- vyhovující kalitelnost,
- stálost rozměrů.

Při volbě materiálů se musí dělat mnoho ústupků, protože se vyžadované vlastnosti navzájem vylučují (houževnatost vs. tvrdost). Na nejvíce mechanicky namáhané díly (tvárnice, tvárník, tvarové vložky) se nejčastěji používají oceli řady 19 – oceli nástrojové. Předpis tepelného zpracování potom přímo závisí od konkrétně zvoleného typu. Pro méně namáhané součásti forem (rozpěrky, dorazy...) se volí oceli řady 11. Na výrobu desek, u kterých se vyžaduje vyšší pevnost, se používá konstrukčních uhlíkových ocelí řady 12, nejčastěji povrchově kalených. [1]

*Tab. 8. Materiály použité pro výrobu forem*

<b>Jednotlivé pozice formy</b>	<b>Použitý materiál</b>	<b>Tepelné zpracování</b>
tvárnice, tvárníky, čelisti	19552	cem + kalit 48+2 HRc
vodící části	19312	kalit 52+2 HRc
kolíky, pouzdra	14220	cem + kalit 58+2 HRc
desky rámu	12050	zušlechtit
ostatní části	11600	X

## 6 METODY KOREKCÍ KE SNÍŽENÍ POČTU OPTIMALIZAČNÍCH KOL

Korekce plastového dílu je součástí výroby formy a jsou nedílnou součástí celého projektu. V předchozí kapitole byl popsán postup výroby formy běžným způsobem. V této části byl kladen důraz na prvotní přípravu konstrukce a to v místě nadsazení kritických oblastí plastového výrobku a míst, které podléhají rozměrovým tolerancím.

### 6.1 Nadsazení při počáteční konstrukci formy

Obvyklým problémem pro konstruktéry formy je určit hodnoty smrštění polymeru a následně provést korekci dutiny (nadsazení) o hodnoty smrštění. Zadaný plastový díl, který je tvořen základnou obdélníkového tvaru, která je spojena s protidílem. Tato oblast podléhá požadavkům zákazníka a je kladen důraz na dodržení tolerancí rozměrových i geometrických, proto jako první fáze nadsazení byly použity tyto aplikace:

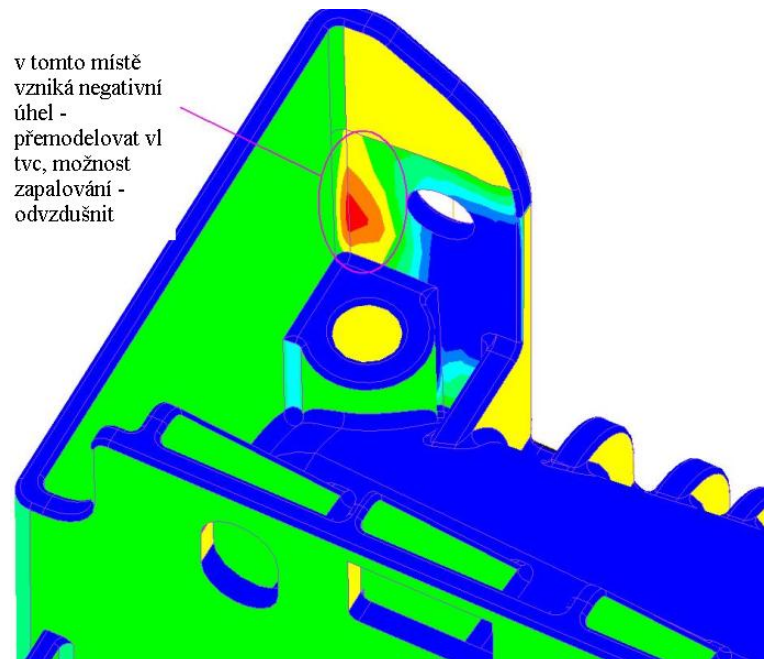
- využití metody Moldflow,
- zkušenosti konstruktéra s obdobnými plastovými díly,
- využití virtuální části výroby (CAM, CAD, CAE atd.).

### 6.2 Nadsazení základny dílu

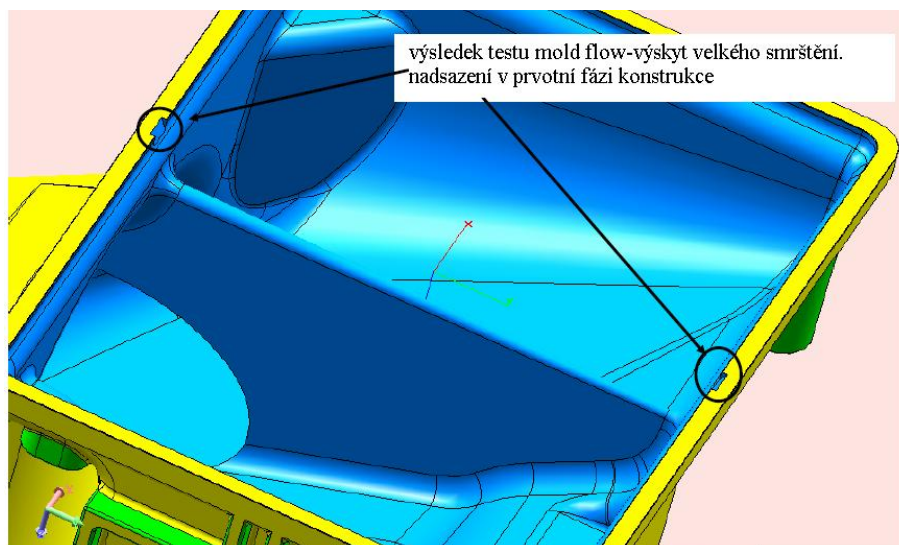
- ustavovací drážky,
- lemová oblast (spojení s protidílem),
- rádiusy v lemu základny.

Analýzy plnění dutiny byla provedena pro zjištění, v kterých místech vzniknou deformace výstřiku. Proto tyto místa byly již v prvotní fázi nadsazeny nejen o standardní velikost smrštění udávané dle druhu použitého polymeru. Analýzou byl zjištěn výskyt negativního úhlu v oblasti pevné části formy. Bylo tedy nutné toto místo přemodelovat. Ještě ve virtuální části bylo navrženo odvzdušnění, vlivem této úpravy počet spálenin klesl o značnou část.

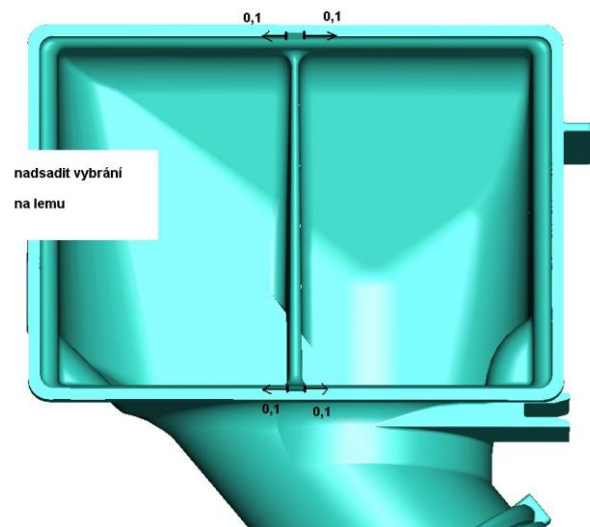
Již v ranné části konstrukce byla nadsazena ustavovací drážka, s ohledem na výsledek analýzy.



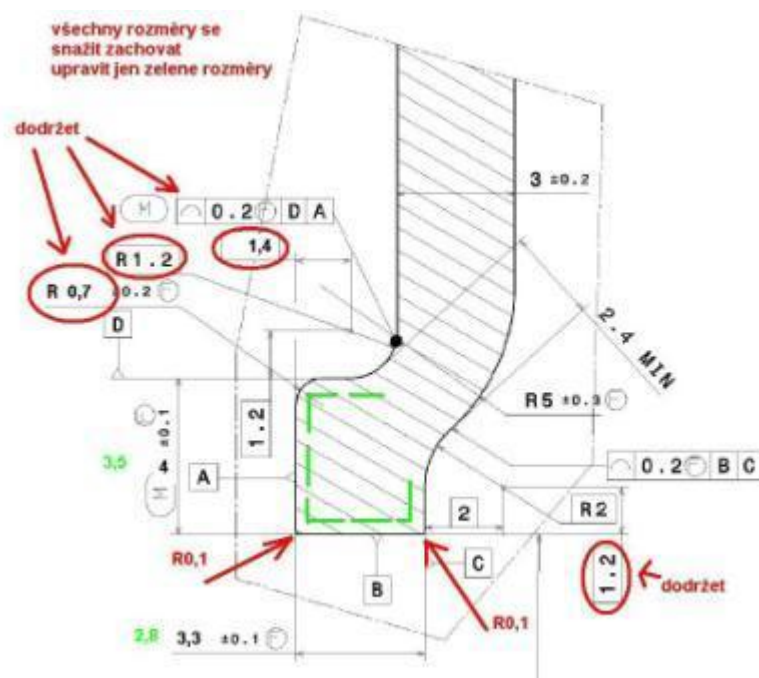
Obr. 42. Odstranění negativního úhlu



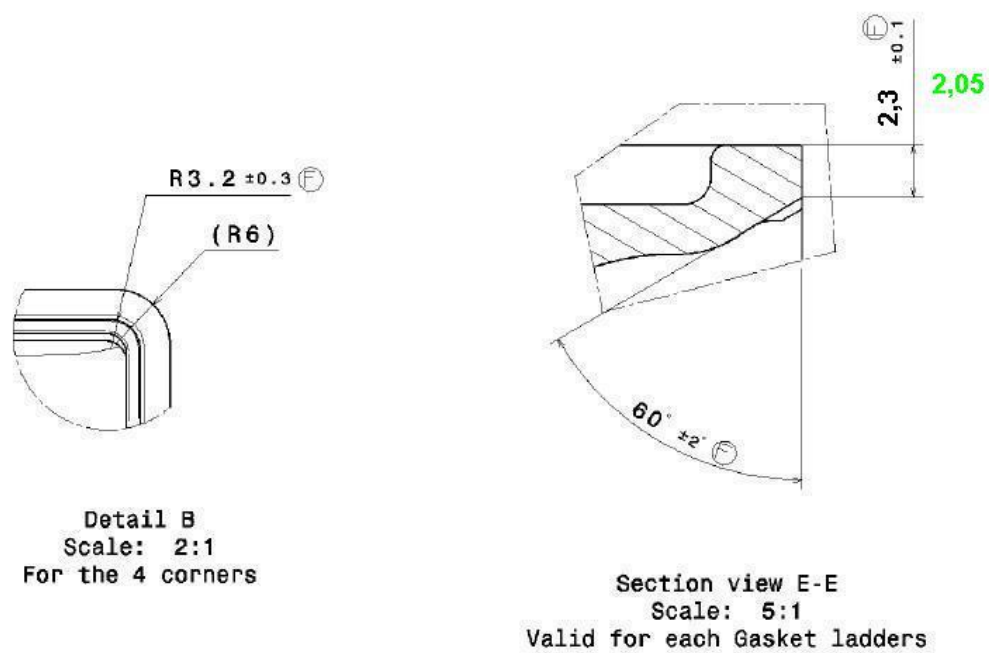
Obr. 43. Moldflow-smrstění ve vyznačených místech



Obr. 44. Nadsazení základny dílu (ustavovací drážky)



Obr. 45. Nadsazení základny dílu (lemová oblast)

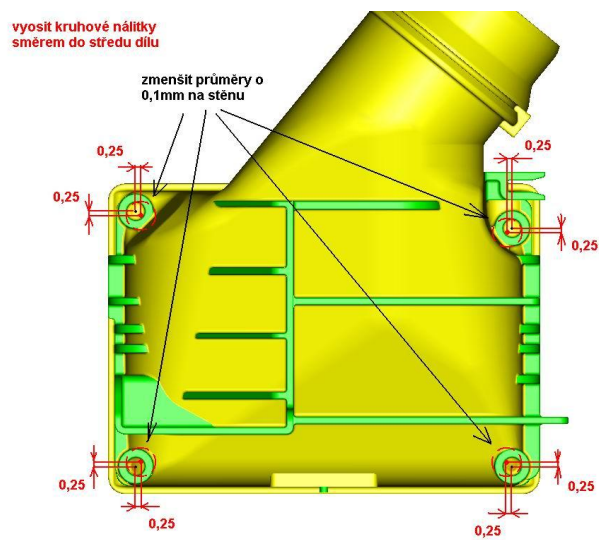
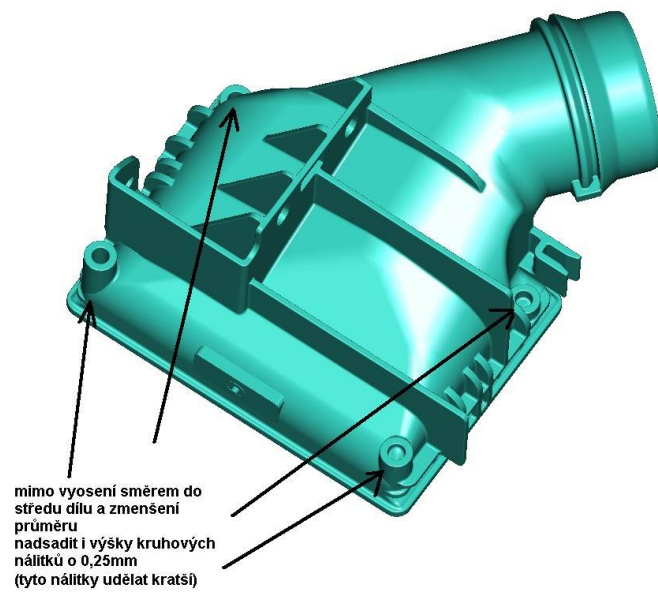


Obr. 46. Nadsazení základny dílu (rádiusy v lemu dílu)

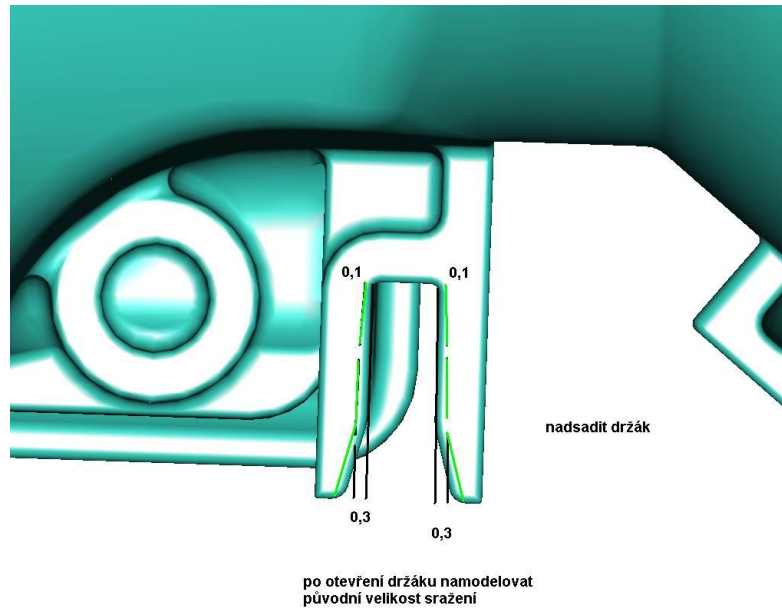
### 6.3 Nadsazení dalších částí výrobku

Po nadsazení základny dílu, je potřeba korigovat tvary součástí, které jsou důležité pro plné využití dílu v zabudované sestavě díly s protidílem. Jsou to tyto tvary:

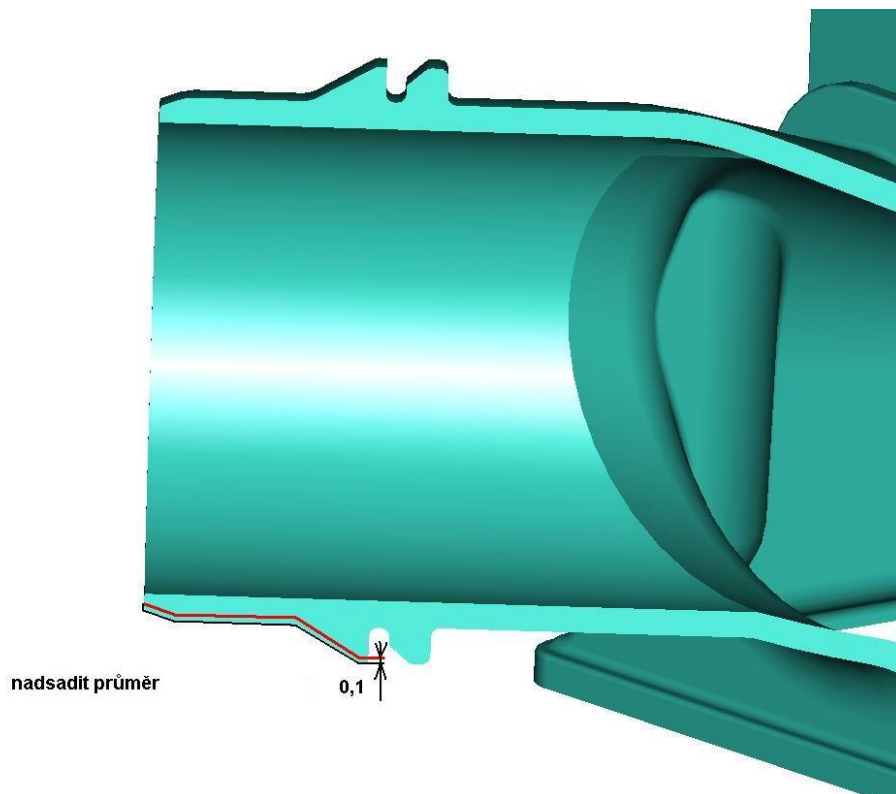
- kruhové nálitky,
- držáky,
- náustek pro spojení s hadicí.



Obr. 47. Nadsazení tvarů (kruhových nálitků)



Obr. 48. Nadsazení tvarů (držáky)



Obr. 49. Nadsazení tvarů (náustek)

## 6.4 Vyhodnocení optimalizace výroby plastového dílu

Dle protokolu o proměření dílu je zřejmé, že výroba a korekce zadaného plastového dílu je lepší v těchto bodech:

- počet korekčních kol,
- ekonomická stránka projektu,
- časová náročnost,
- kapacita konstruktéra,
- kapacita výrobních strojů,
- termínová flexibilita.

V tabulce jsou uvedeny hodnoty, které dokazují správnost kroků při zvolení této metody optimalizace zadaného plastového dílce.

Protokoly o proměření dílu jsou součástí příloh této diplomové práce.

Tab. 9. Tabulka postupu a vyhodnocení korekčních kol

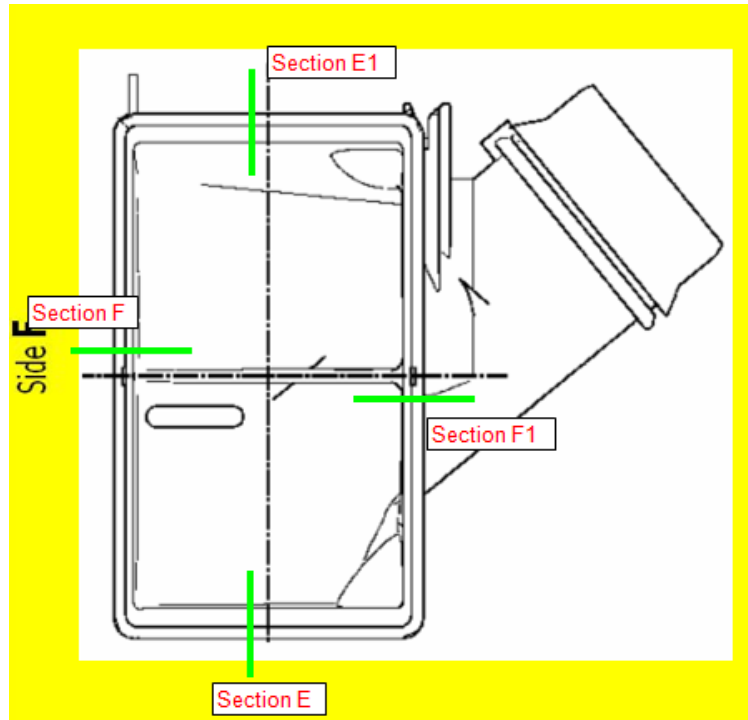
Činnost	1. krok		2. krok		3. krok		4. krok	
	A	B	A	B	A	B	A	B
konstrukce	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	OK
generování programů	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	OK
výroba	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	OK
montáž	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	OK
test - vstříkování	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	OK
měření dílů	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	OK	OK	OK
vyhodnocení	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	OK	OK	OK

stávající způsob	A
nový způsob	B

činnost	NOK	požadavky nebyly splněny
bez činnosti	OK	požadavky jsou splněny



Metodika měření musí být zachována standartně, dle požadavků zákazníka o měření jednotlivých dílů. Tímto způsobem je zaručena opakovatelnost měření. Ustavení dílů je doloženo viz obr. 50.



Obr. 50. Ustavení dílu pro měření

## 7 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Cena vstřikovaného dílu je z největší části dána součtem těchto položek:

- cenou vstřikovací formy,
- cenou polymeru,
- hmotností spotřebovaného materiálu,
- délkou vstřikovacího cyklu (hodinová sazba).

Z celkového rozpočtu formy je cena korekce nemalou součástí celého projektu. Je tedy nutné, aby objem korekcí byl co nejnižší, tzn. snížit počet korekčních kol. Proto v rané fázi konstrukce, bylo využito zkušeností s obdobnými projekty a stanovení nadsazení bylo značně pomohlo ke snížení počtu korekčních kol.

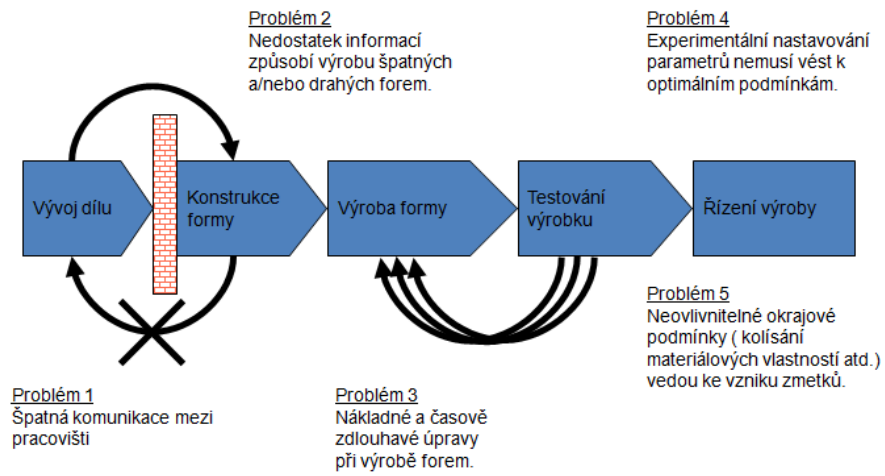
Nejen ekonomické požadavky na výrobu formy mají vliv na zavádění nových metod řízení výroby. Využití nových technologií nap. CAM, CAD, CAE atd.

Zásadní význam této technologie je využití virtuální části výroby, kde je možné výrobu měnit, korigovat a vyzkoušet navrhované změny ještě před samotnou výrobou formy. Tato činnost má zásadní vliv na uspořádání těchto částí výroby formy:

- čas konstruktéra,
- materiálová úspora,
- časová úspora strojního vybavení nástrojárny,
- snížení počtu korekčních kol,
- snížení spotřebovaného polymeru.

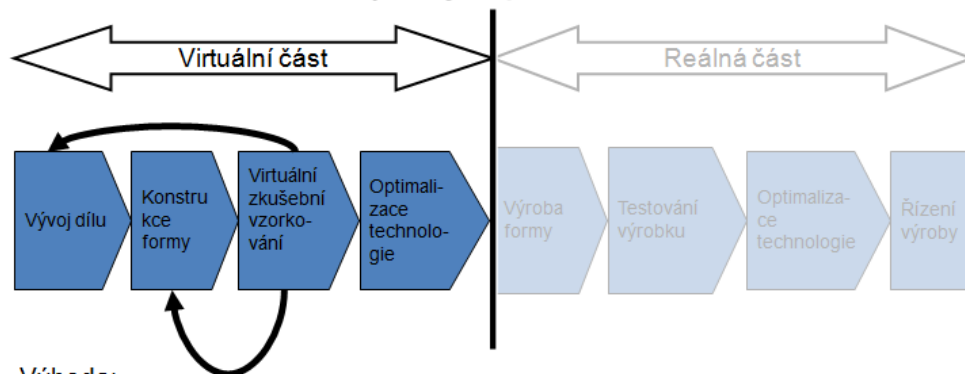
Zásadní rozdíl mezi tradičním vývojem výrobku a virtuálním je ve stavu, konstrukce formy, generování obráběcích programů a možnosti posouzení změn.

## „Tradiční“ vývoj výrobku



Obr. 51. Tradiční vývoj výrobku

## Virtuální vývoj výrobku



Výhoda:

Optimalizace konstrukce dílu a konstrukce formy bude provedena plně virtuálně.

Obr. 52. Virtuální vývoj výrobku

## 8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem této diplomové práce bylo zkonstruovat formu pro zadaný plastový díl, kterým je část víka vzduchového fitru motoru. Na tento výrobek jsou kladeny vysoké požadavky, co se týká tlaku, změny teplot a stálost tvarových ploch. Konstrukce formy byla limitována nárokem na velikost a hmotnost formy s ohledem na výběr vstřikovacího stroje.

V prvním případě bylo využito klasických metod konstrukce, výroby a korekce vstřikovací formy, kde nebylo využito analýz pro nadsazení kritických rozměrů a volby odvzdušnění daného výrobku.

Konstrukce daného tvarového výstřiku byla navržena tak, aby pohledová část byla odformována v pevné polovině formy. Dále bylo využito hydraulického válce pro odformování díry, kterou je nutno odformovat ještě před otevřením formy. Hydraulický válec je hlídán dvěma koncovými spínači, aby nedošlo k otevření formy ještě před vyjetí jádra z otvoru.

K počtu výrobních dílů a velikosti vtokového zbytku použitím studeného vtoku, bylo využito pro konstrukci horký vtok Mold-Masters s uzavíratelnou jehlou pro zažehlení vtokového zbytku. Použití horkého vtokového systému bude cenově náročnější, ale vzhledem k počtu výrobních dílů je ekonomičtější.

Pro temperaci formy byl použit olej, protože teplotní rozsah použitého polymeru je nad 100°C. Tvarové vložky jsou chlazeny samostatně vlastními chladícími okruhy. Bylo použito přepážek pro chlazení vzdálených částí tvárníku od chladících kanálů. Tím se docílí lepšího tepelného rozložení tím zkrácení cyklu. Ostatní části formy jsou temperovány rámem formy. Velikost temperačních kanálů byl navrhnout na 10 mm, zřejmě s ohledem na zanášení kanálů a velisti průtoku temperačního média.

Pohyblivá část formy byla konstruována s ohledem na složitost výrobku, kde základní část je tvořen tvárníkem a šikmým vyhazovačem. Zbytek tvarů je tvořen pohyblivými čelistmi. Čelisti jsou zorpohybovány pomocí šikmých kolíků a tam kde to nebylo možné bylo použito hydraulického válce. K vedení pohyblivých čelistí bylo použito samomazných grafitových lišt, kde není třeba využívat mazacích prostředků.

Vyhození dílu je tvořeno soutavou klasických vyhazovačů a šikmého vyhazovače. Ten byl zkonstruován dle zadaného výrobku. K vedení vyhazovací desky je využito normalizovaných vodících kolíků a speciálních vodících kuličkových pouzder.

Velká pozornost byla vedena na konstrukci a nadsazení částí výrobku, kde z výsledku analýzy a zkušeností konstruktéra je zřejmé, že došlo k deformacím a spálení dílu. Bylo postupováno systematicky od funkčních částí dílu (základna dílu), náustek pro spojení s protídílem až po části, které nemají zásadní vliv na funkci výrobku.

Dále jsou v diplomové práci zohledněny ekonomické aspekty výroby plastového dílu, jak klasickým způsobem, tak výroba s pomocí analýz a zkušeností konstruktéra technologa tohoto projektu.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zkonstruovat vstříkovací formu pro zadaný plastový díl. Při návrhu vstříkovací formy byla snaha se držet zásad a pravidel, kterým konstrukce vstříkovacích forem podléhá.

V teoretické části byla popsána problematika vstříkování, vstříkovací cyklus a možnosti řešení vstříkovacích forem. Dále byly popsány defekty, které vznikají při výrobě plastového dílu (např. spáleniny a propadliny).

V praktické části byl vytvořen nejdříve 3D model a 2D výkres plastového výrobku, který byl následně zaformován. Dále byly zkonstruovány další tvarové části formy. Při konstrukci formy bylo využito katalogu normálií Hasco, kde jsou vymodelovány jednotlivé části, což značně ušetří časový potenciál konstruktéra. Po zhotovení 3D formy byla vytvořena 2D sestava a byla nakreslena výrobní dokumentace zbylých dílů vstříkovací formy. Celá konstrukce byla vytvořena v programu ProENGINEER. Forma je zkonstruována jako jedno násobná, vzhledem k možnostem použitého vstříkovacího stroje.

Pro navrhnutou formu byl zvolen vstříkovací stroj dle rozměrů formy a potřebné dávky polymeru pro jeden zvih.

Dále byla v praktické části popsána výroba a druh materiálů, z kterých je forma vyrobena, se standartním pojetím nadsazením plastového výrobku. Poslední část je věnována konstrukci formy s nadsazením nejdůležitých a funkčních tvarů a rozměrů dílu. Celkové zhodnocení z hlediska ekonomiky je přínosné pro další projekty podobného typu plastového výrobku.

Tato diplomová práce ukazuje, že bez využití virtuálních technologií nebudou možné konkurovat při výrobě forem firmám, které tyto technologie využívají. Vzhledem k tomu, že dnešní požadavky zákazníka se mění, je nutné co nejrychleji reagovat na tyto požadavky. Flexibilita je velkou devízou každé firmy, která je dodavatelem automobilového průmyslu.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KREBS J., SOVA M.: *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele termoplastů*. 5. aktualizované vydání. Praha: Verlag Dashofer, 1999-2000. ISBN 80-86229-15-7
- [2] KOLOUCH J.: *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986
- [3] GABRIEL J., NOVÁK J., JURNEČKOVÁ J.: *Kurz optimalizace vstřikování plastů – doprovodné texty*. Brno, 2010
- [4] LENFELD P.: Katedra tváření kovů a plastů – Skripta. *Technologie II: Část II – Zpracování plastů*. Technická univerzita Liberec – Fakulta strojní – Katedra strojírenské technologie – Oddělení tváření kovů a plastů, 2008
- [5] KOLOUCH J.: *Strojní součásti z plastu*. Praha, 1981
- [6] FRENKLERE D., ZAWISTOWSKI H.: *Konstrukcja form wtryskowych*. WNT, 1984
- [7] VESELÝ K.: *Polymery*. Uniplast, 1992
- [8] ŘEHULKA Z.: *Konstrukce výstřisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. Praha, 1998
- [9] GABRIEL J.: *Vtokové soustavy vstřikovacích forem*. Brno, 1996
- [10] GASTROW H.: *Injection molds*. Hanser, 1993
- [11] HENDRYCH J. a kol.: *Standartizace rámců a součástí forem pro vstřikování plastů*. Praha, SNTL, 1986
- [12] TOMIS F., HELŠTÝN J.: *Formy a přípravky*. SNTL – Nakladatelství technické, Praha, 1986
- [13] KULHÁNEK J.: *Formy pro tváření plastických hmot*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1966
- [14] BOBČÍK L. a kol.: *Formy pro zpracování plastů*. Unoplast Brno, Brno, 1999
- [15] MANZIONE L. T.: *Application of computer aided engineering in injection molding*. Munich, Hansen publishers, 1995
- [16] TRES P.: *A designing plastic parts for assembly*. Munich, Hansen publishers, 2003

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$T_m$	Teplotání tání
PE	Polyethylén
PP	Polypropylén
PS	Polystyrén
PMMA	Polymethylmetakrylát
PET	Polyethylenteraftalát
IT 6	Toleranční pole dle ČSN
IT 12	Toleranční pole dle ČSN
H7/g6	Uložení díra hřídel
PC	Polykarbonát
$\lambda$	Tepelná vodivost materiálu
Cu	Cuprum (měď)
PPA	Polyphthalamid
Hrc	Tvrдость materiálu dle Rockwella
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAE	Computer Aided Engineering
CNC	Computer Numerical Control



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vstřikovací cyklus

Obr. 2. Vstřikovací forma

Obr. 3. Pohled na pevnou část formy

Obr. 4. Pohled na pohyblivou část formy

Obr. 5. Vliv nejdůležitějších činitelů na velikost smrštění

Obr. 6. Průběh smrštění výstřiku

Obr. 7. Vtokový systém

Obr. 8. Uspořádání vtokových systémů

Obr. 9. Vtoková soustava

Obr. 10. Průřez vtokových kanálů

Obr. 11. Srovnání základních typů kanálů dle smáčivého čísla

Obr. 12. Části vtokového systému

Obr. 13. Kuželový vtok

Obr. 14. Bodové vtokové ústí

Obr. 15. Třidesková koncepce formy

Obr. 16. Tunelový vtok

Obr. 17. Boční vtok

Obr. 18. Vyhřívaný rozváděcí blok

Obr. 19. Způsoby přidržení a vyhození vtokového zbytku

Obr. 20. Vyhazovací kolíky

Obr. 21. Vyhazování stírací deskou

Obr. 22. Formy s šikmým vyhazováním

Obr. 23. Příklad konstrukčního řešení temperačních okruhů

Obr. 24. Dieselův efekt

- Obr. 25. Nedolitý díl vlivem špatného odvzdušnění
- Obr. 26. Bubliny na dílu vlivem špatného odvzdušnění
- Obr. 27. Výkres plastového výstřiku
- Obr. 28. Model plastového výstřiku
- Obr. 29. Vstřikovací stroj
- Obr. 30. Zaformování výstřiku
- Obr. 31. Změna proměnlivosti rádiusu
- Obr. 32. Zákaznická změna profilu výstřiku
- Obr. 33. Pevná strana vstřikovací formy
- Obr. 34. Odformování pomocí hydraulického válce
- Obr. 35. Pohyblivé části formy
- Obr. 36. Odformování dílu pomocí šikmého vyhazovače
- Obr. 37. Vyhazovací desky s vedením šikmého vyhazování
- Obr. 38. Vyhazovací kolík
- Obr. 39. Vtokový systém Mold-Masters
- Obr. 40. Plocha po vtoku s uzavíratelnou jehlou
- Obr. 40. Nadsazení základny dílu (ustavovací drážky)
- Obr. 41. Temperace pevné a pohyblivé strany formy
- Obr. 42. Odstranění negativního úhlu
- Obr. 43. Moldflow smrstění ve vyznačených místech
- Obr. 44. Nadsazení základny dílu (ustavovací drážky)
- Obr. 45. Nadsazení základny dílu (lemová oblast)
- Obr. 46. Nadsazení základny dílu (rádiusy v lemu dílu)
- Obr. 47. Nadsazení tvarů (kruhových nálitků)
- Obr. 48. Nadsazení tvarů (držáky)

Obr. 49. Nadsazení tvarů (náustek)

Obr. 50. Ustavení dílu pro měření

Obr. 51. Tradiční vývoj výrobku

Obr. 52. Virtuální vývoj výrobku

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Drsnost povrchu u obráběných forem

Tab. 2. Požadované teploty formy a taveniny

Tab. 3. Aktivní temperační prostředky

Tab. 4. Zpracovatelské teploty

Tab. 5. Parametry dle materiálového listu

Tab. 6. Technické parametry vstřikovacího stroje

Tab. 7. Procesní podmínky

Tab. 8. Materiály použité pro výrobu forem

Tab. 9. Tabulka postupu a vyhodnocení korekčních kol

## SEZNAM PŘÍLOH

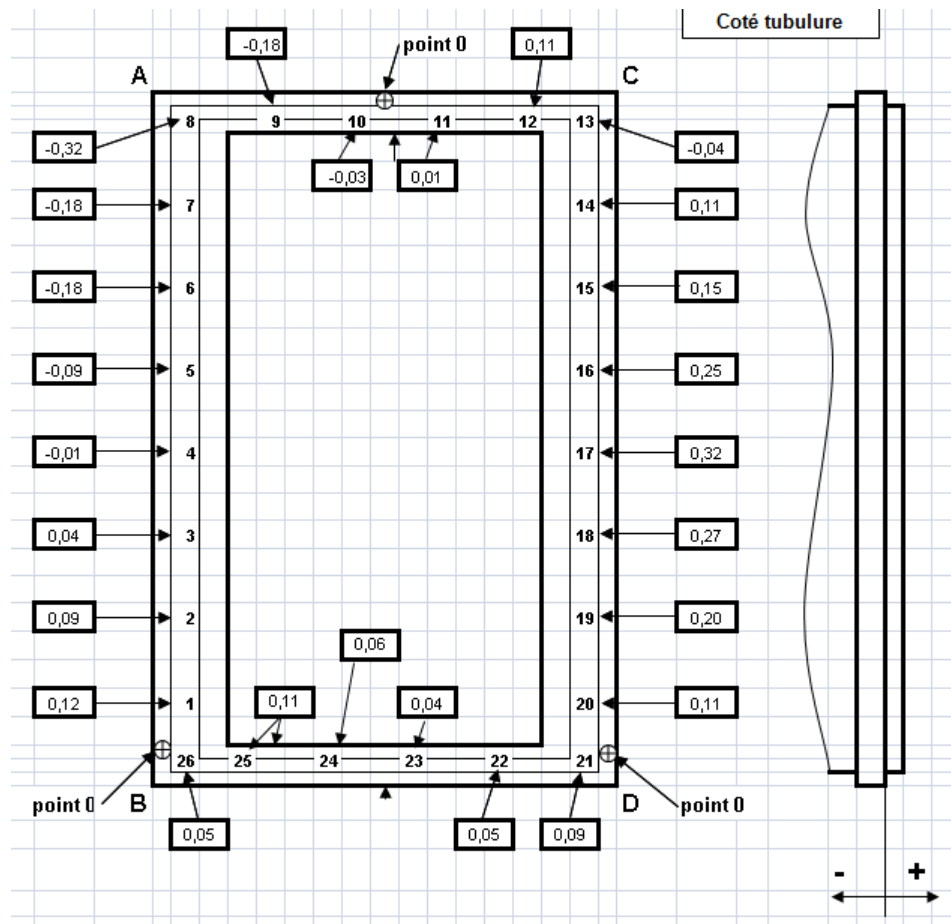
P1: Protokol o proměření dílu

P2: Kusovník

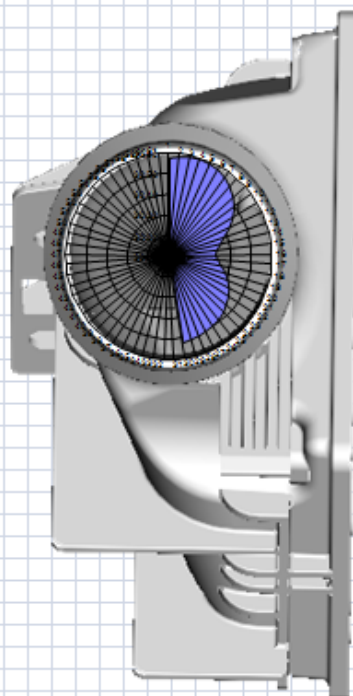
P3: Řez vstříkovací formy

P4: Pohled do pohyblivé a pevné části formy

# PŘÍLOHA P I: PROTOKOL O PROMĚŘENÍ DÍLU



angulaire	N°	Valeur
5,9 °	1	30,58
11,8 °	2	30,59
17,7 °	3	30,59
23,6 °	4	30,59
29,5 °	5	30,59
35,4 °	6	30,58
41,3 °	7	30,57
47,2 °	8	30,54
53,1 °	9	30,52
59 °	10	30,49
64,9 °	11	30,46
70,8 °	12	30,42
76,7 °	13	30,38
82,6 °	14	30,35
88,5 °	15	30,33
94,4 °	16	30,32
100,3 °	17	30,34
106,2 °	18	30,36
112,1 °	19	30,38
118 °	20	30,41
123,9 °	21	30,43
129,8 °	22	30,46
135,7 °	23	30,46
141,6 °	24	30,48
147,5 °	25	30,49
153,4 °	26	30,49
159,3 °	27	30,50
165,2 °	28	30,51
171,1 °	29	30,51
177 °	30	30,52



182,9 °	31	30,53
188,8 °	32	30,54
194,7 °	33	30,55
200,6 °	34	30,56
206,5 °	35	30,56
212,4 °	36	30,56
218,3 °	37	30,56
224,2 °	38	30,54
230,1 °	39	30,52
236 °	40	30,50
241,9 °	41	30,48
247,8 °	42	30,46
253,7 °	43	30,44
259,6 °	44	30,43
265,5 °	45	30,40
271,4 °	46	30,39
277,3 °	47	30,38
283,2 °	48	30,37
289,1 °	49	30,37
295 °	50	30,37
300,9 °	51	30,38
306,8 °	52	30,39
312,7 °	53	30,40
318,6 °	54	30,41
324,5 °	55	30,43
330,4 °	56	30,46
336,3 °	57	30,47
342,2 °	58	30,50
348,1 °	59	30,52
354 °	60	30,54
360 °	61	30,56
Ø moyen	#REF!	