

Konstrukce vstřikovací formy pro výrobek z termoplastu

Bc. Marek Nesvadba

Diplomová práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marek NESVADBA**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro termoplasty**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární studii na dané téma**
- 2. Navrhňte nový tvar držadla plochého štětce**
- 3. Provedte konstrukci sestavy vstřikovací formy ve 3D**
- 4. Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy**
- 5. Provedte tokovou analýzu**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Drga

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

13. února 2007

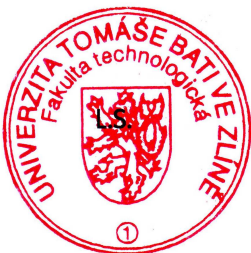
Termín odevzdání diplomové práce:

25. května 2007

Ve Zlíně dne 22. ledna 2007

prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.

děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce vstřikovací formy pro výrobek z termoplastu, kterým bude nově navrhnutá rukojeť štětce pro akciovou společnost Spojené kartáčovny (SPOKAR).

V teoretické části jsou uvedeny a popsány poznatky o problematice vstřikovacích strojů, vstřikovacího procesu, návrhu výstřiku a konstrukce vstřikovacích forem.

V praktické části je věnována pozornost návrhu nových řešení designu rukojeti štětce. Po následném zvolení jednoho nového řešení tvaru rukojeti se provede konstrukce vstřikovací formy. Jak nový návrh, tak i konstrukce formy (za použití normálií HASCO) se bude provádět v programu CATIA V5R15. Praktická část diplomové práce bude obsahovat i tokovou analýzu vstřikovaného dílu, která bude realizována v programu Moldflow Plastics Insight 6.0.

Klíčová slova: vstřikování, vstřikovací stroj, vstřikovací forma

ABSTRACT

This thesis focuses on the proposal for construction of an injection mould for a thermoplastic product, designed to become the newly proposed brush handle for the corporation Spojené kartáčovny (SPOKAR).

The theoretic part lists and describes findings in the problematic of injection moulding machines, the injection moulding process, part design and the construction of injection moulds.

The practical part concentrates on the design of three new design proposals for the brush handle. After consequent selection of one new design for the handle shape, construction of the injection mould is performed. Both the new design and construction of the mould (using HASCO parts) will be performed in the program CATIA V5R15. The practical part of this thesis will also contain a flow analysis of the injected part, which will be realized in the program Moldflow Plastics Insight 6.0.

Key words: injection moulding, injection moulding machine, injection mould

Poděkování:

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce, Ing. Tomáši Drgovi, za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Štěpánu Šandovi, za cenné rady a připomínky.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 21. 05. 2007

.....

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 VSTŘIKOVÁNÍ	11
1.1 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ	11
1.2 PLASTY POUŽÍVANÉ PRO VSTŘIKOVÁNÍ.....	13
1.3 TOK TAVENINY PŘI VSTŘIKOVÁNÍ	13
2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍHO STROJE	14
2.1 VSTŘIKOVACÍ A PLASTIKAČNÍ JEDNOTKA	15
2.1.1 Vstřikovací jednotka bez předplastikace.....	15
2.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	17
3 VÝSTŘIK A JEHO KONSTRUKCE	19
3.1 KONSTRUKČNÍ NÁVRH SOUČÁSTI Z PLASTU	19
3.2 VLIVY NA JAKOST PLASTOVÝCH SOUČÁSTÍ.....	19
3.3 ROZMĚRY SOUČÁSTÍ Z PLASTŮ	20
3.4 ZÁSADY PŘI ŘEŠENÍ KONSTRUKCE SOUČÁSTI.....	21
3.4.1 Celková konstrukce součásti	21
3.4.2 Tloušťka stěn.....	21
3.4.3 Zaoblení hran, rohů a koutů	21
3.4.4 Úkoso a podkoso	21
3.4.5 Žebra.....	21
3.4.6 Otvory a drážky	22
3.4.7 Rovinné plochy	22
3.4.8 Závity.....	22
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA	23
4.1 NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY	24
4.2 ŽIVOTNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY	25
4.3 VTOKOVÝ SYSTÉM.....	25
4.3.1 Vtokový kanál	27
4.3.2 Volba rozměrů rozváděcích kanálů.....	28
4.3.3 Koncepce vtokových ústí	28
4.3.4 Vyhřívané vtokové systémy	30
5 FUNKČNÍ SYSTÉMY FOREM	34
5.1 VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKŮ	34
5.1.1 Velikost vyhazovací síly	35
5.2 TEMPEROVÁNÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	36
5.2.1 Obecné zásady volby temperačních kanálů.....	37
5.2.2 Temperační prostředky.....	37
5.2.3 Příklady řešení temperačních kanálů.....	38

5.2.4	Propojení temperačních kanálů	40
5.3	ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍCH FOREM.....	40
5.3.1	Vliv technologických parametrů vstřikování na odvzdušnění	40
6	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM	42
6.1	POSTUP PŘI KONSTRUKCI VSTŘIKOVACÍ FORMY	42
6.1.1	Zaformování výstřiku	43
6.1.2	Dimenzování tvarové dutiny	44
6.2	SMRŠTĚNÍ VÝSTŘIKU	45
7	MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM	46
7.1	POŽADOVANÉ VLASTNOSTI OCELÍ.....	47
7.2	POUŽÍVANÉ DRUHY OCELÍ	47
II	PRAKTICKÁ ČÁST	48
8	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	49
9	NÁVRH NOVÉHO TVARU DRŽADLA PLOCHÉHO ŠTĚTCE.....	50
9.1	CHARAKTERISTIKA VÝROBKU.....	51
10	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	52
10.1	VOLBA NÁSOBNOSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY	52
10.2	ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU.....	52
10.3	TVAROVÉ DÍLY	54
10.4	ODVZDUŠNĚNÍ.....	55
10.5	VTKOVÝ SYSTÉM.....	55
10.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	57
10.7	CHLADÍCÍ SYSTÉM	58
10.8	RÁM, VODÍCÍ A UPÍNACÍ ELEMENTY, MANIPULAČNÍ ČÁSTI	60
10.9	VSTŘIKOVACÍ STROJ	65
11	TOKOVÁ ANALÝZA PROCESU	67
11.1	PŘÍPRAVA MODELU.....	67
11.2	NASTAVENÍ PROCESNÍCH PODMÍNEK	68
11.3	VYHODNOCENÍ TOKOVÉ ANALÝZY	68
11.3.1	Čas plnění.....	68
11.3.2	Uzavírací síla.....	69
11.3.3	Deformace výstřiku	70
11.3.4	Teplota na čele taveniny.....	71
11.3.5	Průběh tlaku při procesu vstřikování.....	71
11.3.6	Teplota chladicí kapaliny v okruhu	72
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	73
	ZÁVĚR	75

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
SEZNAM OBRÁZKŮ	80
SEZNAM TABULEK.....	82
SEZNAM PŘÍLOH.....	83

ÚVOD

Používání plastů pro nejrůznější průmyslové výrobky prošlo různými stádii vývoje. Zpočátku se plasty aplikovaly na spotřební zboží, protože nároky na funkční vlastnosti nebyly velké a zpracování plastů tvářením bylo poměrně snadné a rychlé. Ekonomické přínosy byly zřejmé a kromě toho měly výrobky dostatečný estetický vzhled, nízkou hmotnost a nekorodovaly. Druhou velkou oblastí rozvoje aplikací plastů se stala elektrotechnika, protože z plastů se daly vyrábět složité tvary izolačních součástí s velmi dobrými elektrickými a dielektrickými vlastnostmi. Pronikání plastů do stavebnictví a později i do zemědělství bylo umožněno až výrobou lehčených plastů, izolačních fólií, trubek, hadic atd. Nejproblematictější oblastí však zůstávalo strojírenství. Strojírenské součásti bývají často vystaveny velkému mechanickému i teplotnímu namáhání a proto vyžadují poměrně vysoké hodnoty pevnosti a modul pružnosti. Významné zlepšení přinesly vyztužené plasty (např. skelnými vlákny).

A právě při zpracování plastů tvoří nezastupitelnou roli vstřikování. Tato metoda zpracování plastů se jeví jako velice progresivní, neboť umožňuje značné zrychlení výrobního cyklu. Jedná se o proces, který je sice poměrně složitý, ale vyznačuje se vysokou produktivitou a lze jej dalekosáhle a dokonale automatizovat. Zpravidla i dodatečné opracování výrobku (výstřiku) nejsou nutné. Vstřikováním je možno zajistit plně automatický chod výroby s vysokou produktivitou. Proces vstřikování je realizován na vstřikovacím stroji a nástrojem je vstřikovací forma, jejíž dutina má tvar negativu budoucího výstřiku.

Nástrojem je tedy vstřikovací forma. Konstrukce i výroba je složitá a i finančně nákladná. Proto je při konstrukci vhodné s výhodou použít stavebnicových typů rámců vstřikovacích forem. Při výrobě platí obdobně jako při konstrukci, že je někdy vhodné koupit normalizované části od výrobců normálních vstřikovacích forem, než-li je vyrábět. Je to však otázka času a ekonomičnosti.

Jednou z mnoha aplikací, které se vyrábí z plastů jsou držáky štětců. Takové štětce vyrábí i Spojené kartáčovny a.s. V současné době jejich sortiment skýtá přes 600 druhů výrobků a roční objem produkce představuje 55 mil. kusů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je jednou z hlavních operací při zpracování plastů. Umožňuje ekonomicky produkovat kvalitní a dostatečně přesné výrobky (výstřiky) ze širokého výběru plastů (PP, PS, ABS, PMMA, PC ...), ale i kaučukových směsí. Při procesu vstřikování se mění polymer (většinou ve formě granulátu) v hotový výrobek požadovaných tvarů dle výkresové dokumentace a v požadované jakosti. Technologie vstřikování umožňuje vyrábět výrobky velmi složitých tvarů pro aplikace v automobilovém, leteckém, kosmickém průmyslu, dále pak v elektrotechnickém průmyslu a optice, ve zdravotnictví, v přístrojích pro domácnost, sport i volný čas a to jako samotný výrobek a nebo jako součást určitého výrobku. Tedy v širokém rozsahu se plastové výrobky používají v různých odvětvích průmyslu. Tato technologie zpracování plastů má však i další výhody jako jsou například:

- vtokové zbytky se dají u termoplastů znovu zpracovat, což je velmi výhodné z ekonomického hlediska
- vstřikování je proces relativně rychlý a dá se velmi dobře a rozsáhle automatizovat

Nevýhodou vstřikování je:

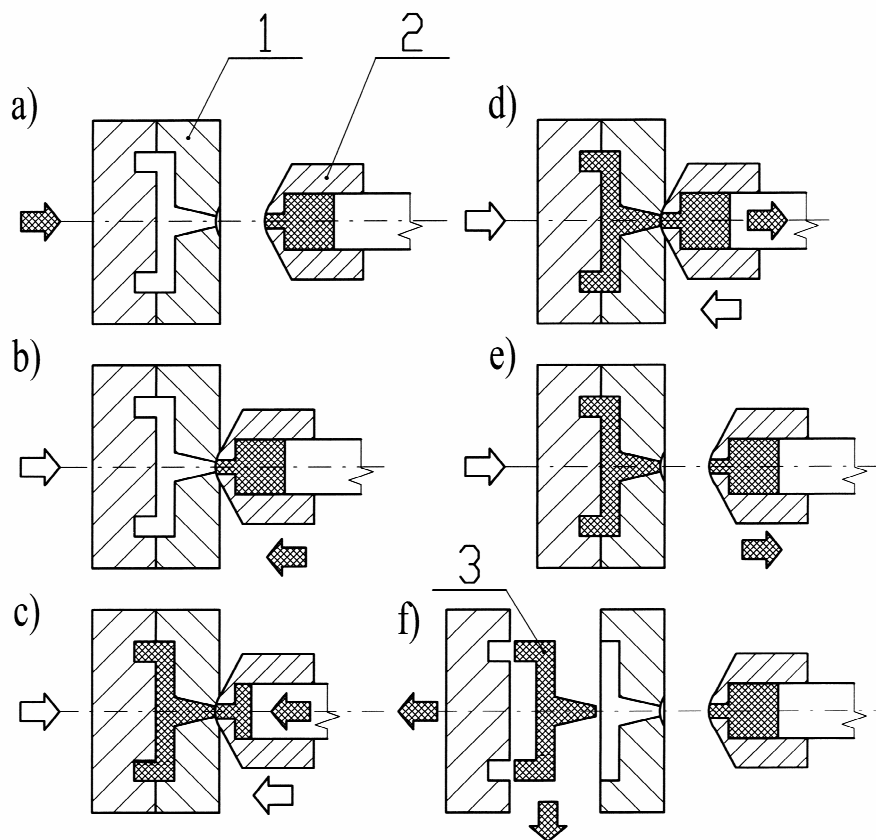
- nutnost použití dobře tekutých polymerů, tudíž poměrně nízkomolekulárních majících horší mechanické vlastnosti než polymery, které používáme pro vytlačování
- vysoká cena forem, která dovoluje použití tohoto procesu jen pro velkosériovou výrobu [6]

1.1 Princip vstřikování

Technologie vstřikování představuje diskontinuální (cyklický) proces realizovaný na vstřikovacím stroji. Vlastnosti výsledného produktu jsou vedle použitého polymeru ovlivněny zejména vstřikovacím strojem, nástrojem (vstřikovací formou) a temperačním systémem. Vstřikovací stroj má plastikační jednotku a uzavírací jednotku. Plastikační jednotka má za úkol plastikaci, homogenizaci materiálu a dopravu takto připraveného materiálu do dutiny formy. Funkcí uzavírací jednotky je ovládání formy tzn. její otevírání, zavírání a ovládání vyhazovačů. Vstřikovací cyklus je znázorněn na obr. 1. Nejdříve dojde k uzavření vstřikovací formy (a), vstřikovací jednotka je ve výchozí poloze. [3]

Vytemperovaná a upnutá forma ve stroji je uzavřena uzavírací silou. Její velikost je volena tak, aby byla forma zajištěna proti pootevření při vstřikovacím tlaku. Průběh uzavírání formy je rychlý, jen před stykem obou polovin formy se zpomalí. [5]

Ve vstřikovací jednotce dochází k plastikaci. Vstřikovací jednotka se poté přisune a dosedne na uzavřenou formu (b). Po dosednutí nastává vstřikování taveniny (c). Po naplnění dutiny formy taveninou dochází k postupnému tuhnutí, což je provázeno objemovými změnami. Aby byl zachován dokonalý tvar a rozměry budoucího výrobku, je nutné doplnit další polymer, což se děje ve fázi nazývané dotlak (d). Dotlakem působíme tak dlouho dokud nezatuhne vtokový systém. Po zatuhnutí vtokového systému dochází k dalšímu tuhnutí ve formě. Následuje odsun vstřikovací jednotky do výchozí polohy (e). Po ztuhnutí nastává otevření formy (f) a vyhození výtřiku. Ve vstřikovací jednotce mezitím probíhá příprava taveniny. Forma i vstřikovací jednotka jsou ve výchozí poloze a celý cyklus se opakuje. Přesné dodržování jednotlivých sekvencí pracovního cyklu je nutným předpokladem k výrobě dokonalého výrobku. [3]



Obr. 1. Vstřikovací cyklus [4]

1 – forma, 2 – vstřikovací jednotka, 3 - výtřik

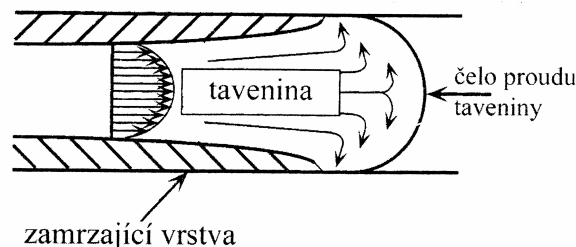
1.2 Plasty používané pro vstřikování

Plasty jako materiály jsou látky, jejichž struktura je tvořena makromolekulárními řetězci (oproti kovům, které mají strukturu tvořenou krystalickými mřížkami). Jsou rozděleny na dva základní druhy:

- Termoplasty, které mají řetězce přímé (lineární polymery) nebo řetězce s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Při ohřevu se uvolní soudržnost řetězců a hmota je viskózní. V tomto stavu je můžeme tvářet. Po ochlazení se dostanou zpět do původního stavu.
- Reaktoplasty, které mají v konečné fázi zpracování řetězce příčně propojeny chemickými vazbami a vytváří trojrozměrnou prostorovou síť. Při ohřevu tato síť zvětšuje svoji pohyblivost, ale řetězce se zcela neuvolní. Při tváření vlivem teploty a tlaku nastává zesíťování (vytvrzování) plastu. Jsou-li původní řetězce velmi ohebné a hustota sítě je přiměřená, je hmota za normální teploty poddajná a pružná. Takové materiály se nazývají elastomery a zesíťování u nich nastává při vulkanizaci, čímž se převedou na pryž. Jakmile je chemický proces ukončen, další tváření již není možné.

1.3 Tok taveniny při vstřikování

Vtokový systém musí být řešen tak, aby bylo zabezpečeno současné zaplňování všech dutin. Vtokový systém musí být tzv. vyvážen. Při zaplňování dutiny formy nedochází ke skluzu taveniny po stěně, ale dochází k „valení“ taveniny. Tento laminární tok je označován jako „fontánový tok“ (obr. 2). [3]

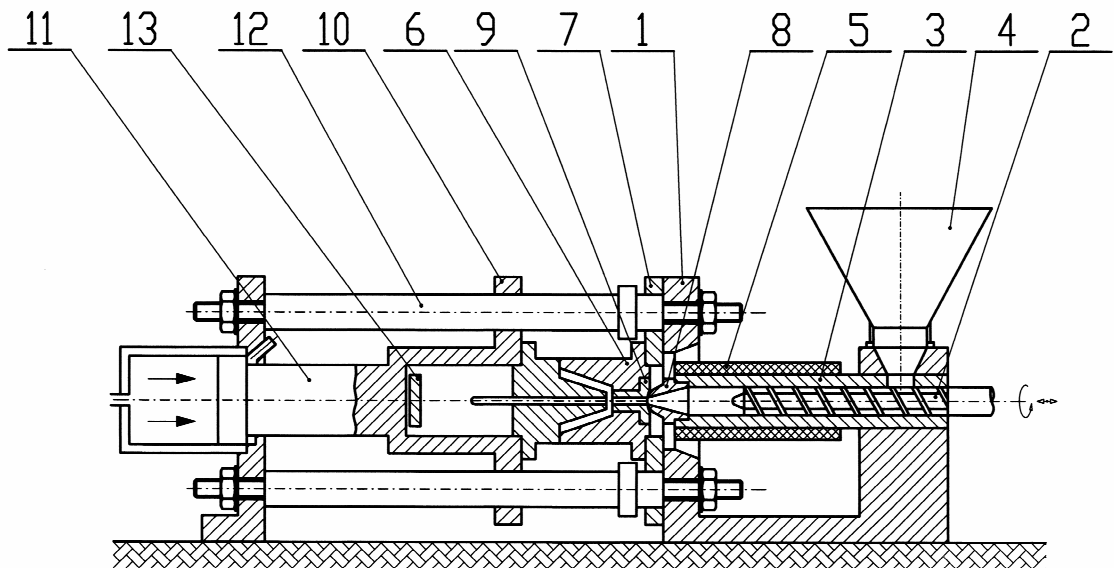


Obr. 2. Zaplňování dutiny formy taveninou [3]

2 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vstřikovací stroj se skládá z:

- plastikační a vstřikovací jednotky
- uzavírací jednotky



Obr. 3. Schéma vstřikovacího stroje [4]

1 - rám stroje, 2 - šnek, 3 - pracovní válec, 4 - násypka, 5 - topné těleso, 6 - vtoková vložka, 7 - upínací deska, 8 - vstřikovací tryska, 9 - vtoková vložka, 10 - vedení, 11 - hydraulický píst, 12 - nosný sloup, 13 – doraz vyhazovače

Většinou se v praxi setkáváme se stroji, které mají uspořádání plastikační jednotky a uzavírací jednotky v jediné vodorovné ose (Obr. 3). Tyto stroje vstřikují do osy formy a tento způsob konstrukce se nazývá též centrální vstřikování. U úhlových strojů je uzavírací jednotka na vodorovné ose, plastikační jednotka je svislá a vstřikuje do dělicí roviny formy.

Nosná konstrukce vstřikovacích strojů je obvykle sloupová a to u malých vstřikovacích strojů dvousloupová a u velkých čtyřsloupová. Různé pohyblivé orgány jsou vedeny těmito nosnými sloupy. Vstřikovací ústrojí, které koná přísun a odsun ve směru k formě, bývá vedeno po vodících plochách na loži stroje.

2.1 Vstřikovací a plastikační jednotka

Plastikační a vstřikovací jednotka plní dva hlavní úkoly:

- dokonalou plastikaci a homogenizaci taveniny
- doprava a vstřik této taveniny velkou rychlostí a pod vysokým tlakem do tvarové dutiny uzavřené formy [8]

Vstřikovací jednotky se obvykle dělí podle způsobu plastikace.

Vstřikovací jednotka

- *bez předplastikace* - plastikace v tavicí komoře, vstřikování pístem
 - plastikace a vstřikování šnekem
- *s předplastikací* - předplastikace v tavicí komoře, vstřikování pístem
 - předplastikace šnekem, vstřikování pístem

2.1.1 Vstřikovací jednotka bez předplastikace

Ve vstřikovací jednotce bez předplastikace probíhá plastikace v tavicí komoře (pístová plastikace) nebo v pracovním válci (šneková plastikace).

Při pístové plastikaci se dávkuje zpracováváný materiál dávkovacím zařízením do tavicí komory. V tavicí komoře se materiál roztaví a tavenina se vstříkne vstřikovacím pístem do formy.

Výhodou vstřikovacích jednotek s pístovou plastikací je jednoduchá konstrukce a snadné docílení poměrně vysokých vstřikovacích tlaků (přes 100 MPa). Nevýhodou je horší homogenizace taveniny. [4]

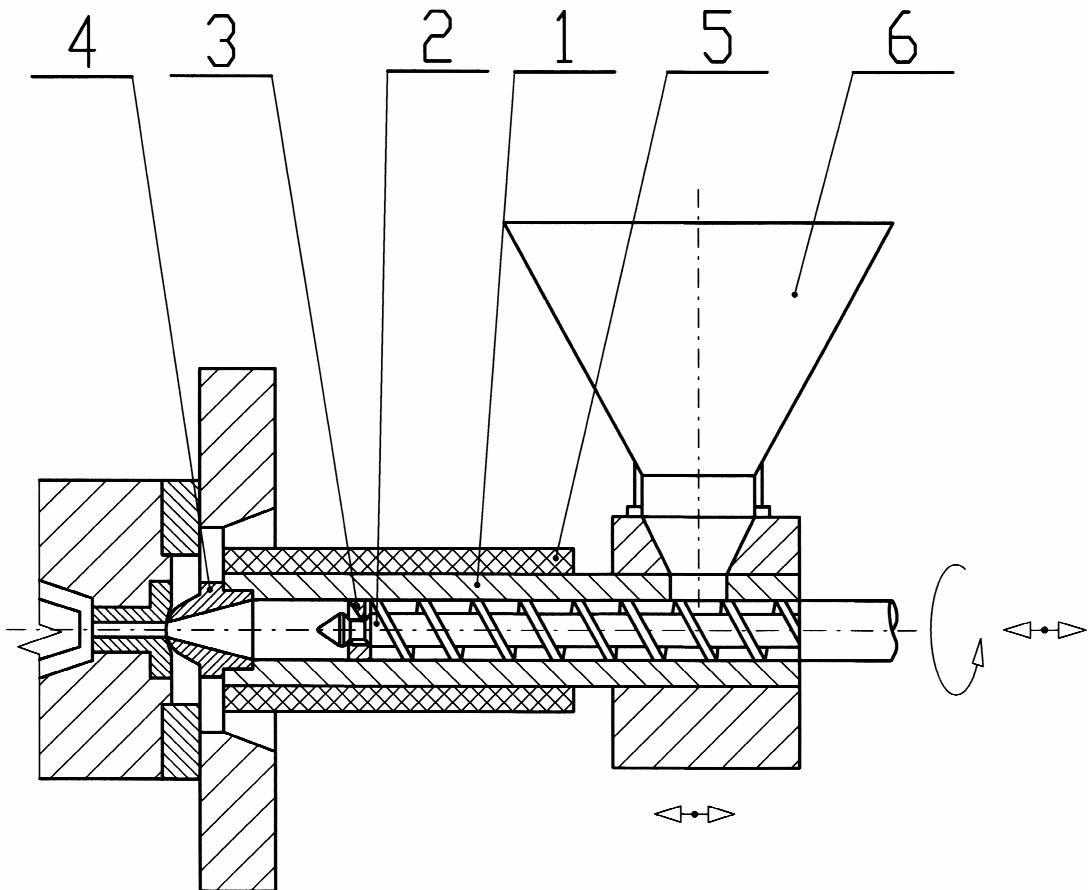
U vstřikovací jednotky se šnekovou plastikací (obr. 4) vstupuje zpracováváný materiál z násypky do pracovního válce. V pracovním válci se vlivem působení šneku materiál plastikuje, homogenizuje a dopravuje před špicí šneku. Šnek se otáčí a posouvá směrem dozadu, čímž vytváří prostor pro taveninu. Po zplastikování potřebného množství se materiál axiálním pohybem šneku směrem dopředu vstříkne přes vstřikovací trysku do formy. Pracovní válec je opatřen topením. Přímočarý i rotační pohon šneku bývá většinou realizován přímočarým a rotačním hydromotorem nebo elektromotorem s mechanickými

převody. Aby byl umožněn axiální pohyb, je hnací kolo i hřídel šneku opatřen drážkováním. [4]

U nízkoviskózních materiálů má tavenina při vstřiku tendenci vracet se zpět do šnekového kanálu. Z tohoto důvodu je na čele šneku zabudován zpětný uzávěr. Zpětné ventily umožňují dosažení vysokých vstřikovacích tlaků a zaručují dostatečnou dobu setrvání materiálu ve šnekovém kanálu. [4]

Výhodou šnekové plastikace je lepší materiálová a teplotní homogenita taveniny, než u pístové plastikace a také má lepší výkonnost. Další velkou výhodou je, že výstřiky mají menší vnitřní pnutí a tím i menší náklonnost ke smršťování. [8]

Tento způsob plastikace je nejpoužívanější a nejběžnější v praxi.



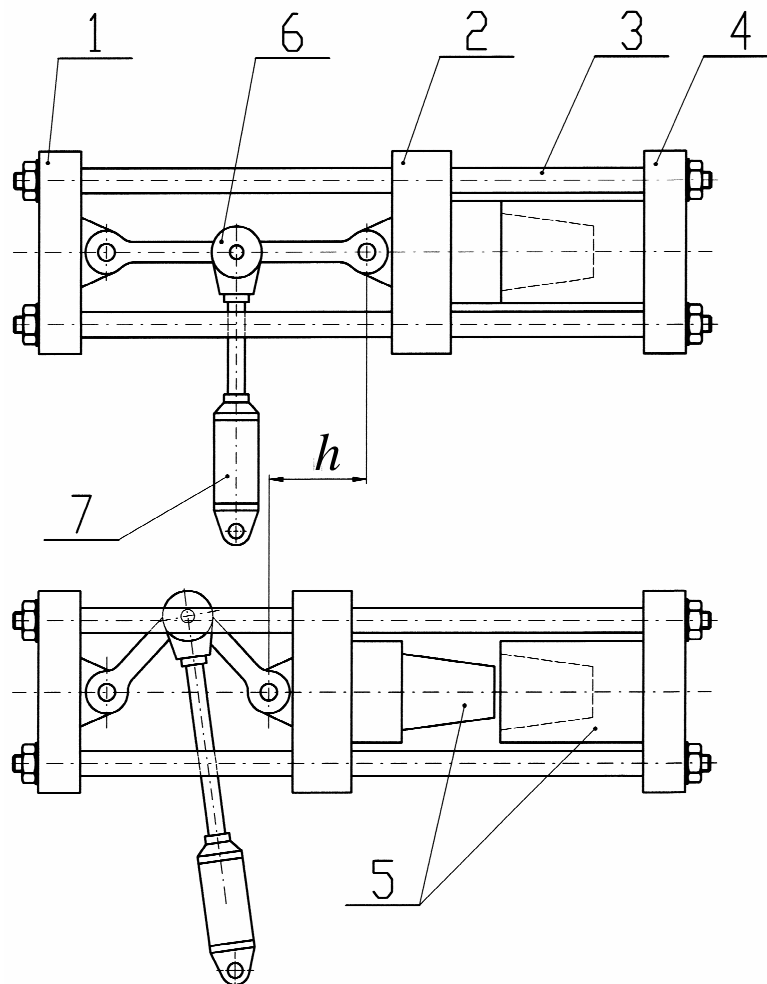
Obr. 4. Šneková plastikační jednotka [4]

1-pracovní válec, 2-šnek, 3-zpětný uzávěr, 4-vstřikovací uzávěr, 5-topné těleso, 6-násypka

2.2 Uzavírací jednotka

Otevření a bezpečné uzavření formy zajišťuje uzavírací jednotka (Obr. 5). U vstřikovacích strojů je pravá upínací deska, tj. deska u vstřikovacího ústrojí nehybná. Levá deska je pohyblivá a otevírá a uzavírá formu před vstříknutím zplastikované hmoty. Velikost uzavírací síly je funkcí plochy výstřiku v dělicí rovině a velikosti vstřikovacího tlaku. Uzavírací síla dosahuje u větších strojů hodnot až několika desítek tun. [9]

Uspořádání uzavírací jednotky a tuhost uzavíracího mechanismu má rozhodující vliv na těsnost formy. [4]



Obr. 5. Uzavírací jednotka s kloubovým uzávěrem

1-opěrná deska, 2-pohyblivá upínací deska, 3-vodící sloupy, 4-pevná upínací deska, 5-forma, 6-kloubový mechanismus, 7-hydraulický válec, h-otevření stroje

Hlavní částí uzavírací jednotky jsou:

- opěrná deska (1) pevně spojená s ložem (sloupy) stroje
- pohyblivá upínací deska (2) na kterou je upnuta pohyblivá část formy
- upínací deska (4) s otvorem pro vstříkovací trysku
- vodící sloupy (3)
- forma (5)
- uzavírací a přidržovací mechanismus (6)

Podle druhu pohonu lze rozdělit uzavírací jednotku na hydraulickou, hydraulicko-mechanickou a elektromechanickou.

Uzavírací jednotka

- *hydraulická* - přímá nebo se závorováním
- *hydraulicko-mechanická*
- *elektromechanická*

Hydraulické uzavírací ústrojí mají uzavírací rychlost řízenou uspořádáním a ovládním hydraulického obvodu. U hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky je rychlost uzavírání dána kinematickým uspořádáním mechanismu, což umožňuje docílení minimálních dosažených rychlostí. Při konstrukci elektromechanických uzavíracích jednotek je výhodou jejich jednoduché ovládní a příznivá spotřeba energie. [4]

3 VÝSTŘÍK A JEHO KONSTRUKCE

3.1 Konstrukční návrh součástí z plastu

Konstrukční návrh součástí z plastu se řídí úplně jinými zásadami, než u součástí kovových. Při její tvorbě musí konstruktér zvažovat, co všechno se při vstřikování v dílu z plastu bude dít. To vyžaduje znát technologii jejich zpracování.

Pro realizaci plastových součástí jsou dány určité meze konstrukčních tvarů a jejich vlastností, které by se neměly překročit, jinak vzniknou při výrobě problémy. Bez potřebných znalostí lze se jim jen obtížně vyhnout a docílit, aby vzniklá součást, vyhovovala podmínkám výroby. Všeobecně platí: Čím jednodušší je součást, tím výhodnější jsou její pevnostní podmínky, snadnější dodržení rozměrů, levnější výroba formy a jednodušší výroba výstřiků. Ve skutečnosti však vždy je třeba hledat kompromis mezi vznášenými požadavky.

Proto je třeba zdůraznit, aby se bez znalostí zásad o specifických vlastnostech plastů a jejich zpracování nepřistupovalo ke konstrukci výstřiku. [1]

3.2 Vlivy na jakost plastových součástí

Součásti z plastů nelze vyrobit v takových jakostech jako kovové. To proto, že na ně působí množství různých činitelů, které je ovlivňují. Jsou to materiál, výrobní technologie s optimalizací svých parametrů, forma a její kvalita. Jejich vlivem se pak vyrobí výstřik jen určité kvality, do které se počítá přesnost výstřiku, jakost jeho povrchu a užité vlastnosti. Hlavní činitelé, kteří ovlivňují jakost výrobku jsou:

- Smrštění při zpracování, které se pro daný plast uvádí v určitém rozmezí. Záleží tedy na druhu plastu, konstrukci součásti i na technologii vstřikování. Smrštěním je ovlivněna především přesnost výstřiku. Hodnoty smrštění termoplastů jsou v Tab.I.
- Dodatečné smrštění bývá několikanásobně menší, než smrštění při ochlazení ve formě. Probíhá delší dobu (týdny až měsíce). Příčinou je pozvolné uvolňování vnitřního pnutí, vzniklého při vstřikování a časově závislé změny struktury.

- Tečení vznikne při větším a dlouhodobějším silovém zatížení součásti. Projeví se plastickou deformací. U semikrystalických plastů je větší, než u amorfních.
- Teplotní roztažnost je přibližně o řád větší, než u kovů. Je však změnou vratnou.
- Navlhnutím se mění rozměry podle sorbce vody z okolního prostředí. Při vysušení se rozměry opět zmenší.

Velikost vlivů jednotlivých činitelů je velmi obtížné stanovit. Ovlivňují jej druh plastu, tvar součásti i zpracovatelské podmínky. [1]

Tab. I. Hodnoty smrštění termoplastů

Zkratka plastu	Smrštění [%]	Zkratka plastu	Smrštění [%]
PS	0,3 - 0,7	PA 11	1,1 - 1,8
hPS	0,4 - 0,7	PA 11/30 % SV	0,3 - 0,7
SAN	0,4 - 0,7	PA 12	1,1 - 1,8
ABS	0,4 - 0,7	PA 12/30 % SV	0,3 - 0,7
ASA	0,4 - 0,7	POM	2,5
rPE	1,5 - 2	POM/30% SV	0,7 - 1,8
IPE	1,8 - 4	PC	0,4 - 0,8
EVA	1 - 3,5	PC/30 % SV	0,2 - 0,3
PP	1,5 - 2,5	PETP	0,1 - 0,6
PP/30 % SV	0,3 - 0,5	PETP/30 % SV	0,3 - 1,4
PP/40 % CaCO ₃	1,0 - 1,5	PBTP	0,1 - 0,3
PVC měkčený	1,2 - 3,5	PBTP/30 % SV	0,5 - 1,3
PVC tvrdý	0,4 - 0,8	PPO/PS	0,5 - 0,7
PVC houževnatý	0,4 - 0,2	PPO/PS/30 % SV	0,1 - 0,3
PMMA kopolymer	0,4 - 0,7	PSO	0,7
PA 6	1,2 - 2,0	CA	0,4 - 0,7
PA 6/30 % SV	0,3 - 0,5	CP	0,4 - 0,7
PA 610	1,5	CAB	0,4 - 0,7
PA 66	1,5	1PUR	2

3.3 Rozměry součástí z plastů

Jsou jedním z hlavních ukazatelů jakosti. Stanoví se podle potřebné funkce a s ohledem na specifické vlastnosti plastu. Zbytečně se nemají upřesňovat, protože s rostoucí přesností rostou i náklady na dodržení požadovaného rozměru. Přesnost rozměrů součástí se stanoví s ohledem na: [1]

- tolerované rozměry (ČSN EN 01 4265)
- netolerované rozměry (ČSN EN 64 0006)

3.4 Zásady při řešení konstrukce součásti

K základním podkladům pro konstrukci formy slouží výkres vyráběné součásti. Tvar součásti má být řešen nejen z funkčního a ekonomického hlediska, ale i s přihlédnutím na její výrobu. [1]

3.4.1 Celková konstrukce součásti

Musí především splňovat vhodnou polohu dělicí roviny (dělicích rovin) a tím je určen i způsob jejího zaformování. K ní se váže i koncepce vyhazování, vtokového systému, odzdušnění, směr úkosů apod. [1]

3.4.2 Tloušťka stěn

V úzké dutině se tavenina rychle ochlazuje a tuhne, tlusté stěny zase vyžadují dlouhou dobu chlazení. Různě tlusté stěny materiálu nestejně rychle tuhnou, vzniká vnitřní pnutí a různé povrchové vady, propadliny a lunkry (vnitřní staženiny, které zeslabují nosný průřez a mohou působit i jako vnitřní vruby). Zásady správné konstrukce vyžadují jednotnou (uniformní) tloušťku. Náhlé přechody mají být bez ostrých hran a v případě, že se nelze vyhnout tlustým stěnám (místům), se provede vhodné vylehčení. [1]

3.4.3 Zaoblení hran, rohů a koutů

Zaoblením se usnadní tok taveniny, zabrání se koncentraci napětí v těchto místech a sníží se i opotřebení formy, protože přechody s ostrými hranami vyžadují vyšší vstřikovací tlaky. [1]

3.4.4 Úkosy a podkosy

Jsou to sklony stěn výstřiků kolmo k dělicí rovině, kterými se umožňuje a nebo u podkosů zabraňuje vyjímání výstřiku z dutiny formy. Jejich velikost ovlivňuje především smrštění, elasticita plastu a povrch stěn dutiny formy. [1]

3.4.5 Žebra

Dělí se podle funkce, které plní na součásti na technická a technologická. Technická žebra zabezpečují pevnost a tuhost součásti. Technologická zase umožňují optimální plnění

dutiny formy, nebo brání zborcení stěn, případně odstraňují předpokládaný vznik povrchových vad. [1]

3.4.6 Otvory a drážky

Doporučují se volit tak, aby při výrobě činily co nejmenší potíže. Záleží hlavně na jejich poloze vzhledem k zaformování. Otvory a drážky kolmo na směr dělicí roviny se zhotoví pomocí čelisti nebo výsuvných jader. Výroba otvorů a drážek ve směru zaformování je celkem jednoduchá. Vytváří se pomocí pevných kolíků a trnů. [1]

3.4.7 Rovinné plochy

Velké rovinné plochy nejsou vhodné. Je třeba je členit nebo opatřit žebry. U rotačních tvarů se rovinná plocha zhotoví s konkávním nebo konvexním klenutím. [1]

3.4.8 Závity

Vyznačují se nižší pevností a u jemnějších tvarů i obtížností zaformování. Proto se doporučuje větší průměry se závity s větším stoupáním a to ve tvaru oblého, pilového nebo trapézového, které jsou pevnostně i pro výrobu vhodnější. [1]

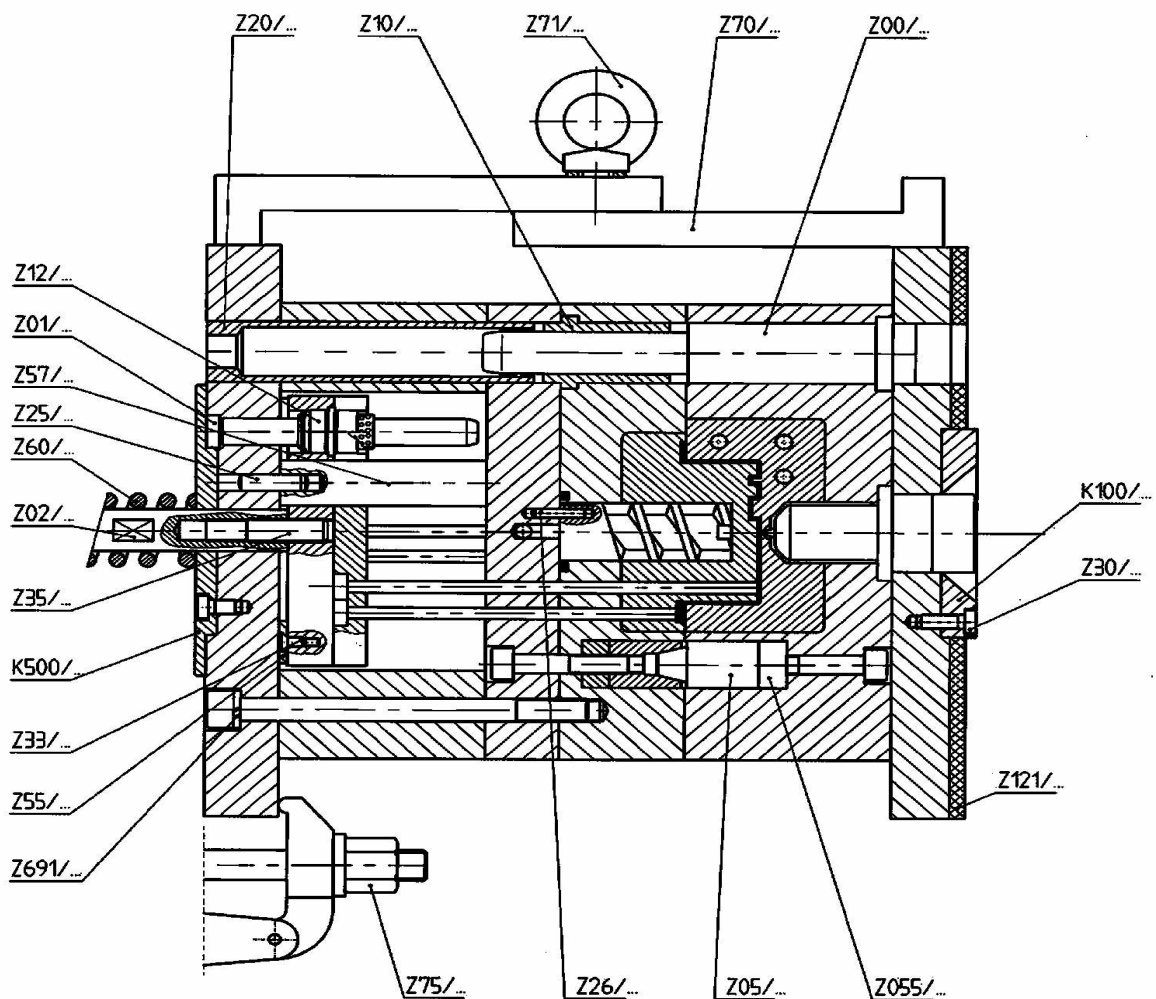
4 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je významnou součástí vstřikovacího stroje. Její funkcí je dát tavenině konečný tvar výstřiku a v tomto tvaru se ochladit do tuhého stavu, kdy se již dál nedeformuje. Výstřik lze pak vyjmout z dutiny formy. [8]

Vstřikovací forma je nástroj, na který jsou kladeny nejrůznější nároky a požadavky. Například musí odolávat vysokým tlakům, poskytovat výstřiky o přesných rozměrech a v požadované jakosti, forma musí mít optimální životnost, umožnit snadné a rychlé vyjmutí výstřiku, musí být produktivní, spolehlivá a to při maximální automatizaci výroby.

Vstřikovací forma je složena z několika normalizovaných částí (tzv. normálií), které jsou na trhu k dostání od různých výrobců. Mezi nejznámější výrobce patří HASCO, DME, STRACK, MISUMI, FUTABA, PEDROTTI atd. V dnešní době je v Evropě nejvýznamnějším a největším výrobcem těchto normalizovaných částí pro vstřikovací formy HASCO. Vstřikovací forma se skládá z rámu (jedná se o několik desek umístěných za sebou doplněných o středící, vodící a spojovací konstrukční prvky), který musí zabezpečit správné, dokonalé a bezpečné upnutí vstřikovací formy na stroji. Desky ze kterých je forma sestavena jsou označeny na obr. 6 písmenem „K”. Tyto desky plní různou řadu funkcí a podle toho je nazýváme: upínací desky, tvarové desky, opěrné, vyhazovací desky a rozpěrky. Dále je součástí rámu vstřikovací formy řada dalších normálií (označeny na obr. 6 písmenem „Z”) jako jsou vodící sloupy, kluzná pouzdra, spojovací součásti (šrouby), které umožňují dokonalé vedení pohyblivých dílů a spojení příslušných dílů formy. V nabídce jsou samozřejmě vtokové systémy, chladící a vyhazovací systémy atd. Tyto normálie se používají zejména proto, že není nutno vyvíjet a vyrábět každou jednotlivou součást formy a navíc se jedná o velmi profesionálně promyšlené systémy, které jsou výsledkem dlouhodobého vývoje a zkušeností těchto firem v oblasti vstřikování a vstřikovacích forem a tedy dokonale splňují řadu funkčních požadavků.

HASCO jako výrobce nabízí také elektronický katalog HNM 3D Universal Module, který obsahuje všechny tyto normálie, což vede k urychlení, usnadnění a zdokonalení konstrukce při výrobě forem.



Obr. 6. Schéma konstrukce vstřikovací formy v řezu a ukázka označování normálií

4.1 Násobnost vstřikovací formy

Násobnost vstřikovací formy je významnou otázkou při konstrukčním řešení vstřikovací formy. Násobnost formy má zásadní vliv na hospodárnost vstřikování. [8]

Vstřikovací stroj musí se svým plastikačním výkonem, vstřikovacím tlakem i uzavírací silou dostatečně a s rezervou naplnit bezpečně uzavřenou formu (dutiny i kanály). Požadovaná rezerva objemu taveniny i uzavírací síly je cca 20%. [7]

Při rozhodování, zda bude vhodné použít vícenásobnou formu se musí zvážit tyto technologické a ekonomické parametry:

- celkový počet výstřiků a termín jejich dodání
- celkové náklady na výrobu jednonásobné a vícenásobné vstřikovací formy

- vstřikovací kapacity, plastikační kapacity a uzavírací síly vstřikovacích strojů
- provozní náklady stroje s menší a větší vstřikovací kapacitou
- doba vstřikovacího cyklu menšího stroje pro jednonásobnou a většího stroje pro vícenásobnou formu

Z hlediska technologických parametrů se musí při návrhu násobné formy uvážit tato kritéria:

- vstřikovací kapacita stroje
- plastikační kapacita stroje
- uzavírací síla stroje [10]

4.2 Životnost vstřikovací formy

Životnost vstřikovacích forem dle složitosti výstřiku a druhu použitého materiálu jsou uvedeny v Tab. II. [10]

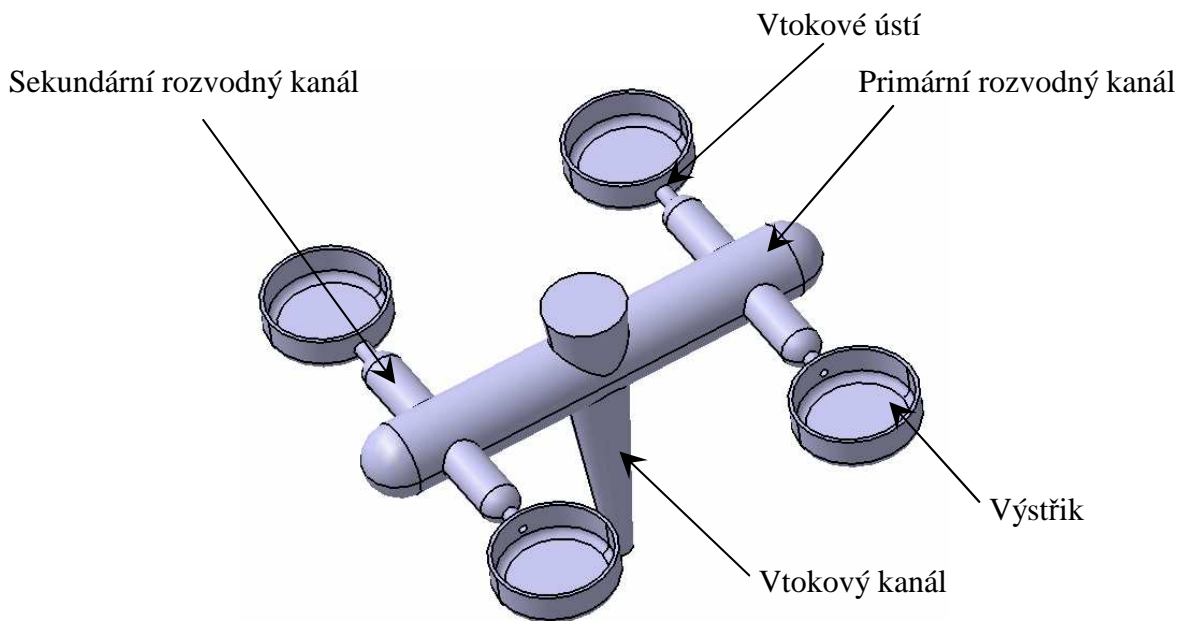
Tab. II. Životnost vstřikovacích forem

<i>Druh materiálu</i>	<i>Složitost vstřikovací formy</i>		
	<i>jednoduché formy s menší násobností</i>	<i>formy se složitějšími tvary, s tvarovými vyhazovací a formy s velkou násobností</i>	<i>složitě formy čelistové nebo s vkládanými vložkami</i>
kalená ocel	200 000 zdvihů	150 000 zdvihů	80 000 zdvihů
nekalená ocel	160 000 zdvihů	100 000 zdvihů	60 000 zdvihů
lehké slitiny	50 000 zdvihů	30 000 zdvihů	5 000 zdvihů

4.3 Vtokový systém

Vtokový systém zabezpečuje spojení mezi dutinou vstřikovací formy a vstřikovací tryskou stroje.

Naplnění dutiny termicky homogenní taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory. Popis jednotlivých částí vtokového systému je vidět na obr. 7.



Obr. 7. Vtokový systém formy

Průtok taveniny vtokovým systémem vstřikovací formy je doprovázen složitými tepelně-hydraulickými poměry. Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňují :

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku
- spotřebu materiálu plasty
- náročnost opracování na začištění výstřiku
- energetickou náročnost výroby

Zásadní rozdíly v celkovém uspořádání vtokového systému jsou dány především konstrukcí formy a její násobností.

Funkční řešení vtokového systému musí zabezpečit aby:

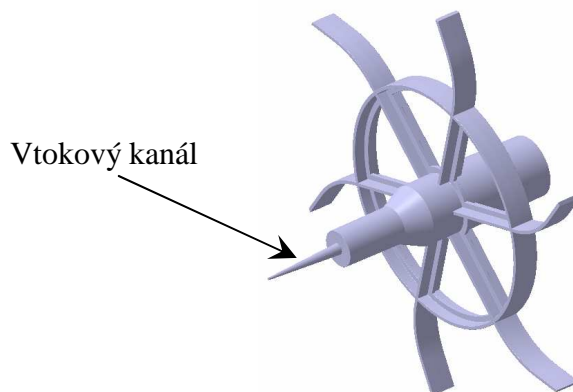
- dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší, bez zbytečných tlakových i časových ztrát.
- dráha toku byla ke všem tvářecím dutinám stejně dlouhá a tím se zajistilo rovnoměrné plnění. Vyústění vtoku do dutiny, jeho průřez, poloha a počet ovlivňují velikost pnutí a existenci míst se sníženou pevností (studených spojů), kde vlivem částečného ochlazení proudu taveniny a jejím vzájemným setkáním (např. při ob-

tékání jádra) již nedojde ke kvalitnímu spojení. Je proto účelné naplnit dutinu jedním vtokem, aby tím vznikalo co nejméně těchto studených spojů.

- průřez vtokových kanálů byl dostatečně velký, aby byla jistota, že po vyplnění tvářecí dutiny bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu a tím se umožní působení dotlaku. Přitom je potřeba přihlížet ke spotřebě plastu. Vtokový kanál má mít při minimálním povrchu co největší průřez. Této podmínce odpovídá kruhový průřez. Z výrobních důvodů se volí i jemu podobný lichoběžníkový průřez.
- u vícenásobných forem je vhodné odstupňování průřezů kanálů, aby byla zachována stejná rychlost taveniny.
- zaoblení všech ostrých hran vtokových kanálů min. $R = 1 \text{ mm}$.
- stanovit úkosovitost všech vtoků pro jejich snadné odformování. Minimální úkosy jsou $1,5^\circ$. Podkosy se volí jen u komůrky přidržovače vtoku.
- leštit povrch vtokového systému orientovaného ve směru vyjímání. Drsnost nemá klesnout pod $0,2 \text{ Ra}$. Tím se usnadní vyhazování.
- řešit zachycení čela proudící taveniny prodloužením rozváděcího kanálu. Zabrání se tím proniknutí chladnějšího čela proudu taveniny do tvarové dutiny a tím snížení povrchových vad výstřiku. Vytváří se jen pokud to situace dovolí.
- ve vtokovém systému vyloučit místa s velkým nahromaděním materiálu.
- neprovádět větvení vtokového systému pod ostrým úhlem, ale někdy právě naopak pod úhlem větším, než 90° . [1]

4.3.1 Vtokový kanál

Nejobvyklejším je kuželový vtokový kanál, vytvořený uvnitř vtokové vložky. Ústí do rozváděcích kanálů, případně přímo do výstřiku (obr. 8).



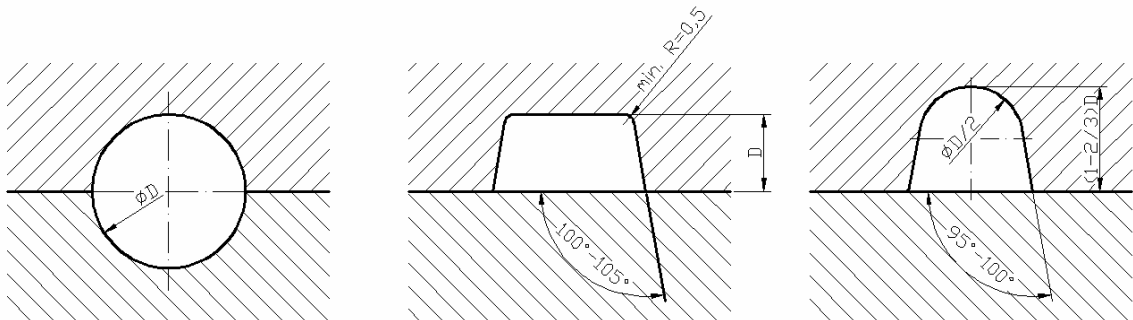
Obr. 8. Vtokový kanál

Vtoková vložka s vypracovaným vtokovým kanálem se vyrábí z pevné, houževnaté, otěruvzdorné oceli a je tepelně zpracovaná (tvrdost 58 HRC). Je velmi tepelně i mechanicky namáhána a proto se jí věnuje velká péče při výběru vhodného materiálu. Vyrábí se z nástrojových ocelí 19 435, 15 981, 19 572 atd. [1]

4.3.2 Volba rozměrů rozváděcích kanálů

Rozváděcí kanály (obr. 9.) spojují vtokový kanál s ústím vtoku a tvářecí dutinou. Jejich délka je dána typem formy. Velikost jejich průřezů určuje řada činitelů, kteří se vzájemně ovlivňují. Volí se s ohledem na:

- charakter výstřiku, především tloušťku jeho stěn a předpokládanou dobu dotlaku.
- tepelné a reologické vlastnosti taveniny, hlavně její viskozitu, tepelnou vodivost apod.
- parametry vstřikovacího stroje, vstřikovací tlak, vstřikovací rychlost, atd.



Obr. 9. Průřezy rozváděcích kanálů

Obtížné stanovení hodnot jednotlivých parametrů určení jejich vzájemné vazby by vyžadovalo pracné a tím i složité výpočty. Proto se pro jejich volbu používají především empirické vztahy. [1]

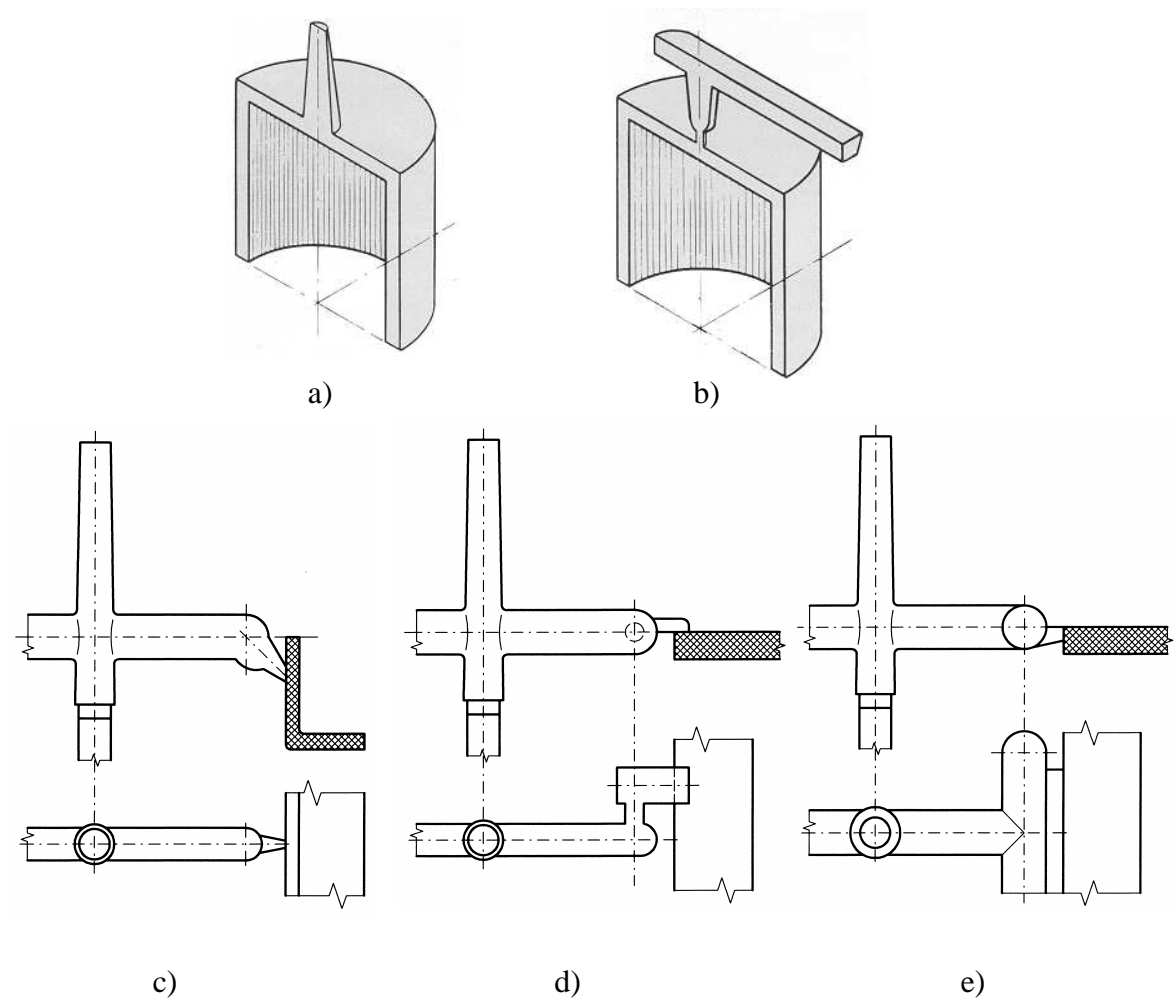
4.3.3 Koncepce vtokových ústí

Vtokové ústí se vytváří zúžením rozváděcího kanálu. Jen ve vyjíměčných případech může být použit plný nezúžený vtok (pro potlačení propadlin, lunek u velkoobjemových dílů). Vtokové ústí se volí co nejmenšího průřezu v závislosti na charakteru výstřiku, plasty i technologie vstřikování. Velikost zúženého průřezu však musí spolehlivě naplnit dutinu

formy a také ještě umožnit případné působení dotlaku. Délka zúženého ústí se volí co nejkratší, avšak s ohledem na pevnost materiálu formy. [1]

Zúžené ústí vtoku má za úkol:

- usnadnit oddělování vtokového zbytku od výstřiků a zlepšit jejich vzhled
- zkrátit dobu dotlaku tím, že materiál v tenké vrstvě (v zúženém ústí vtoku) rychleji ztuhne
- zvýšit rychlost vtékání materiálu do dutiny formy a tím zvýšit teplotu materiálu přeměnou mechanické energie na teplo (disipace)
- zajistit větší rovnoměrnost plnění dutin vícenásobných vstříkovacích forem
- zabránit vstupu ochlazeného materiálu do dutiny vstříkovací formy [10]



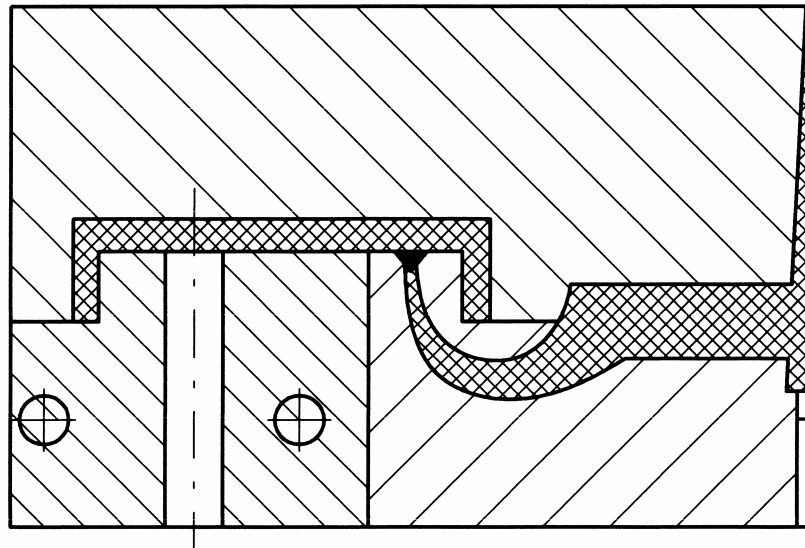
Obr. 10. Typy vtokových ústí

a) plný kuželový vtok, b) bodový vtok, c) tunelový vtok, d) boční vtok, e) filmový vtok

Nejpoužívanější typy vtokových ústí jsou vidět na obr. 10.

Zvláštním typem tunelového vtoku je srpkovitý (banánový) vtok, který umožňuje umístit vtokové ústí do části výstřiku, ve kterém nepůsobí rušivě. Takový vtok je vhodný jen pro plasty s vysokou elasticitou. Typické provedení a jeho funkce je vidět na obr. 11.

[1]



Obr. 11. Srpkovitý tunelový vtok

4.3.4 Vyhřívání vtokových systémů

Snaha po úsporách plastu i práce vedla ke vzniku metody vstřikování bez vtokového zbytku. Realizuje se za pomoci vyhřívání vtokových soustav. Vyhřívání vtokové soustavy mají vyhřívání trysky, které jsou charakterizovány minimálním úbytkem tlaku i teploty v systému s optimálním tokem taveniny. To umožnila především výroba vysokovýkonných a minimálních topných těles a některých dalších jejich dílů.

Od forem s běžnými studenými soustavami se liší především tím, že vyhřívání vtokové soustavy se nakupují od specializovaných výrobců a dodavatelů normální jako jsou již dříve zmíněné HASCO, STRACK, DME aj.

Jednotlivá konstrukční řešení i rozsah jejich použití jsou rozdílná. Proto je nutné při použití určitého systému si vyžádat od daného výrobce nebo dodavatele potřebné podklady, popřípadě i technickou konzultaci.

I přes tuto nevýhodu používání vyhřívání vtokových soustav neustále roste, protože:

- umožňuje další zvýšení automatizace výroby
- zkracuje výrobní cyklus, což je velmi výhodné z ekonomického hlediska
- snižuje spotřebu plastu, protože se vstříkuje bez vtokových zbytků
- snižuje náklady na dokončovací operace při odstraňování vtokových zbytků
- odpadá manipulace a regenerace vtokových zbytků a problémy při jejich dalším zpracování

Technologie vstřikování při použití vyhřívané vtokové soustavy spočívá v tom, že tavenina po naplnění formy zůstává v celé oblasti vtoku až do ústí formy v plastickém stavu. To umožňuje použít jen bodové vyústění malého průřezu, které je vhodné pro širokou oblast vyráběných výstřiků. I přes malý průřez vtoku je možné částečně pracovat s dotlakem. Součástí systému je regulace teploty jak vyhřívané vtokové soustavy, tak vstřikovací formy. Celá soustava umožňuje snadnou montáž, demontáž, vyčištění a znovu nasazení do provozu.

Mezi nevýhody patří cena. Tato soustava vyžaduje podstatně složitější a nákladnější vstřikovací formy, obsluha i strojní zařízení musí být na patřičné technické úrovni.

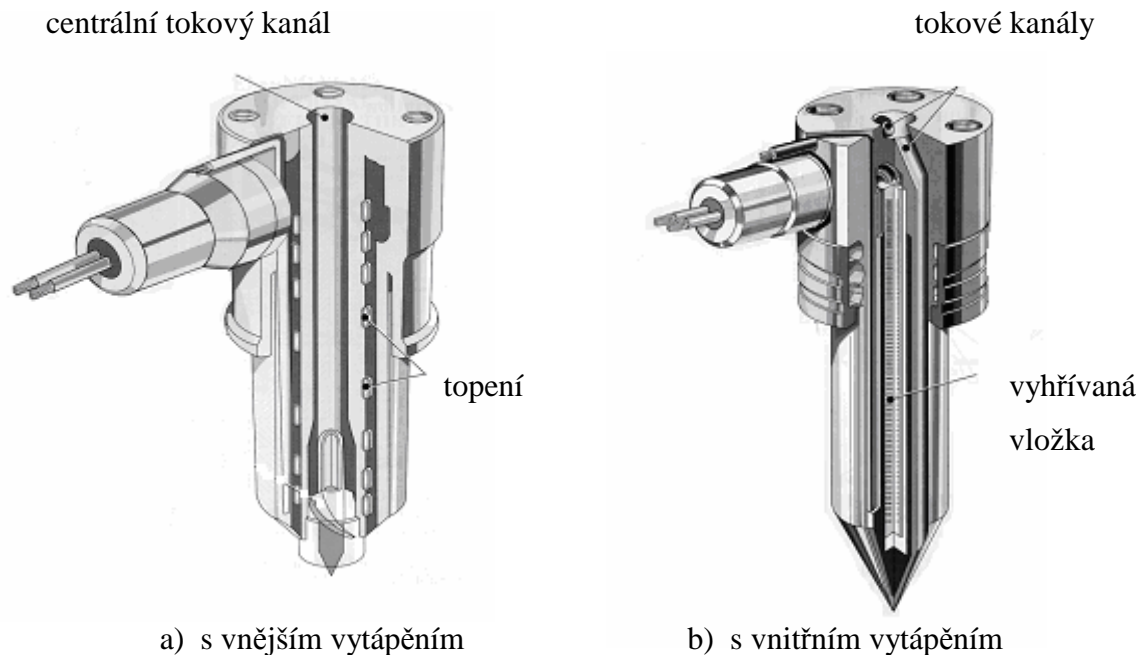
Ekonomickou výhodnost bezodpadového vstřikování je třeba posuzovat z hlediska celého výrobního procesu. Nepřetržitý provoz, dokonalé zpracovatelské vybavení a vhodné zpracovatelské vlastnosti plastů jsou rozhodující faktory. [1]

Vyhřívané trysky

Vyhřívané trysky umožňují propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy, při dokonalé teplotní stabilizaci. Tryska má vlastní topný článek i s regulací, nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Výrazně umožňuje zlepšit technologické podmínky vstřikování. Konstrukční řešení přímo ohříváných trysek je charakterizováno dvěma základními principy:

- Trysky s vnějším topením (obr. 12a), kde tavenina proudí vnitřním otvorem tělesa trysky. Těleso je vyrobeno z tepelně vodivého materiálu. Z vnějšku je kolem trysky umístěno topení.

- Trysky s vnitřním topením (obr.12b). U tohoto systému tavenina obtéká vnitřní vyhřívanou vložku (torpédo), zhotovenou z materiálu s dobrou tepelnou vodivostí. [1]



Obr. 12. Přímou vyhřívané trysky [16]

Vytápěné rozvodové bloky

Slouží k rozvodu taveniny do tvarových dutin vícenásobných forem. Jeho dobrá funkce je podmíněna rovnoměrným vytápěním. V opačném případě ovlivní tokové chování taveniny a její tlakové rozložení v jednotlivých tvarových dutinách.

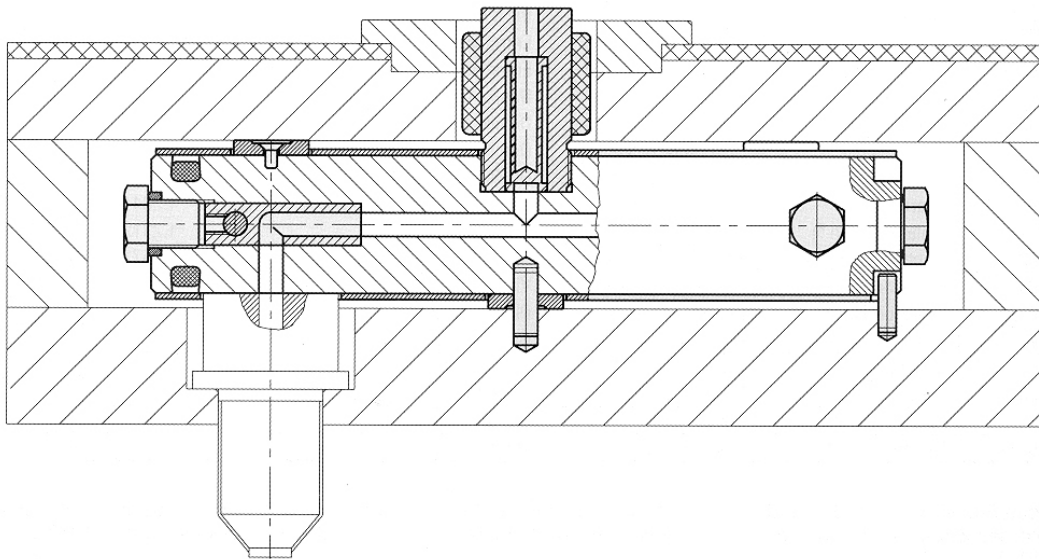
Rozváděcí blok je ocelový, uložen mezi upínací deskou a tvarovou deskou v pevné části formy. Jeho tvar je konstrukčně přizpůsoben potřebné poloze rozváděcích kanálů směrem k vyústění i uložení trysek. Musí být tepelně izolován od ostatních částí formy a to se obvykle děje pomocí vzduchové mezery. Blok je vytápěn nejčastěji zvenku elektrickým odporovým topením pomocí topných hadů zalitých mědí nebo topnými patronami s vytápěním zevnitř. Vytápění je řízeno tepelným regulátorem, ovládaného jedním nebo více čidly, které jsou umístěny v bloku.

Otvory kanálů musí být pečlivě vyrobeny, protože nikde nesmí vzniknout ostré hrany a přechody s mrtvými kouty taveniny.

Pro zvýšení tuhosti formy je rozvodný blok ve formě upevněn pomocí přítlačných kroužků. Je ustředěn a zajištěn proti pootočení vzhledem k tvárnici a jeho vyústění přes trysky do dutin formy.

Ohřev a změna teploty bloku vzhledem k formě, která má jinou teplotu, vyvolává změny v jeho délkových rozměrech (teplotní dilatace), proto je nutno uvažovat při návrhu tímto jevem počítat. [1]

Řez rozvodným blokem vyráběným společností HASCO je na obr. 13.



Obr. 13. Vytápěný rozvodný blok od firmy HASCO [16]

5 FUNKČNÍ SYSTÉMY FOREM

K rozhodujícím funkčním systémům patří vyhazování výstřiků, temperace a odvodušnění forem. Neméně důležité jsou vhodné a dostatečně tuhé rámy vstřikovacích forem. V jiných případech konstrukce vstřikovací formy je nutné ji doplnit např. o boční posuvné čelisti (šífry), o mechanismus vyhazování výstřiků se zavity, nebo je třeba ostříhování vtokových zbytků atd. [2]

5.1 Vyhazování výstřiků

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune nebo vytlačí zhotovený výstřik. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které doplňuje formu a svojí funkcí má zajišťovat automatický výrobní cyklus.

Má dvě fáze:

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

Základní podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být menší než $1,5^\circ$. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně aby nedošlo k jeho přičení a tím ke vzniku trvalých deformací, nebo k jinému poškození. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může být velmi rozmanité. Může se jich využít k vytváření funkčních dutin nebo jako část tvárníku. U hlubokých tvarů je třeba počítat s jejich zavzdušněním.

Po vyhazovacích kolících zůstanou obvykle na výstřiku stopy. Jsou-li na závadu, výstřik se podle možnosti opraví, nebo se vyhazovače umístí na tu stranu, kde vzhledu nevádí. Může se změnit i způsob vyhazování. Tím se ale často změní i zaformování výstřiku a také celá koncepce formy. Mimo výstřiků se vyhazuje i vtokový zbytek. Při vhodném uspořádání se může vtokový zbytek od výstřiku záměrně oddělit.

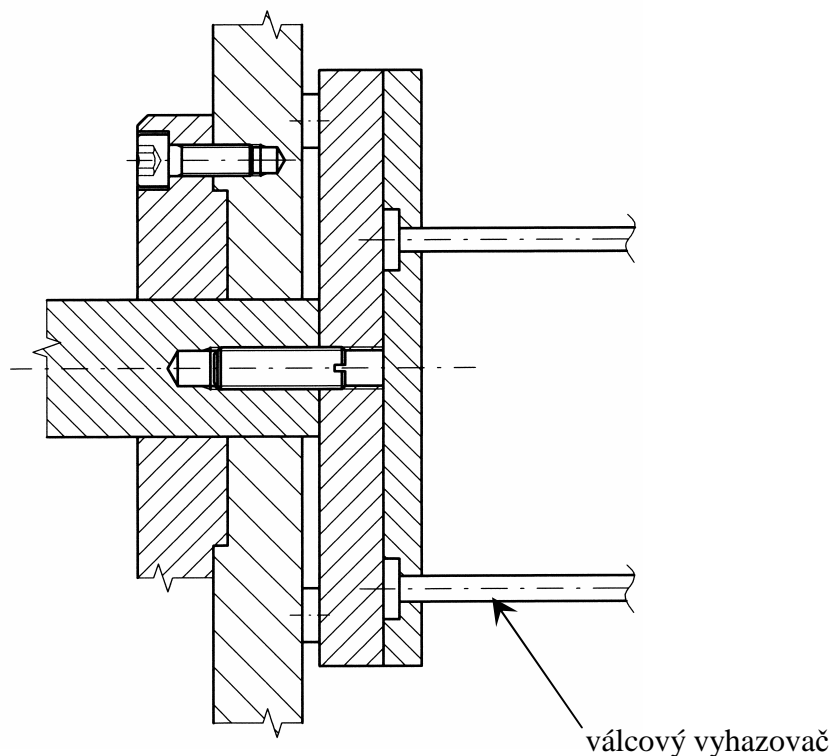
Pohyb vyhazovacího systému se vyvine:

- Narážecím kolíkem o traverzu vstřikovacího stroje při otevírání formy. Narážecí kolík je axiálně seřiditelný.

- Hydraulickým, nebo pneumatickým zařízením, které bývá obvykle příslušenstvím vstřikovacího stroje. Umožňuje měkké vyhazování.
- Ručním vyhazováním nejrůznějšími mechanismy, je vhodné pro jednoduché a zkušební formy, obvykle bývá umístěno na formě.

Zpětný pohyb je zajišťován:

- Vratnými kolíky.
- Pružinami vždy v kombinaci s jiným systémem.
- Speciálním mechanickým, vzduchovým nebo hydraulickým zařízením. [2]



Obr. 14. Uložení vyhazovače ve formě

5.1.1 Velikost vyhazovací síly

Vhodný vyhazovací systém, který je třeba použít, musí vyvodit potřebnou vyhazovací sílu pro vyhození výstřiku z formy. Po otevření formy zůstává výstřik vlivem smrštění plastu obvykle na tvárníku. Může ale zůstat i v tvárnici. Proto je snahou (někdy i vynucenou), aby výstřik zůstal v té části formy, kde jsou vyhazovače.

Potřebná velikost vyhazovací síly závisí na:

- velikosti smrštění výstřiku ve formě
- členitosti výstřiku a jakosti povrchu funkčních ploch tvárníku (dutiny) formy
- technologických podmínkách vstřikování (tlaku, teplotě plastu a formy, době chlazení)
- pružných deformací formy

Vyhazovací kolíky jsou základním prvkem mechanického vyhazování. Mají být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Jsou obvykle válcové. Mohou mít však jakýkoliv jiný tvar. Ve formě jsou uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle požadované funkce a tekutosti plastu. Vůle v uložení působí i jako odvodušnění. [2]

5.2 Temperování vstřikovacích forem

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.

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 vstřiku se forma ohřívá. Každý další výstřik je třeba vyrobít opět při stanovené teplotě. Proto je nutné toto přebytečné teplo během pracovního cyklu odvést temperační soustavou formy. Také při zahájení výroby je třeba nejprve vyhřát formu na pracovní teplotu. Jinak by nebyla zaručena dostatečná kvalita výstřiku.

Proto je úkolem temperace:

- zajistit rovnoměrnou teplotu formy na optimální výši po celém povrchu její dutiny (podle druhu zpracovaného plastu)
- odvést teplo dutiny formy naplněné taveninou tak, aby celý pracovní cyklus měl ekonomickou délku

Pokud má forma dostatečnou hmotnost a dobře řešený temperační systém, zvýší se její tepelná a tím i rozměrová stabilita a sníží nebezpečí deformace, při vysokých vstřikovacích tlacích.

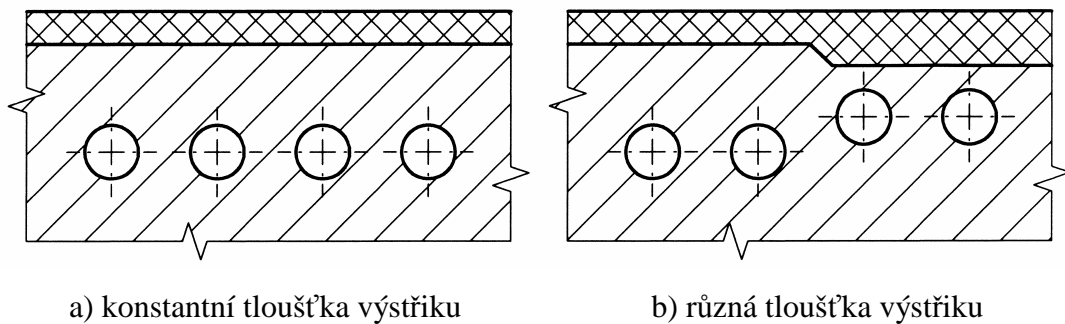
Lokální nerovnoměrné rozložení teplot formy má za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. Někdy se však záměrně temperují různé části formy odlišně, aby se eliminovaly tvarové deformace způsobené anizotropií smrštění plastu. [2]

5.2.1 Obecné zásady volby temperačních kanálů

Temperační systém je tvořen soustavou kanálů a dutin, kterými se předává, nebo odvádí teplo z formy vhodnou kapalinou nebo jiným zdrojem tepla. Rozměry a rozmístění temperačních kanálů a dutin se volí s ohledem na celkovou konstrukci vstřikovací formy. Vzdálenost kanálů od funkční dutiny má být optimální. Je třeba dbát na dostatečnou pevnost a tuhost stěny funkční dutiny. Povrch temperačních kanálů slouží jako přestupová plocha pro teplo, přestupující z formy do temperačního média nebo opačně. Je vhodnější použít větší počet menších kanálů s malými roztečemi, než naopak.

Kolem dutiny formy se rozmísťují rovnoměrně a všude ve stejné vzdálenosti. V oblasti tlustší stěny výstřiku, případně v jiném místě o vyšší teplotě, se kanály přiblíží k dutině formy.

Nejběžnější průřez temperačního kanálu je kruhový. [2]



Obr. 15. Schéma temperačních kanálů pro výstřik [2]

5.2.2 Temperační prostředky

Představují média, která svým působením umožňují formě pracovat v optimálních teplotních podmínkách.

Rozdělují se na:

- *aktivní* - Působí přímo na formě. Teplo do formy přivádí, nebo naopak odvádí.

- *pasivní* - Jsou takové, které svými fyzikálními vlastnostmi ovlivňují tepelný režim formy.

Jejich volba je ovlivněna především koncepcí formy a požadavky na technologii výroby výstřiků. Používají se obvykle ve vzájemné vazbě.

Mezi aktivní prostředky patří kapaliny, které proudí nuceným oběhem temperačními kanály, vytvořenými uvnitř formy. Dochází k přestupu tepla mezi formou a kapalinou. Obvykle se používají kapaliny, jejichž charakteristika je zřejmá z Tab. III. Účinnost chlazení je závislá na ploše chladících kanálů, na vzdálenosti od stěn výstřiku a na druhu proudění tekutiny, které má být turbulentní. [2]

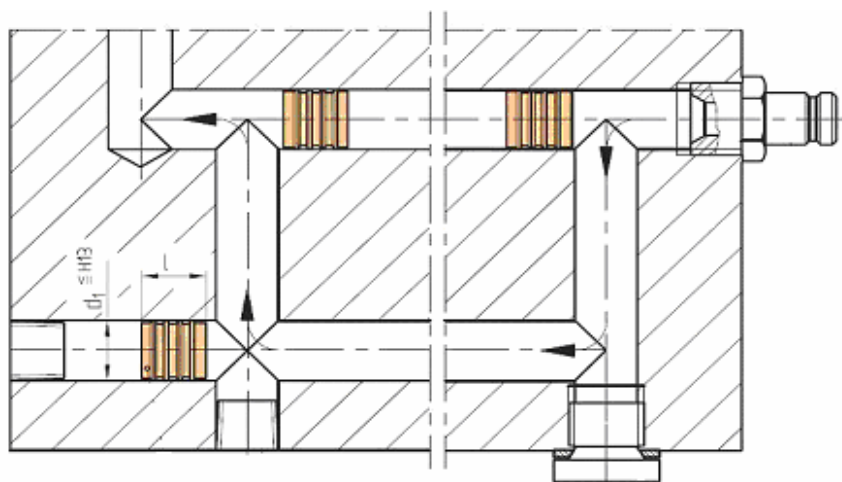
Tab. III. Kapaliny používané pro temperaci vstříkovacích forem

<i>Typ</i>	<i>Výhody</i>	<i>Nevýhody</i>
<i>voda</i>	vysoký přestup tepla, nízká viskozita, nízká cena, ekologická nezávadnost	použitelné do 90°C, vznik koroze a usazování kamene
<i>oleje</i>	možnost temperace i nad 100°C	zhoršený přestup tepla
<i>glykoly</i>	omezení koroze a ucpání systému	stárnutí, znečišťování prostředí

5.2.3 Příklady řešení temperačních kanálů

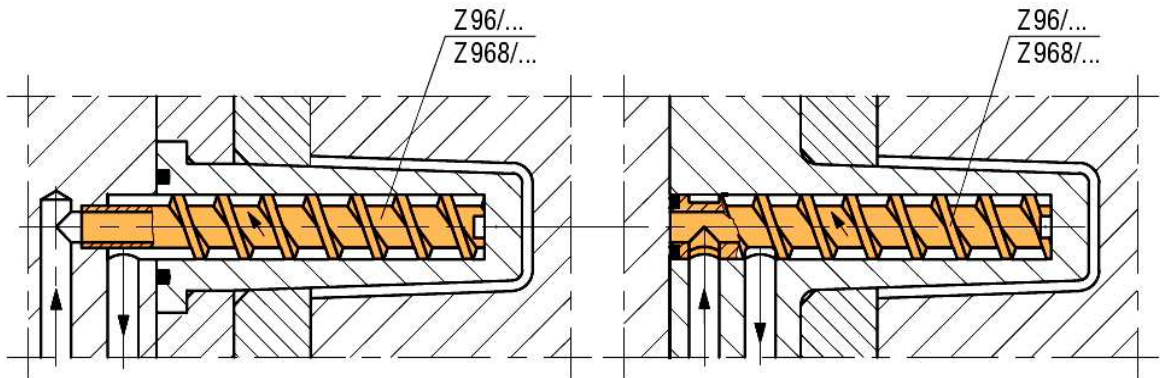
Temperační kanály s médiem regulují teplotu formy na její optimální výši. To vyžaduje respektování všech zásad správné temperace.

Obr. 16 představuje temperaci desky formy ve které je umístěna tvarová vložka.

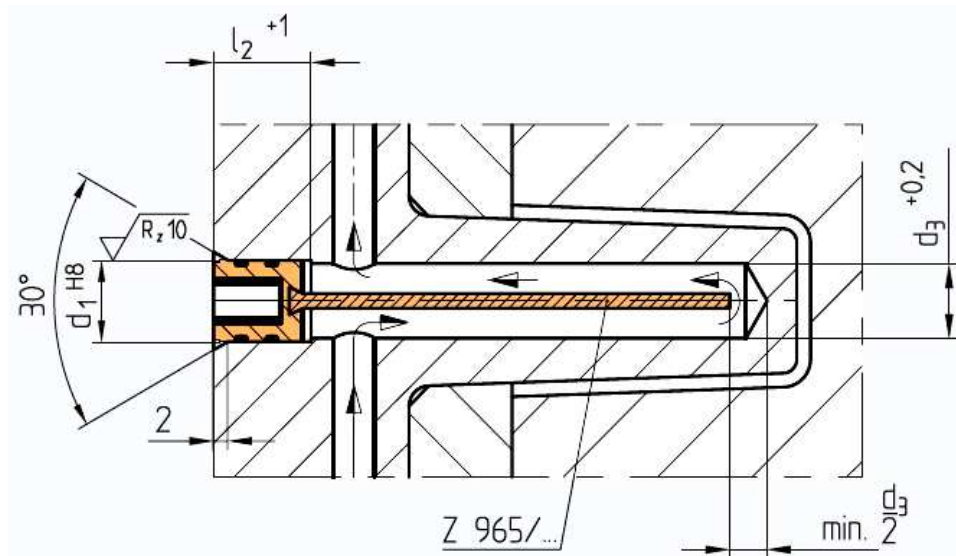


Obr. 16. Schéma temperace desky [16]

Temperace tvárnků lze realizovat pomocí spirálových trnů (obr. 17), přepážek (obr. 18), tepelných trubice atd. Způsob zapojení a rozvržení chladících okruhů ve vstřikovací formě musí být konstruováno tak, aby bylo dosaženo rovnoměrného chlazení ve všech partiích výstřiku.

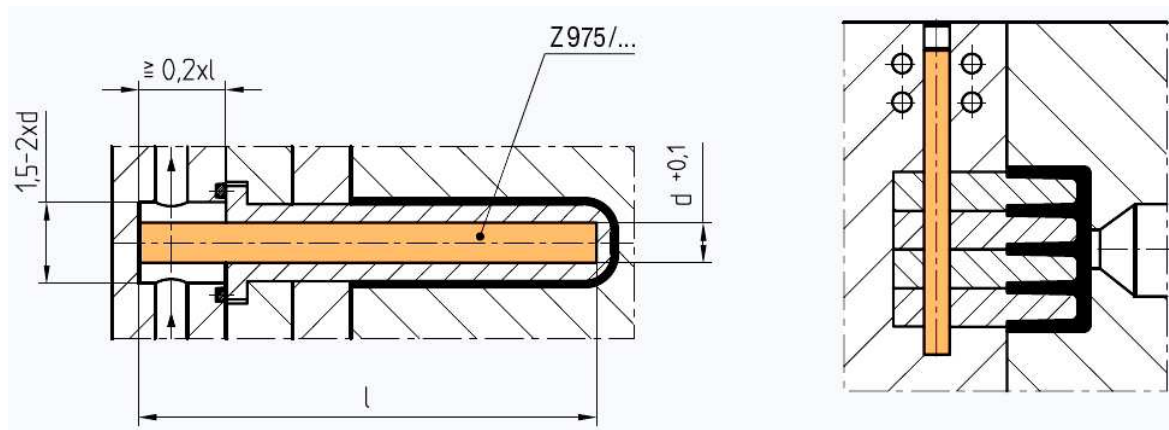


Obr. 17. Chlazení tvárnků pomocí spirálových trnů [16]



Obr. 18. Chlazení tvárnků pomocí přepážky [16]

Tepelné trubice umožňují intenzivní přenos tepla z oblasti o vyšší teplotě do oblasti o nižší teplotě i při malém rozdílu teplot mezi těmito dvěma oblastmi. Trubice (obr. 19) je uzavřena na obou stranách zátkami a je částečně naplněna vhodnou teplonosnou látkou. Při ohřevu jedné části trubice teplem ze zdroje se teplonosné médium vypařuje a přitom odebírá značné množství tepla z tepelného zdroje. Vzniklé páry proudí vnitřním prostorem trubice do opačné chlazené části, kde kondenzují. Při kondenzaci se předává výparné teplo chladicímu prostředí. Vypařování i kondenzace probíhá i při malých teplotních niancích. [2]



Obr. 19. Chlazení tvárníku pomocí tepelné trubice [16]

5.2.4 Propojení temperačních kanálů

Propojení temperační soustavy mimo formu se provádí přívodními hadicemi, napojených a utěsněných na koncovkách nejrůznější koncepce. Propojení musí být dokonalé, bezpečné a s minimálními ztrátami. Hadice se na koncovky nasunují a zajišťují buď zděří, stahovací páskou nebo se spojují šroubovitými spoji.

Vyústění bývá na formě z bezpečnostních i provozních důvodů na její odvrácené straně od obsluhy. [2]

5.3 Odvzdušnění vstřikovacích forem

Odvzdušnění tvarových dutin forem zdánlivě nepatří k dominantním 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. [10]

5.3.1 Vliv technologických parametrů vstřikování na odvzdušnění

Dutina formy je před vstřikováním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit únik vzduchu případných zplodin. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny.

Vstřikovací rychlost - doba plnění, má značný vliv na optimální vlastnosti výstřiku. Rychlé plnění zajišťuje termickou homogenitu látky a tím vede i k částečnému vyrovnání,

odbourání vnesených orientací (anizotropie) taveniny. Toho se používá zvláště u výstřiků s malou tloušťkou stěn.

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 obyčejně není ze vzhledových nebo pevnostních důvodů přípustné. Proto odvzdušnění musí být účinné.

V průběhu plnění tvářecí dutiny je tavenina dopravována do dutiny formou vstřikovacím tlakem, který na konci zdvihu dosahuje maxima. Přitom je tavenina podrobena protitlaku stlačeného vzduchu. Jeho velikost je závislá na odvzdušnění. Je-li nutné zvyšovat vstřikovací tlak vlivem nedokonalého odvzdušnění, vnáší se tím zbytečně do výstřiku vnitřní pnutí. I jeho hmotnost roste.

Při určitém stavu technologických parametrů a větších tloušťkách stěn výstřiku, může vzduch, který nemá možnost být z formy vytlačen, vniknout do taveniny a po zchladnutí v ní zůstává jako bubliny. Obyčejně jsou ve výstřiku rozloženy na protilehlé straně vtoku. Bubliny vzniklé z jiného důvodu, např. vlhkostí polymeru nebo jeho přehřátím (rozkladem), jsou různě rozloženy po celém výstřiku. Tím se od sebe odlišují. [2]

6 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Výroba dílů vstřikováním probíhá na vstřikovacím stroji a ve formě v krátkém čase, za působení dostatečného tlaku a teploty a dalších parametrů. Z toho vyplývají základní požadavky na stroj a formu.

U formy se vyžaduje:

- Vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů.
- Maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celků, pro zachycení potřebných tlaků.
- Správná funkce formy, vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění, temperování atd.
- Optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem a výrobou.

Vyšší nároky na přesnost a jakost vstřikovacích forem se projeví ve zvýšené pracnosti při jejich konstrukci i výrobě. [1]

6.1 Postup při konstrukci vstřikovací formy

V první řadě je třeba mít hotový výkres vyráběné součásti s dalšími doplňujícími údaji, které jsou nezbytné. Postup při samotné konstrukci vstřikovací formy je následující:

- Musí se součást posoudit z hlediska tvaru a rozměrů. Je třeba nepodcenit ani rozdíly v tloušťce s ohledem na propadliny a lunkry. Pozornost je nutno věnovat technologickým rádiusům u hran a rohů, které jsou příčinou velkého pnutí a obtížností při plnění dutiny formy.
- Určení dělicí roviny a způsobu zaformování s ohledem na funkci i vzhled vyráběné součásti. Je nutné brát zřetel na směr a velikost úkosů z důvodu snadného vyjmutí výstřiku z dutiny formy. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění ústí vtoků a vyhazování z dutiny formy.
- Vhodná volba typu vtokového systému, velikosti průřezů, tvaru a délky hlavního a rozváděcího kanálu i ústí vtoků.
- Určení vyhazovacího, temperačního systému a vhodné zvolení typu odvzdušnění dutiny formy.

- Navržení vhodného typu rámu formy s ohledem na danou typizaci, systém vyvažování a temperaci a v neposlední řadě počet i rozmístění dutin.
- Vhodné uspořádání středění a upínání formy na stroj a to vše v rámci manipulace a bezpečnosti práce.
- Zkontrolování funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu, vstřikovací tlak a uzavírací sílu s ohledem na doporučený vstřikovací stroj.

Celý návrh vstřikovací formy musí splňovat požadavek snadné a dostupné výrobní technologie dle stanovených požadavků a to i s ohledem na ekonomičnost výroby. [1]

6.1.1 Zaformování výstřiku

Správné zaformování výstřiku a vhodná volba dělicí plochy náleží k rozhodujícím zásadám konstrukce formy. Umožňuje dodržet tvar a rozměry výstřiku i ekonomiku výroby. Vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu.

Dělicí plocha (rovina) bývá zpravidla jako rovina rovnoběžná s upínáním formy. Může být i šikmá nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší dělicí plochy. Taková koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy. Je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnost v dělicí ploše může způsobit nedovření formy během plnění. To má za následek vznik otřepů nebo zvětšení rozměrů výstřiku ve směru uzavírání formy.

Proto je třeba, aby dělicí plocha:

- Umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy.
- Byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná a dobře slícovatelná.
- Probíhala v hranách výrobku.
- Byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosů a souosost výstřiku, pokud je v obou polovinách formy.
- Stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad.
- U více dělicích ploch volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet.

Pozitivní úlohu hraje dělicí plocha (rovina) při odvodušňování dutin vstřikovací formy a proto i k tomu je třeba přihlédnout. [1]

6.1.2 Dimenzování tvarové dutiny

Tvar a rozměr funkčních dílů, které jsou převážně umístěny v různých částech formy, tvoří po jejím uzavření tvarovou dutinu. Jejich dimenzování je důležitou etapou konstrukčního řešení.

Chybně dimenzované rozměry se projeví v nedodržení rozměrů výstřiku. V případě, že se nejedná o rozměr s předepsanou tolerancí, lze tuto chybu někdy napravit úpravou technologických parametrů, někdy však jen nákladnou korekcí rozměrů formy.

Povrch i rozměry výstřiku jsou tedy dány přesností tvarové dutiny a kvalitou její plochy, která je obvykle složena z tvárnice, tvárníku, jader a tvarových vložek. Přesnost dutin se pohybuje v rozmezí IT 8 až IT 10 a ovlivňují ji tři činitelé:

- smrštění plastu (provozní)
- výrobní tolerance
- opotřebení dutiny formy

Nejčastější příčinou chybného dimenzování rozměru je především nepřesný odhad smrštění daného rozměru v průběhu tváření plastu. Správný odhad velikosti (tzv. provozního) smrštění pro konkrétní rozměry dílu, je někdy obtížné určit, neboť výpočetní smrštění se u složitějších výstřiků jen zřídka kryje s hodnotou uváděnou v tabulkách výrobců plastů. Konstruktor je většinou odkázán na vlastní zkušenosti. Exaktní podklady umožňující přepočet smrštění dávaného výrobcem plastu (ze zkušebních tělísek) na smrštění reálných těles dosud neexistuje.

Velikost smrštění ovlivňuje:

- tvar výstřiku (rozměry, tloušťka stěn atd.)
- konstrukce formy (vtokový systém, poloha ústí vtoku, velikost jeho průřezu, temperace formy atd.)
- technologie vstřikování (tlak, teplota taveniny atd.)

Způsob výroby formy, především dutiny určuje její přesnost i výrobní tolerancí. Při jejím stanovení se vychází z příslušné normy. Opotřebením dutin formy se odhaduje na 10 až 40 % z celkové tolerance výrobku. [1]

Široký rozsah výrobních možností úpravy povrchu formy, obvykle splňují požadavky na jakost povrchu výstřiku. Různé způsoby se mohou vzájemně kombinovat a tak dosáhnout požadovaného účelu. [1]

6.2 Smrštění výstřiku

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a skutečným rozměrem výrobku. Udává se v procentech. Jeho velikost závisí na teplotní roztažnosti plastu a dalších činitelích.

Smrštění se rozděluje do dvou časových fází. Velikost provozního smrštění se stanoví 24 hodin po výrobě součásti a představuje až 90% z jeho hodnoty. Zbytek je dodatečné smrštění, které probíhá poměrně dlouho v závislosti na typu polymeru. Smrštění lze urychlit temperací (stabilizace výrobku).

Velikost smrštění nemusí být ve všech směrech stejná. Asymetrické plnivo (skleněná vlákna), směr proudění taveniny, orientace makromolekul u semikrystalického plastu a jiní činitelé způsobují anizotropii definovanou jako rozdíl smrštění ve směru rovnoběžném a kolmém na směr toku taveniny.

Velikost smrštění je ovlivněna jak vlastnostmi plastu, tvarem výstřiku, technologií vstřikování, ale i vstřikovací formou (vtokovou soustavou a teplotou chlazení). [1]

7 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM

Formy jsou nákladné nástroje sestavené z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiků se od nich vyžaduje dosažení požadované kvality, životnosti a nízkých pořizovacích nákladů. Významný činitel pro splnění těchto podmínek je materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby, určené:

- druhem vstřikovaného plastu,
- přesností výstřiku,
- podmínkami vstřikování,
- vstřikovacím strojem.

Pro výrobu forem se tedy používají takové materiály, které splňují provozní požadavky v optimální míře. Používají se materiály, které mají široký rozsah užitných vlastností a tedy:

- oceli vhodných jakostí
- neželezné slitiny kovů (Cu, Al, atd.)
- ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé atd.)

Oceli jsou daleko nejvýznačnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit. Účelné konstrukce, vhodné vložkování, celková dimenze jednotlivých dílů, tepelné zpracování i způsob zacházení s formou, to všechno má vliv na kvalitu forem.

Avšak i další druhy materiálů jsou předurčeny vzhledem ke svým specifickým vlastnostem na výrobu některých dílů forem.

Úspěšným předpokladem dostatečné životnosti a funkční vhodnosti je také účelná konstrukce, dostatečné rozměry, správné chlazení i údržba. I způsob výroby a tepelné zpracování materiálu může celý výsledek ovlivnit. Nedostatečná kvalita povrchu zhoršuje vyjímání, vyleštěný povrch je rovněž prostředkem k ochraně proti korozi atd. Z těchto požadavků vyplývají i nároky na čistotu oceli. [2]

7.1 Požadované vlastnosti ocelí

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci. Proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, z kterého budou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci, s ohledem na opotřebení a životnost.

Od použitých materiálů na formy se vyžaduje především:

- dostatečná mechanická pevnost
- dobrá obrobiteľnosť

Z hlediska technologie výroby výstřiků má ještě materiál funkčních dílů zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury, která je dána:

- dobrou leštitelností a obrusitelností
- zvýšenou odolností proti otěru
- odolností proti korozi a chemickým vlivům plastu
- vyhovující kalitelností a prokalitelností
- stálostí rozměrů a minimálními deformacemi při kalení
- vhodnými fyzikálními vlastnostmi. [2]

7.2 Používané druhy ocelí

Z širokého sortimentu jakosti ocelí se současně pro výrobu forem používají následující skupiny:

- oceli konstrukční k použití v přírodním i zušlechtěném stavu
- oceli k snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechtování
- oceli uhlíkové k zušlechtování
- oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností a odolností proti otěru
- oceli k nitridování
- oceli antikorozi, používané při zpracování plastů, které chemicky ovlivňují ocel

II. PRAKTICKÁ ČÁST

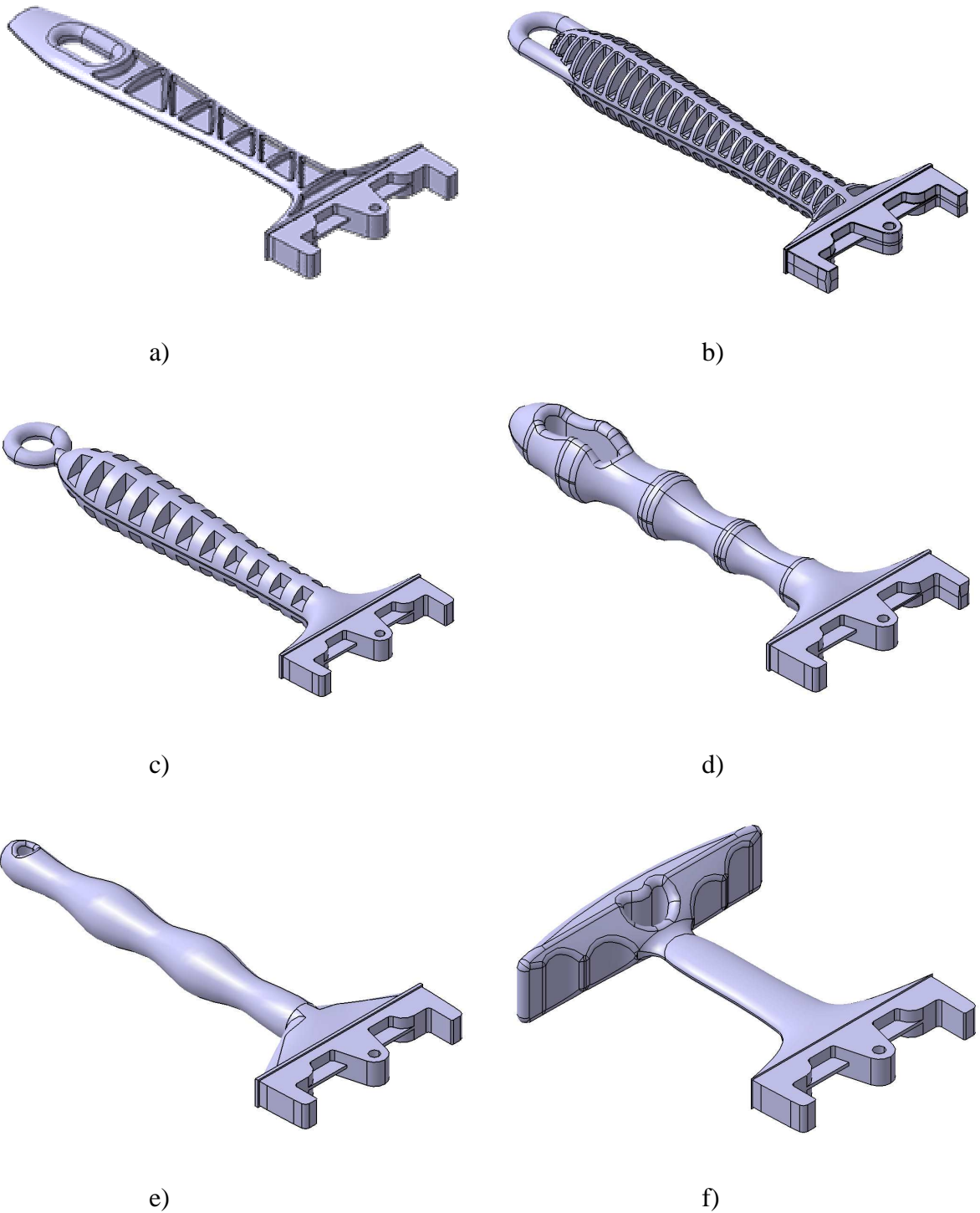
8 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- vypracovat literární studii na dané téma
- navrhnout nový tvar držadla plochého štětce a nakreslit model ve 3D v programu CATIA V5
- provést konstrukci sestavy vstřikovací formy ve 3D v programu CATIA V5
- nakreslit 2D sestavu vstřikovací formy
- provést tokovou analýzu výstřiku v programu Moldflow Plastics Insight 6.0

9 NÁVRH NOVÉHO TVARU DRŽADLA PLOCHÉHO ŠTĚTCE

Bylo navržnuto šest nových tvarových řešení rukojetí (držadel).

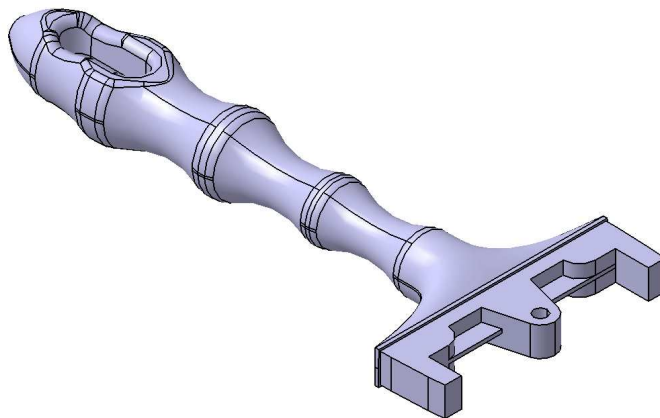


Obr. 20. Návrhy nových tvarových řešení držadel plochého štětce

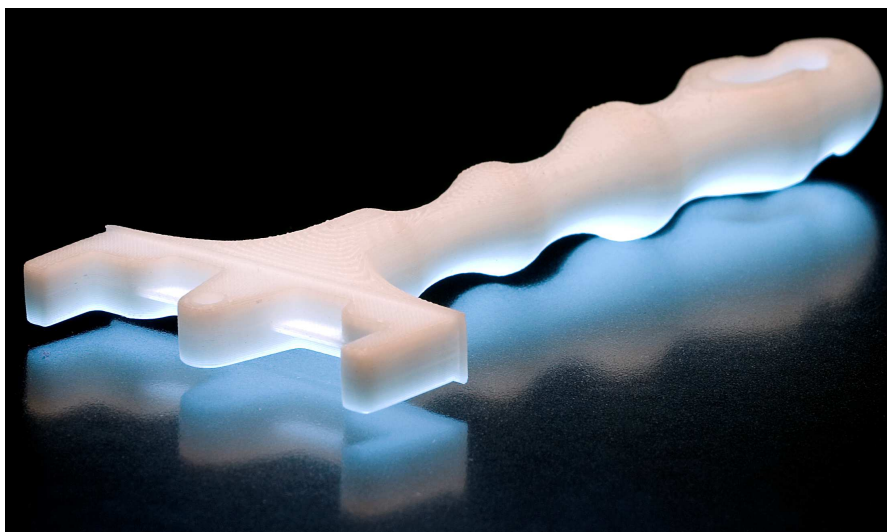
a) 1. návrh, b) 2. návrh, c) 3. návrh, d) 4. návrh, e) 5. návrh, f) 6. návrh

9.1 Charakteristika výrobku

Jedná se o držadlo plochého štětce, tedy o výrobek, který je nedílnou součástí natíracího štětce. Rukojeť je vyrobena z ekonomických důvodů z recyklovaného polypropylenu do kterého je přidáno 1% nadouvadla. Po konzultaci jednotlivých návrhů s představiteli fy. SPOKAR byl vybrán návrh č.4. (obr. 21), který splňoval jak hledisko designu, tak i funkčnosti a praktičnosti. Návrh byl poté ještě upraven. Úpravy se týkaly především zeštíhlení celého držadla. Aby se zjistilo zda výrobek splňuje také požadavky ergonomie, byl pomocí technologie rapid-prototyping na stroji SST 768 připraven skutečný model držadla z materiálu ABS, což umožňovalo posouzení jeho vhodnosti (obr. 22). Technické údaje a foto stroje jsou součástí přílohy (PI).



Obr. 21. Držadlo plochého štětce



Obr. 22. Foto držadla vyrobeného pomocí techn. Rapid - prototyping

10 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Ke konstrukci vstřikovací formy bylo použito konstrukčního programu CATIA V5 R15 v kombinaci s normáliemi HASCO. Elektronický katalog HASCO 3D Universal Module V9.0 nabízí parametrické modely jednotlivých normálií, počínaje deskami až po izolační desky, či šrouby. Je tedy velmi výhodné využívat těchto parametrických normálií, protože dojde k významnému zkrácení doby potřebné ke konstrukci. Normálie lze také s výhodou použít při samotné výrobě formy, čímž dojde opět ke zkrácení výrobního času. Další velkou výhodou je nižší cena mnohých výrobků od výrobce těchto normálií vstřikovacích forem v důsledku sériovosti oproti kusové výrobě. S ohledem na velikost a násobnost výstřiku se volila velikost jednotlivých rozměrů desek vstřikovací formy.

10.1 Volba násobnosti vstřikovací formy

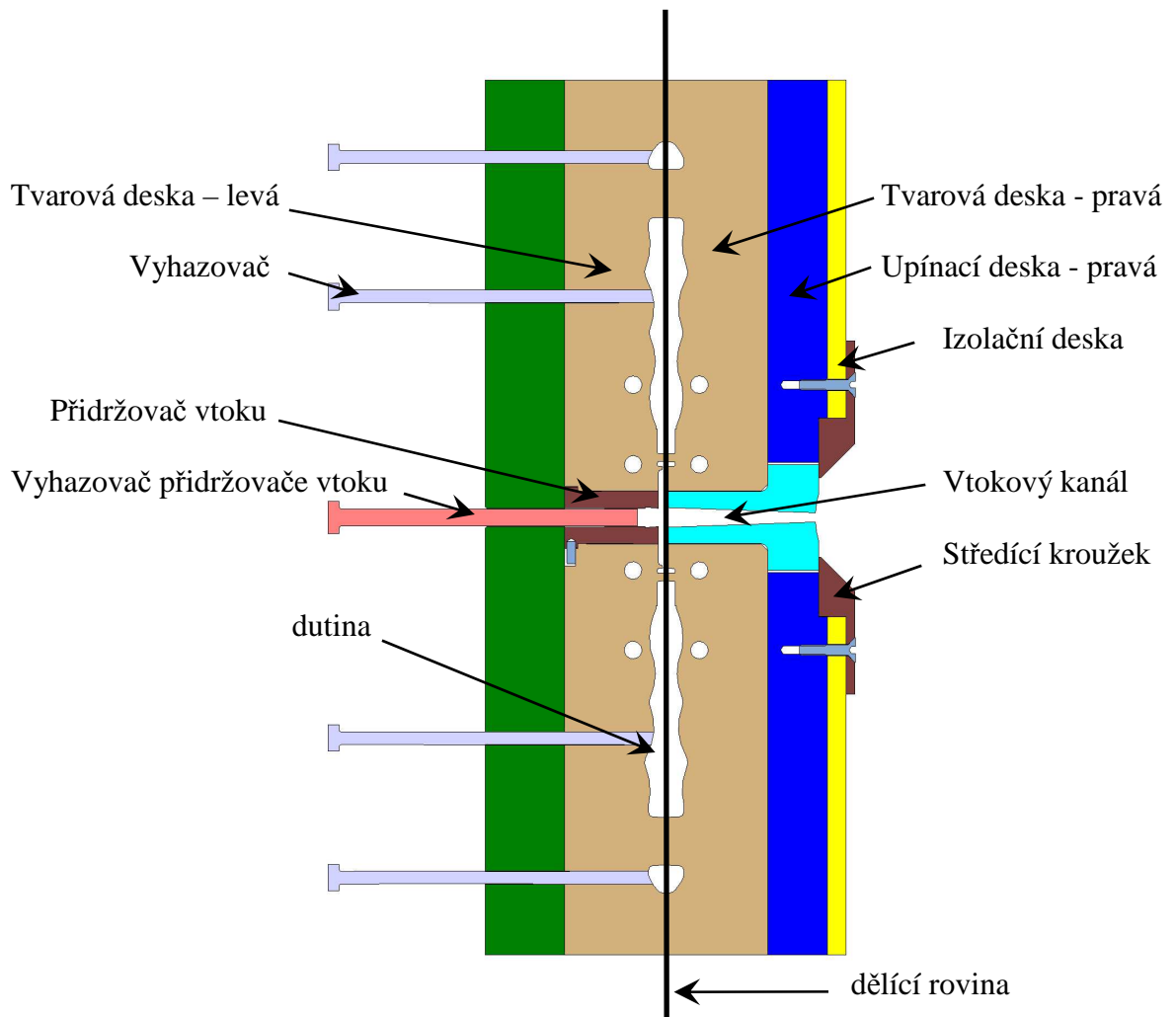
Násobnost vstřikovací formy je založena na několika aspektech. Jednak se jedná o přesnost výstřiku, požadované množství, velikost a kapacita vstřikovacího stroje, ekonomičnost výroby. V podstatě platí pravidlo, že u velmi přesných výstřiků se volí násobnost co nejmenší a u velkorozměrových nebo tvarově složitých výstřiků se volí jednonásobná vstřikovací forma.

V případě konstrukce vstřikovací formy na výrobu držadel štětce se bude jednat o šestinásobnou formu, protože to je jeden z hlavních požadavků zadavatele. Důvodem je předpokládaná série 500.000 ks.

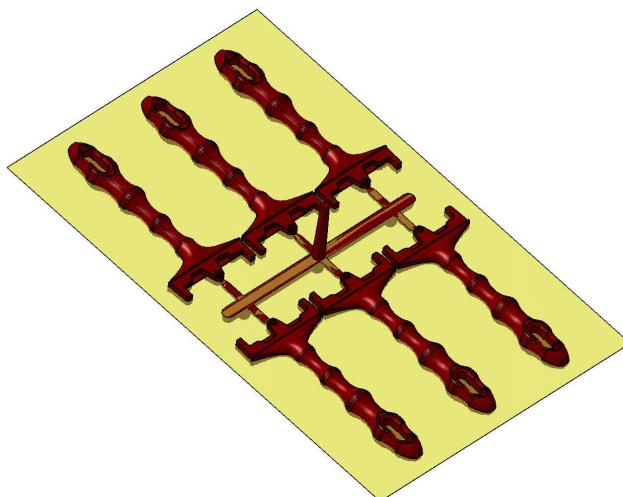
10.2 Zaformování výstřiku

Nejdůležitější při návrhu dutiny formy, tedy zaformování, je správné určení polohy dělící roviny. Zaformování vychází z konstrukčního řešení vyráběného dílu. V tomto případě je poloha dělící roviny zřejmá z tvaru výrobku (obr. 23). Zaformování výstřiku bylo konstruováno tak, aby výstřik po otevření formy zůstal na pohyblivé části vstřikovací formy (levá strana formy) až po dobu, kdy bude vyhozen z dutiny formy vyhazovači. Aby výstřik zůstal na pohyblivé straně formy je výstřik ve své levé části (myšleno vzhledem k dělící rovině formy) na příslušných plochách opatřen úkosy menšími než-li na straně pravé. Hodnoty těchto úkosů jsou 1° pro levou část a 2° pro pravou část výstřiku.

Výstřik je dále nutno opatřit i úkopy z důvodu snížení vyhazovací síly, která působí na výstřik, při jeho vyhození z dutiny. Důvodem je skutečnost, že při chládnutí výstřiku dochází k jeho smrštění na tvárník.



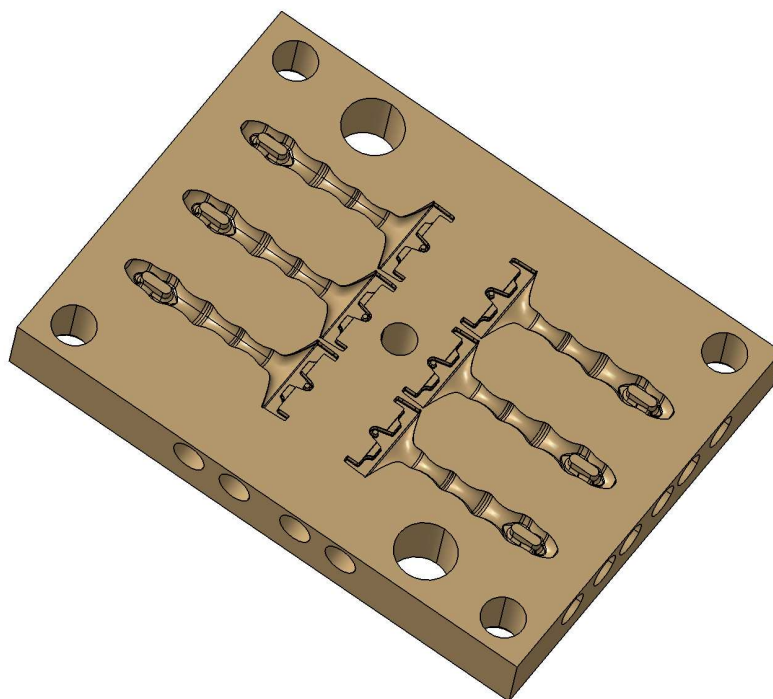
Obr. 23. Zaformování výstřiku



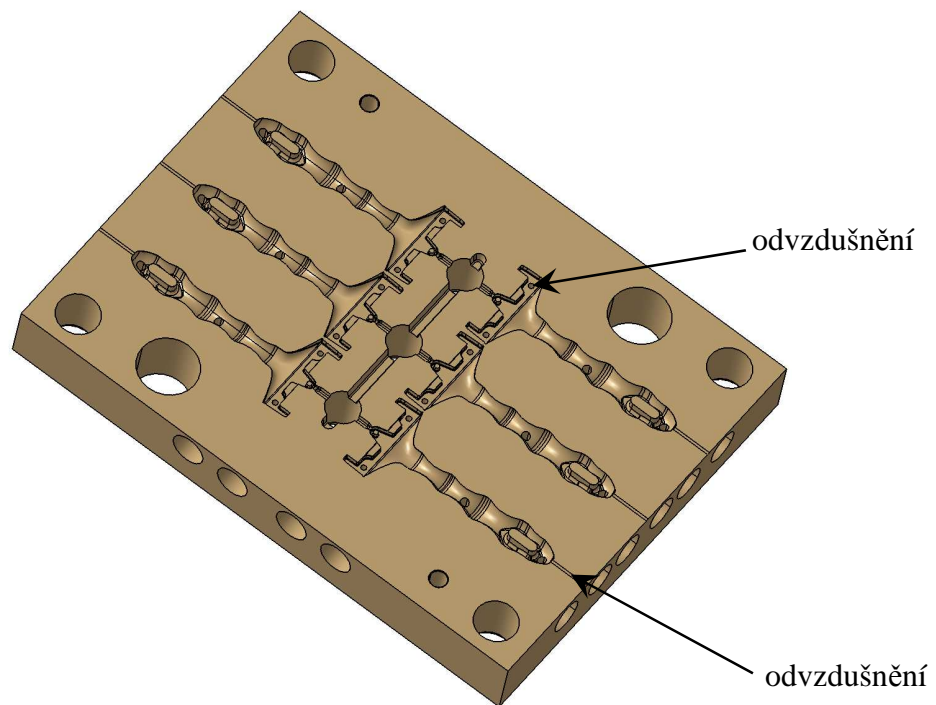
Obr. 24. Poloha dělicí roviny

10.3 Tvarové díly

Z důvodu velikosti celého výstřiku (6-ti násobný) jsou tvarové dutiny vyrobeny přímo do tvarových desek. Dutina formy je zvětšena o hodnotu smrštění polymeru. Hodnota smrštění materiálu (recyklovaný PP + 1% nadouvadla) ze kterého se budou vyrábět držadla byla volena po konzultaci 1,5%. Rozměry tvarových desek jsou 296 x 396 x 46 mm. Desky jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 512 a dále tepelně upraveny na tvrdost 52-54 HRc.



Obr. 25. Tvarová deska pravá (tvárnice)



Obr. 26. Tvarová deska levá (tvárník)

10.4 Odvzdušnění

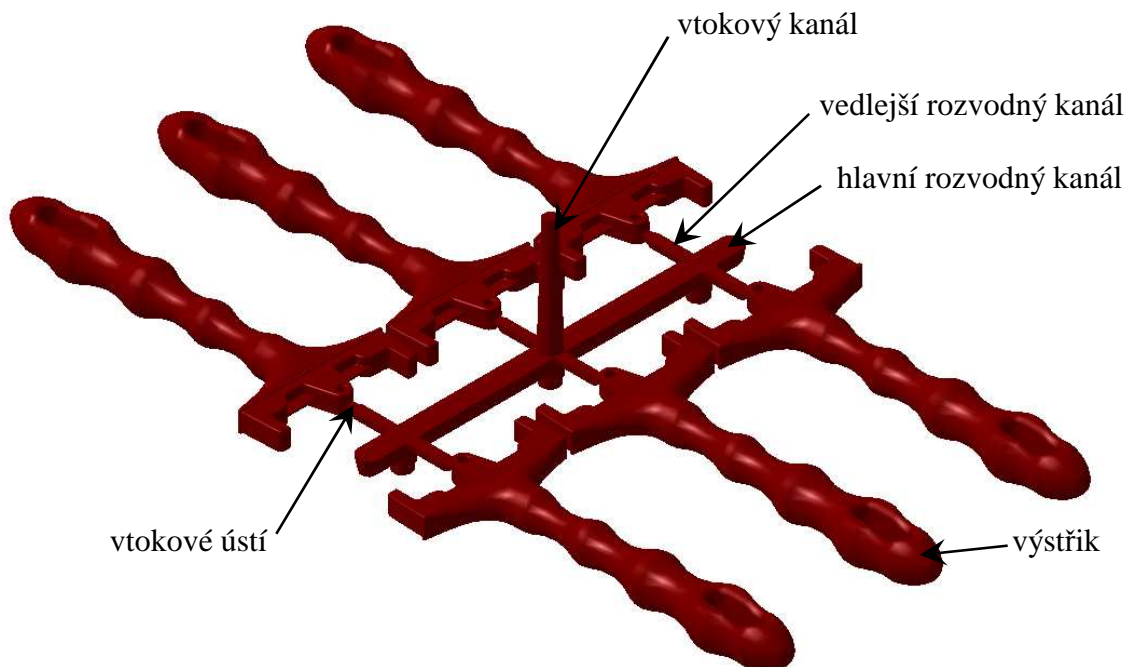
Při zaformování výstřiku je třeba brát zřetel na stlačování vzduchu v dutině formy vlivem plnění dutiny roztaveným polymerem. Čelo taveniny stlačuje vzduch v dutině, čímž se ohřívá na teplotu, kdy může dojít v krajním případě až k degradaci polymeru. To má za následek jak tvarové, tak vzhledové vady výstřiku. Na základě provedení předběžné tokové analýzy v programu Moldflow Plastics Insight a zjištění vzniku vzduchových kapes (air traps) se navrhnul systém odvzdušnění tvarové dutiny. V tomto případě je realizováno pomocí vůle mezi vyhazovači a tvarovou deskou. Zde je hodnota vůle v uložení 0,03 mm. Dalším místem odvzdušnění jsou drážky v dělicí rovině (obr. 26), které mají hloubku také 0,03 mm.

10.5 Vtokový systém

Jedná se šestinásobnou vstřikovací formu se studeným vtokovým systémem (obr. 27). Studená vtoková soustava se skládá z vtokové vložky, hlavních a vedlejších rozvodných kanálů, vtokového ústí a přidržovače vtoku. Vtoková vložka je umístěna v pravé straně vstřikovací formy, zbytek celé soustavy ve straně levé.

Hlavní i vedlejší rozvodný kanál mají lichoběžníkový průřez. Hlavní (primární) rozvodný kanál má poloměr zaoblení $R = 1$ mm, hloubku 7 mm a úhel rozevření 20° . Vedlejší nebo-li sekundární rozvodný kanál je dvojího druhu. Důvodem je vyváženost vtokové systému. Vedlejší rozvodný kanál, kterým jsou plněny krajní držadla má poloměr zaoblení $R = 1$ mm, hloubku 3,5 mm a úhel rozevření 20° . Vedlejší rozvodný kanál, kterým jsou plněny prostřední držadla má poloměr zaoblení $R = 1$ mm, hloubku 2,3 mm a úhel rozevření 25° . Vtokové ústí bylo voleno jako tunelové.

Vtokovou vložku je třeba vyrobit dle požadovaných rozměrů z nástrojové oceli 19 512 a zakalit na tvrdost 52-54 HRC. Přidržovač vtoků je normálí HASCO s označením Z53_24x46. Musí být zajištěn válcovým kolíkem (ISO 8734 $\phi 4 \times 10$) proti pootočení. Tyto přidržovače jsou v sestavě použity tři.



Obr. 27. Studný vtokový systém

10.6 Vyhazovací systém

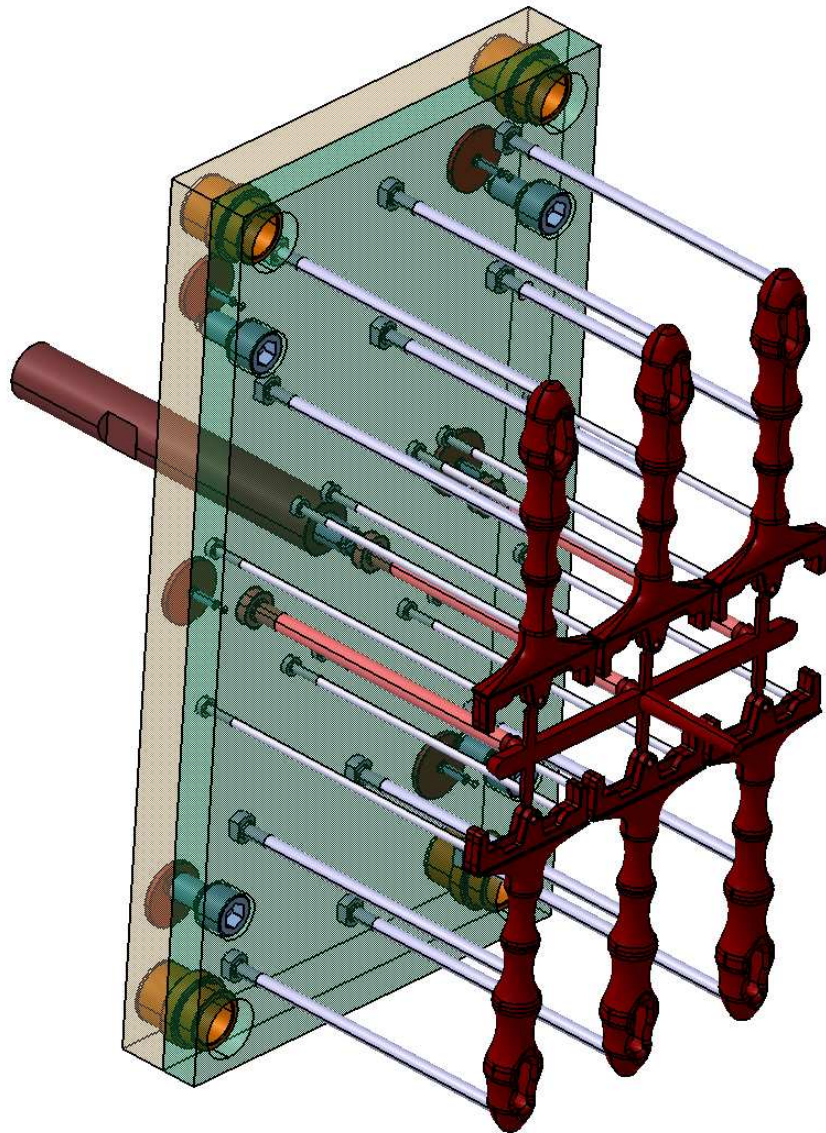
Po naplnění dutiny formy se po určitém čase forma otevře a dochází k vyhození výstřiku do prostoru pod vstřikovací formu. Vyhození se realizuje pomocí mechanického systému s dvaceti sedmi vyhazovači. Vyhazovače jsou ukotveny ve vyhazovacích deskách, které jsou vzájemně spojeny šrouby. Tyto desky jsou ovládány pomocí táhla (Z02_24x160), které je spojeno se strojem. Mezi deskami jsou vodící pouzdra, které spolu s vodícími čepy (ty jsou ukotveny v levé upínací desce) dokonale vedou celou vyhazovací soustavu.

Počet a rozmístění vyhazovačů musí zaručit bezpečné vyhození výstřiku. V této koncepci je použito na jeden výstřik čtyř vyhazovačů ve třech typech. Prvním z nich je vyhazovač o průměru 4 mm a délce 149 mm. Tyto vyhazovače jsou dva a jsou umístěny v horní části držadla. Dále jsou použity vyhazovače o průměru 6 mm v délkách 140 mm a 146 mm. K vyhození vtokové soustavy bylo použito tří vyhazovačů o průměru 8 mm a délce 140 mm. U vyhazovačů je nutná úprava délky na požadované rozměry. U některých vyhazovačů je nutná úprava tvaru čela tak, aby jejich stykové plochy kopírovaly tvar výrobku.

Vyhazovače jsou zajištěny proti pootočení. Způsob zajištění je tvarovým stykem a to vybroušeným rovinným ploch na stranách, kde se vyhazovač upíná.

Je nutné dbát zvýšené pozornosti na zdvih vyhazovačů, aby došlo k bezproblémovému vyhození výstřiku. Výška výstřiku je v tomto případě 14 mm. Maximální zdvih vyhazovacího systému je u této konstrukce 54 mm, tudíž je tento požadavek naplněn.

Jako materiál pro výrobu desek vyhazovacího systému (opěrná, kotevní) bude použita konstrukční ocel 11 600, přičemž opěrná deska bude dále kalena na tvrdost 52-54 HRC. Důvodem je odolnost proti otláčení. Veškeré komponenty (vodící pouzdra, vyhazovače, opěrné kroužky, táhlo, šrouby) jsou normáliemi, které nabízí ve svém sortimentu firma HASCO. Opěrná deska je opatřena šesti dorazovými kroužky (tzv. dosedkami) (Z55_28x3), aby se vyhazovací deska neopírala celou svojí plochou o upínací desku. Celá sestava je zobrazena na obr. 28.



Obr. 28. Vyhazovací systém

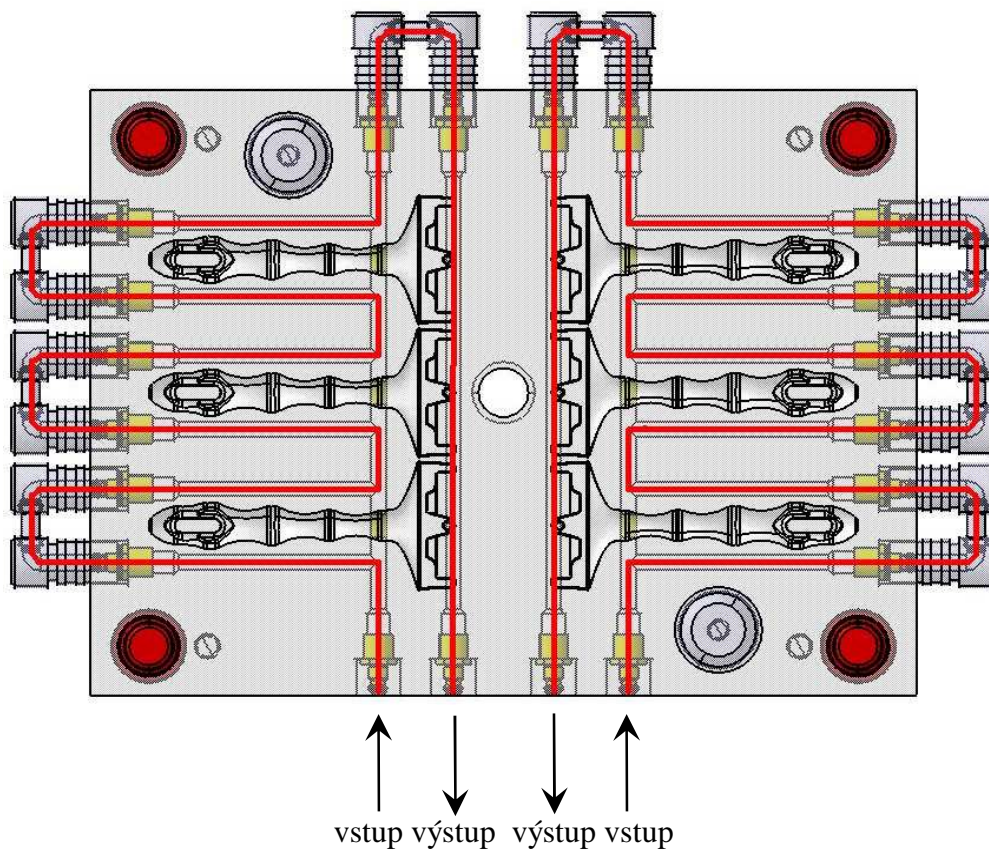
10.7 Chladicí systém

Chladicí systém se skládá ze čtyř chladících okruhů. V pravé (pevné) straně formy (obr. 29) jsou dva a v levé (pohyblivé) straně (obr. 30) vstříkací formy jsou také dva chladící okruhy. Chladící okruhy jsou stejné, jen vůči sobě zrcadlově pootočené. Toto řešení vyplývá z celého konstrukčního řešení vstříkovaného výrobku a hlavně jeho zaformování (tvar výrobku, vtokový systém).

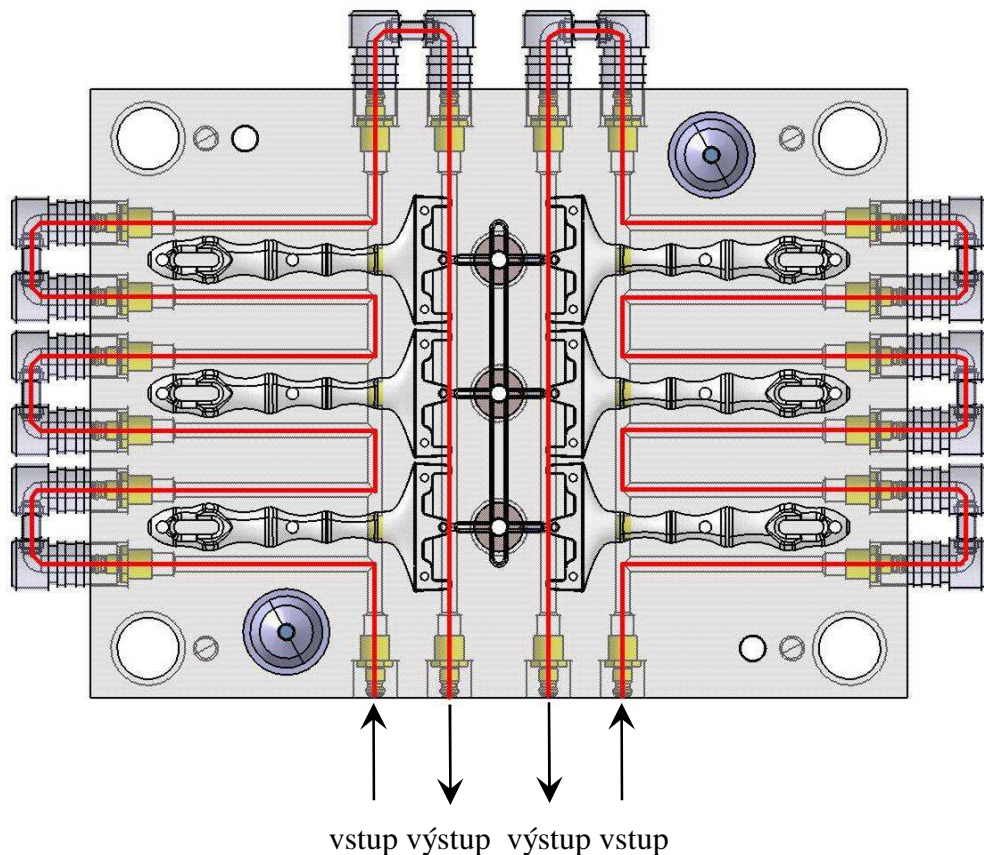
Chlazení je realizováno pomocí soustavy vrtaných kanálů ve tvarových deskách, které mají kruhový průřez o průměru 8mm. Požadované dráhy toku kapaliny chladicím systémem dosáhneme použitím tzv. ucpávek (Z942_8) a jejich vhodným umístěním. Každý

okruh má na svém vstupu i výstupu koncovku (Z811_9_14x1-5) rychlospojky pro snadné, rychlé a bezpečné spojení resp. rozpojení s hadicí, která přivádí a odvádí chladicí médium. Z důvodu nedostatku místa bylo nutné použít tzv. přemostění při přechodu kapaliny z jednoho kanálu do druhého. K tomu bylo opět využito normálie HASCO (Z805_13_36).

V chladícím systému bude cirkulovat jako chladicí médium voda.



Obr. 29. Chladící okruh v pravé (pevné) části vstřikovací formy



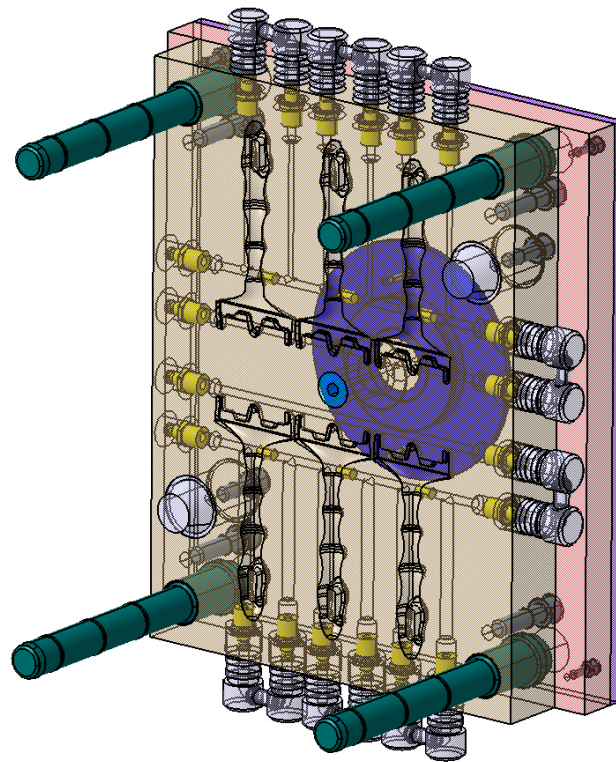
Obr. 30. Chladicí okruh v levé (pohyblivé) části vstřikovací formy

10.8 Rám, vodící a upínací elementy, manipulační části

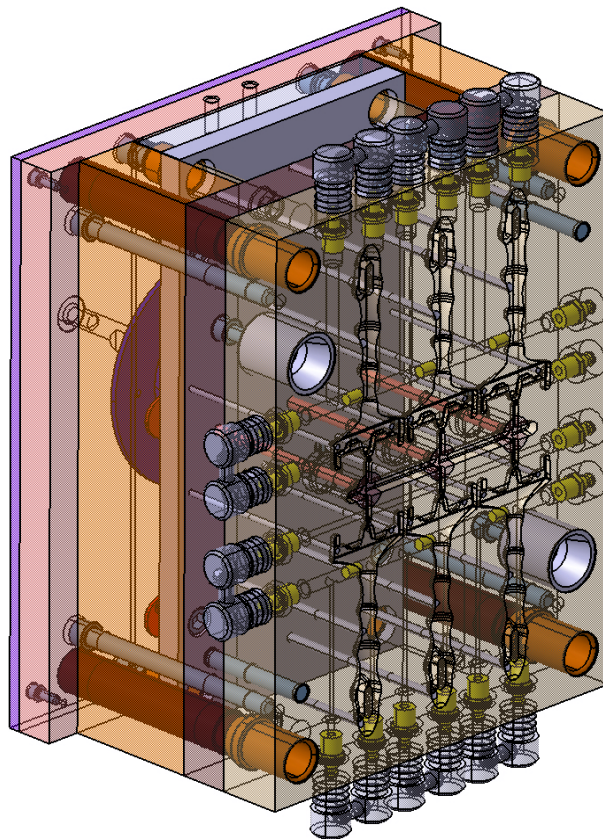
Forma je konstruována pomocí normalizovaných dílů od firmy HASCO. Počínaje deskami vstřikovací formy, přes vodící elementy až po kolíky a šrouby. Všechny tyto díly jsou v nabídce sortimentu HASCO.

Základním rozměrem jsou rozměry upínacích desek (346 x 396 mm). Tloušťky desek jsou voleny s ohledem na velikost výstřiku, pevnost, volbu chladicího systému, požadovaný zdvih při vyhazování výstřiku a v neposlední řadě na nabídku normalizovaných tloušťek všech desek ze kterých se forma skládá.

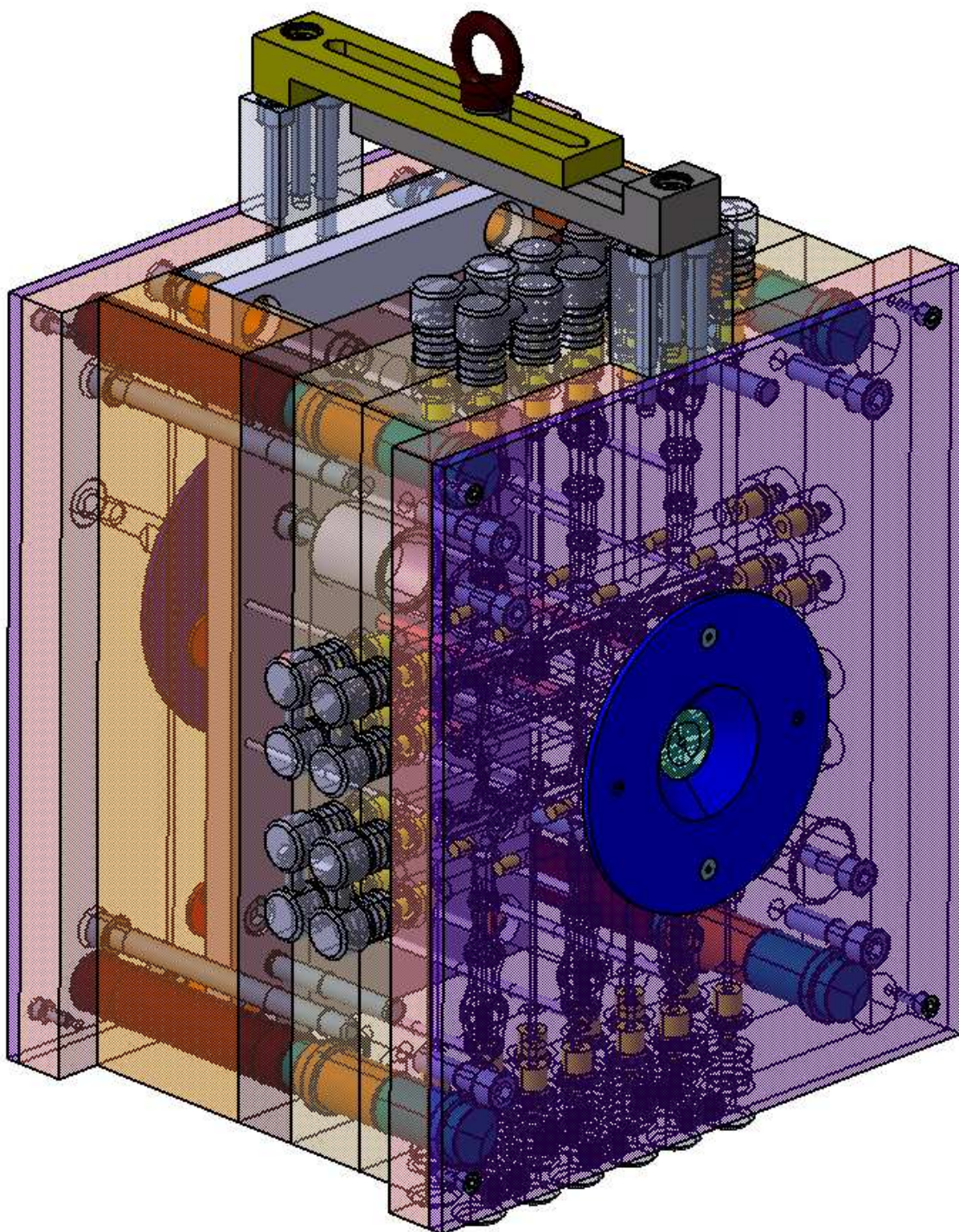
Vstřikovací forma je vedena pomocí čtyř vodících sloupů (Z00_46_24x165), které jsou umístěny v rozích formy a čtyř vodících pouzder (Z10_46_24). Jednotlivé desky jsou vzájemně mezi sebou vystředěny středícími trubkami (Z20_30x140), vodícími pouzdry, středícími kolíky (ISO 8734 ϕ 12x80) a sešroubovány pomocí šroubů M12 s válcovou hlavou (ISO 4762). Vodící sloupy jsou umístěny v pravé straně vstřikovací formy, středící trubky a vodící pouzdra v levé straně vstřikovací formy.



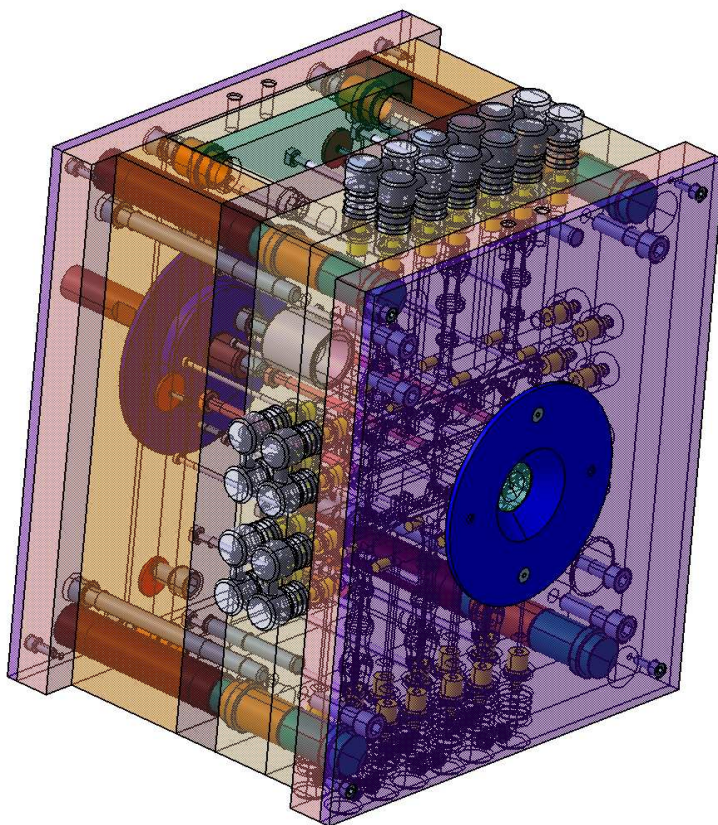
Obr. 31. Pravá (pevná) část vstřikovací formy



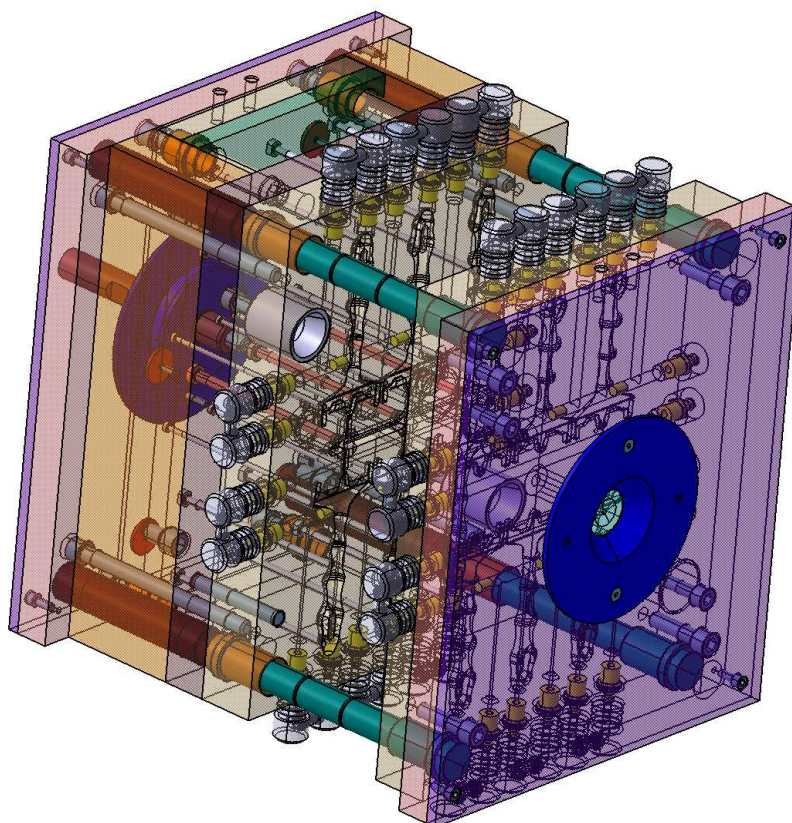
Obr. 32. Levá (pohyblivá) část vstřikovací formy



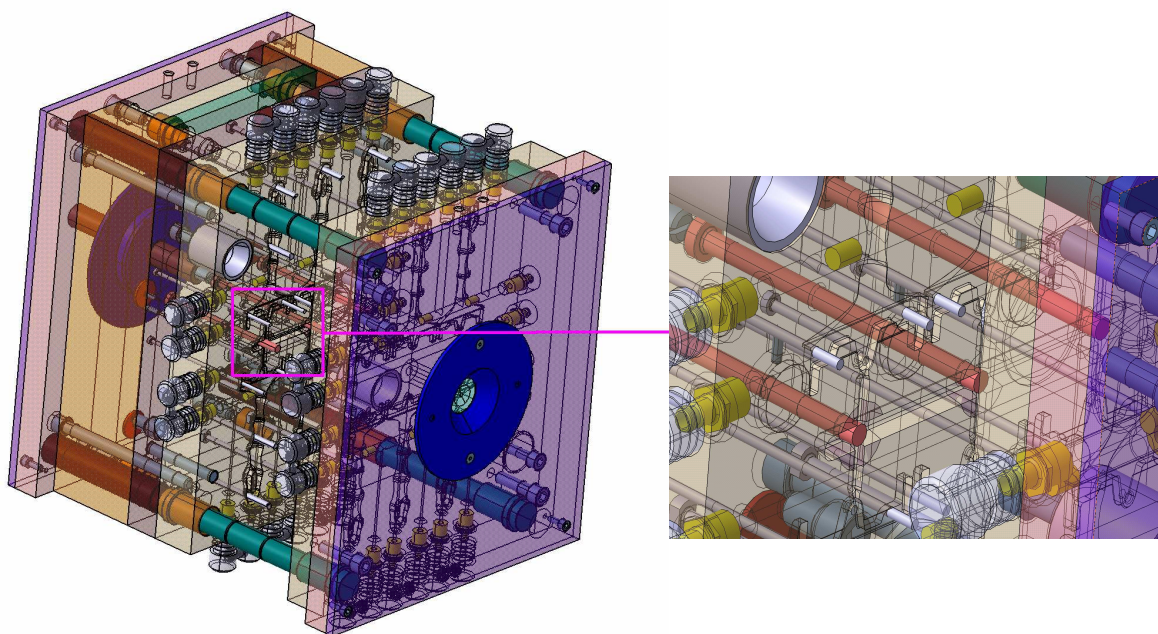
Obr. 33. Parametrický pohled sestavy vstřikovací formy



Obr. 34. Uzavřená vstřikovací forma



Obr. 35. Otevřená vstřikovací forma

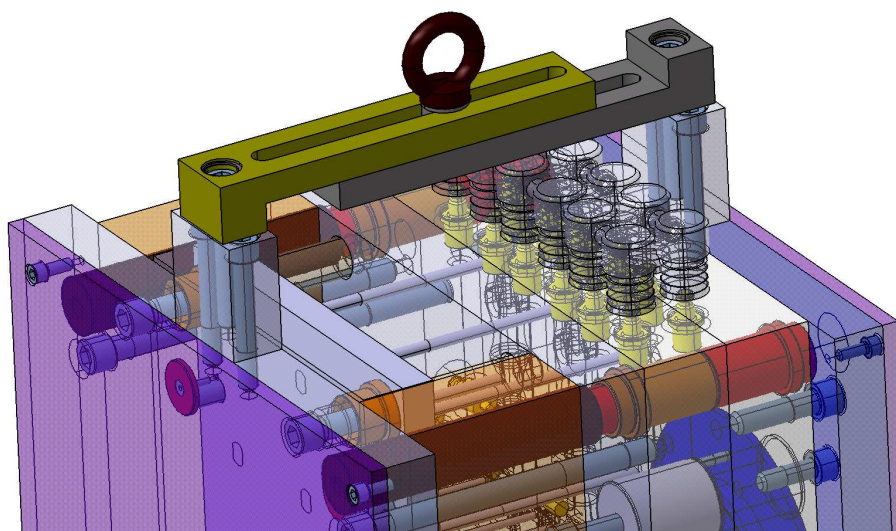


Obr. 36. Vyhození výstřiku

Forma je vybavena kvůli manipulaci také nosičem (Z70_2) (obr. 37). Manipulace se bude provádět pomocí jeřábu.

Držák se připevní na upínací desky vstříkovací formy. Protože je na vstříkovací formě řešen chladicí systém pomocí přemostění, tak bylo nutné použít distančních kostek.

Forma je upnuta ke vstříkovacímu stroji za upínací desky pomocí upínek.



Obr. 37. Nosič vstříkovací formy

10.9 Vstřikovací stroj

Pro vhodnou volbu vstřikovacího stroje jsou rozhodujícími požadavky na toto výrobní zařízení dostatečně velká uzavírací síla, schopnost vstříknout požadované množství taveniny do dutiny formy, možnost upnout novou formu (myšleno z hlediska velikosti rozměrů formy).

Ve společnosti SPOKAR mají k dispozici vstřikovací stroj s označením SK 1600-810 na kterém se bude případně realizovat výroba nově navrhnutých držadel. Foto reálného stroje z provozu je vidět na obr. 38.

Nejdůležitější parametry tohoto vstřikovacího stroje jsou uvedeny v Tab. IV.



Obr. 38. Vstřikovací stroj SK 1600 - 810

Tab. IV. Parametry vstříkovacího stroje SK 1600 - 810

Uzavírací jednotka	
Uzavírací síla	1600 kN
Rozměry upínacích desek	450 x 450 mm
Minimální výška formy	160 mm
Maximální otevření	450 mm
Maximální vyhazovací síla	56 kN
Maximální posuv vyhazovačů	160 mm
Vstříkovací jednotka	
Vstříkovací tlak	1830 bar
Průměr šneku	55 mm
L/D poměr	20
Maximální vstříkovaný objem	440 cm ³

11 TOKOVÁ ANALÝZA PROCESU

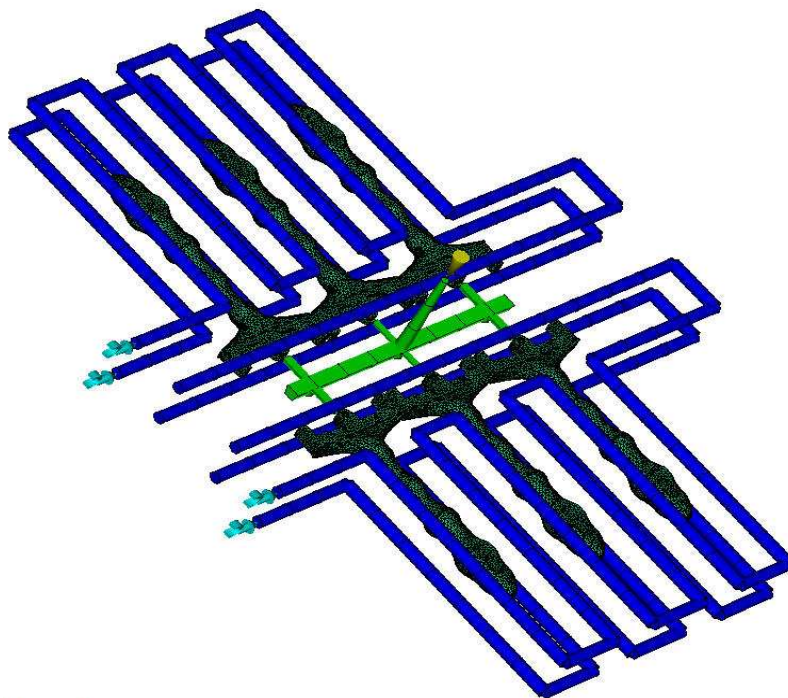
Pro získání přehledu o vstřikovacím procesu (čas plnění, deformace, průběh tlaku, uzavírací síly, délka procesu) výroby držadel je vhodné vykonat technologickou analýzu. K simulaci procesu vstřikování bylo využito konečně prvkový software s názvem Moldflow Plastics Insight 6.0.

11.1 Příprava modelu

Nejdříve je nutno vytvořit 3D model. K tomu byl využit software CATIA V5. Takto vytvořený model musí být zbaven všech technologických sražení a zaoblení.

Pak se tento model exportuje do programu Moldflow Plastics Insight 6.0, kde se na něm vytvoří síť (trojúhelníková), čímž je jednoznačně definován povrch dílu.

Následně se začnou definovat další parametry jako jsou vtokový systém, chladicí soustava, volba vstřikovaného polymeru a procesní podmínky. Vtokový systém a chladicí kanály jsou do programu Moldflow Plastics Insight 6.0 importovány ve formě čar z programu CATIA V5. Poté se již v tomto programu nadefinují požadované rozměry a jiné důležité vstupní hodnoty. Nakonec se vygeneruje síť a tím máme jednoznačně zadány parametry procesu.



Obr. 39. Model připravený k tokové analýze

11.2 Nastavení procesních podmínek

Jak již bylo zmíněno v tomto případě se na základě požadavku zadavatele bude jednat o šesti násobnou vstřikovací formu se studeným vtokovým systémem. Materiálem, který bude použit pro výrobu držadel je recyklovaný PP + 1% nadouvadla. Jelikož se tento materiál nenachází v databázi plastů, která je k dispozici ve výše uvedeném programu, bylo na základě konzultace se zadavatelem, který s přihlédnutím na výrobní vybavení a zkušenosti zaměstnanců společnosti SPOKAR, rozhodnuto a smluveno, že se tento materiál nahradí PP s označením MOPLEN EP548T, který již v databázi je obsažen.

V tomto programu byla nastavena analýza typu „cool + flow + warp“ (chlazení + tečení + deformace).

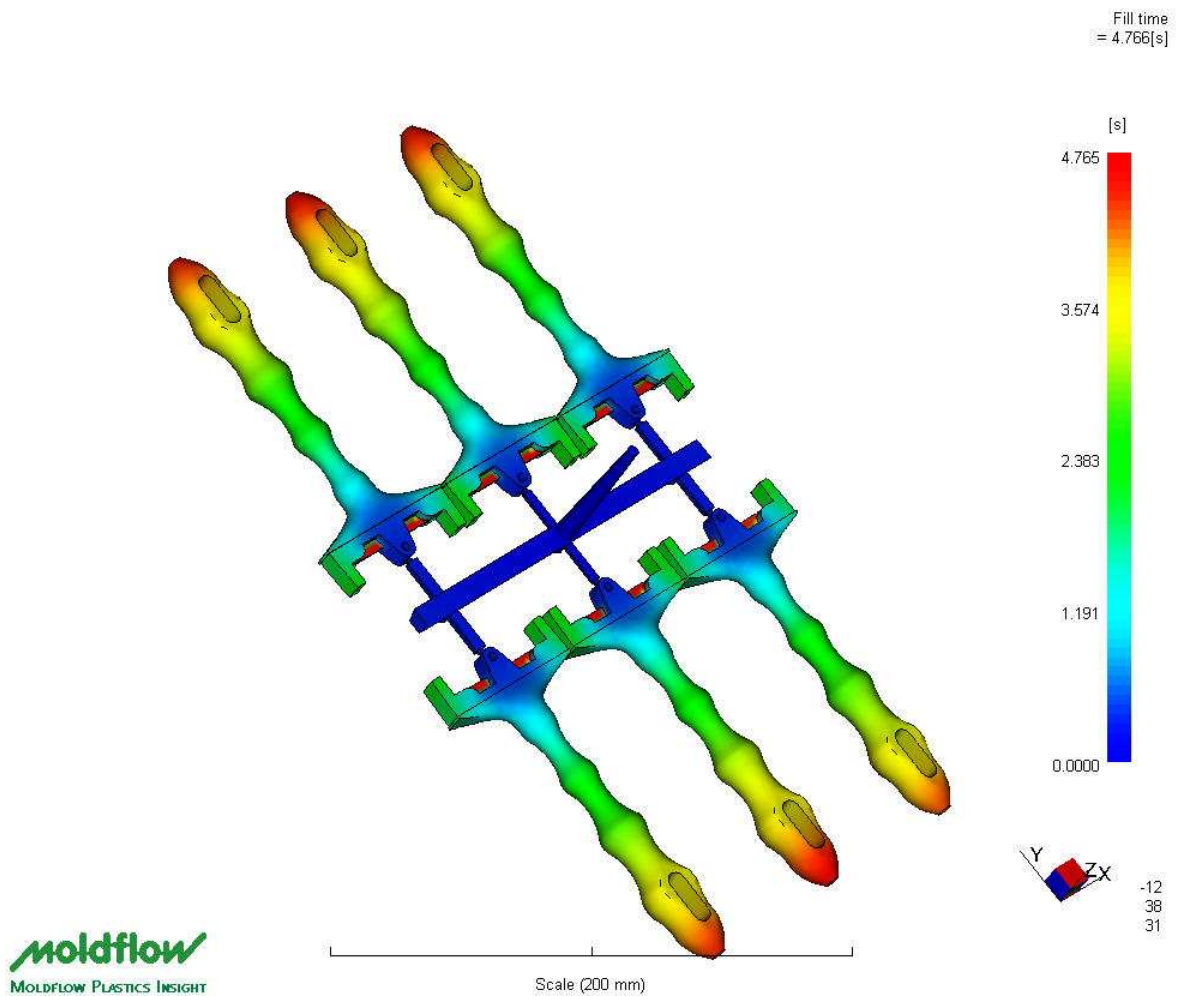
Dále byla nastavena teplota roztaveného polymeru na 240°C a formu temperovat na 60°C. Ostatní podmínky byly nastaveny dle technických údajů vstřikovacího stroje SK 1600 – 810 (uzavírací síla, maximální vstřikovací tlak, průměr šneku, délka šneku atd.).

11.3 Vyhodnocení tokové analýzy

Výsledky z programu Moldflow Plastics Insight 6.0 budou vyhodnoceny v jednotlivých podkapitolách. Výsledky jsou vyobrazeny v grafické podobě, což je z hlediska názornosti a přehlednosti naprosto ideální.

11.3.1 Čas plnění

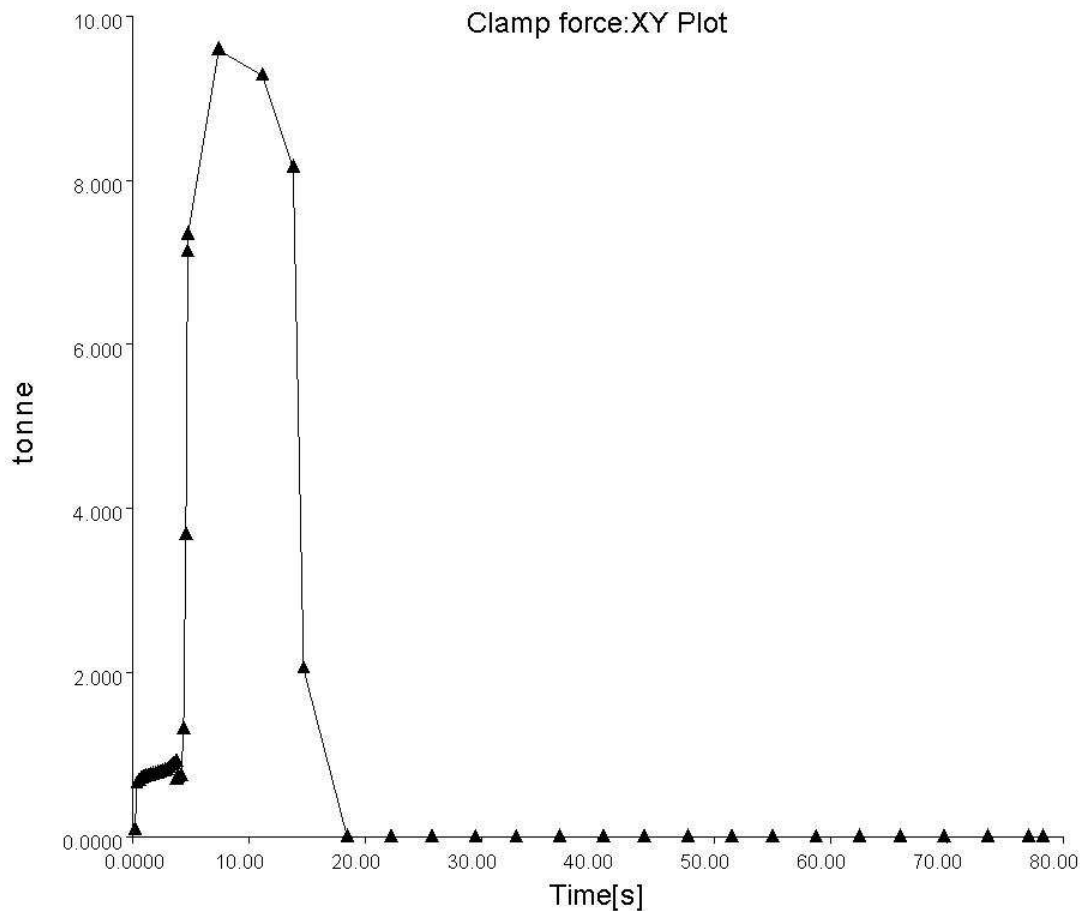
Plnění dutiny v závislosti na čase je vidět na obr. 40. Celý proces plnění dutiny formy trvá 4,765 s. Barevné rozlišení ukazuje, jak se dutina plní roztaveným polymerem v závislosti na čase. Nejpozději dojde k naplnění na konci držadel a žeber (na obr. 40 naznačeny červenou barvou). Bylo nutné, aby celá vtoková soustava byla tzv. vyvážená z důvodu stejného zatečení polymeru do všech dutin ve stejném čase. Toho se dosáhlo úpravou vedlejšího rozvodného kanálu a to zmenšením jeho rozměrů a tedy v důsledku přiškrcením toku.



Obr. 40. Doba plnění dutiny vstříkovací formy

11.3.2 Uzavírací síla

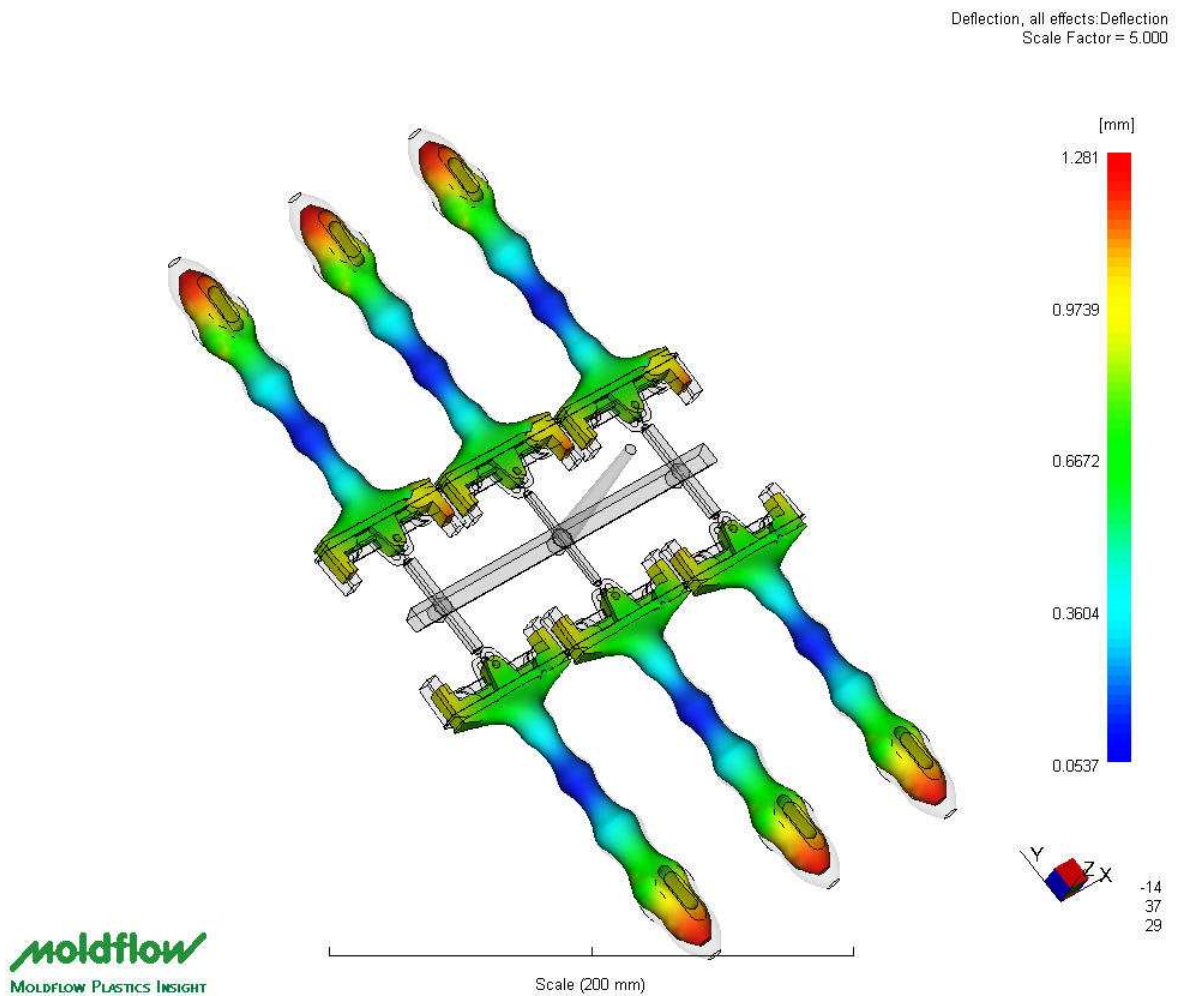
Průběh uzavírací síly v závislosti na čase je vidět na obr. 41. Uzavírací síla stoupá až do bodu přepnutí, což je maximální hodnota uzavírací síly. Reálná hodnota u tohoto výstříku je 9,57 tuny. Po zatuhnutí taveniny ve vtokovém ústí a v celém vtokovém systému uzavírací síla klesá až do nulové hodnoty. Maximální hodnota uzavírací síly musí být menší, než je maximální uzavírací síla vstříkovacího stroje, aby nedošlo k pootevření (tzv. dýchnutí) vstříkovací formy. Vstříkovací stroj SK 1600 – 810 má maximální hodnotu uzavírací síly 160 tun a tedy lze konstatovat, že tento vstříkovací stroj dostatečně splňuje požadavek na velikost uzavírací síly, kterou musí vyprodukovat.



Obr. 41. Průběh uzavírací síly při vstřikování

11.3.3 Deformace výstřiku

Deformace výstřiku je patrná z obr. 42. Na tomto obrázku jsou dobře vidět místa největší deformace. Program Moldflow Plastics Insight 6.0 bere v úvahu deformaci vlivem smrštění, chlazení a orientace. Z těchto vlivů pak vytvoří celkovou deformaci. Při návrhu dutiny vstřikovací formy se uvažovala hodnota smrštění 1,5 %, a tedy o tuto hodnotu se zvětšila. Ve skutečnosti to znamená, že maximální zvětšení o 1,5 % na délce držadla 170 mm je 2,2 mm. Program Moldflow Plastics Insight 6.0 ukázal, že maximální hodnota deformace je 1,281 mm. Hodnoty deformace se liší o cca 0,9 mm, což je způsobeno volbou materiálu v databázi programu, který zcela neodpovídá skutečnému materiálu používanému k výrobě držadel. Jak je vidět, největší deformace výstřiku je v místech nejbližších a nejvzdálenějších od vtokového ústí. Pro lepší názornost je hodnota deformace 5x zvětšena.



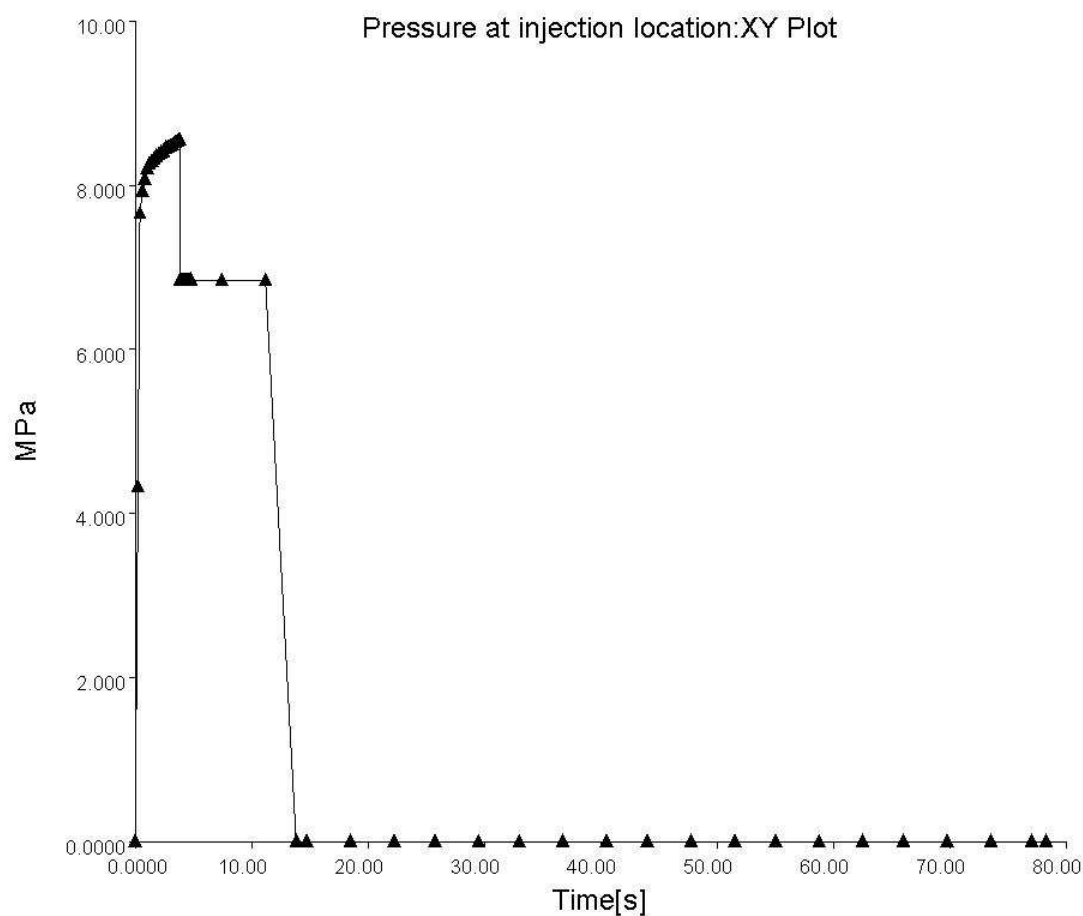
Obr. 42. Celková deformace výstřiku (zvětšeno 5x)

11.3.4 Teplota na čele taveniny

Maximální teplota na čele taveniny v průběhu plnění tvarové dutiny polymerem je v tomto případě 260°C. Dovolená maximální hodnota teploty, kterou nesmíme při procesu překročit, protože by došlo k degradaci materiálu je 260°C. Tato hodnota je udávána výrobcem materiálu použitého při tokové analýze.

11.3.5 Průběh tlaku při procesu vstřikování

Dalším důležitým výsledkem je průběh tlaku při procesu vstřikování v závislosti na čase (obr. 43). Z grafu lze určit maximální hodnotu tlaku při vstřikování, bod přepnutí v čase a průběh dotlaku.



Obr. 43. Průběh tlaku při vstřikování

11.3.6 Teplota chladicí kapaliny v okruhu

Po vyhodnocení analýzy lze pozorovat zvýšení teploty chladicí kapaliny (v chladícím okruhu cirkuluje voda) v chladících kanálech, které jsou vytvořeny ve tvarových deskách. Teplota chladicí vody se zvýšila z 25°C na 25,11°C, což je naprosto nepatrný nárůst teploty.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Při řešení této diplomové práce se vycházelo ze zadaných požadavků. Těmito požadavky byly: 3D návrhy nových tvarových řešení držadel plochého štětce v programu CATIA V5, provést konstrukci 3D sestavy vstřikovací formy v programu CATIA V5 na základě předem stanovených požadavků zadavatele (fa. SPOKAR), nakreslit 2D sestavu vstřikovací formy a provést tokovou analýzu výstřiku v programu Moldflow Plastics Insight 6.0.

V první části tedy bylo navrženo šest nových tvarových řešení, ze kterých si zadavatel vybral jako nejvhodnější návrh č.4. Ten byl následně na základě požadavku zadavatele ještě podroben drobným úpravám, které se týkaly všeobecného zeštíhlení.

Při konstrukci vstřikovací formy bylo využito normálií HASCO. Jedná se o klasickou koncepci sestavy formy, která se skládá ze tří podsestav (pohyblivá strana vstřikovací formy, pevná strana vstřikovací formy a vyhazovací systém), kde forma je vedena a vystředěna pomocí vodících sloupů, kluzných pouzder, trubek a kolíků. Příslušné části jsou pak sešroubovány pomocí šroubů s válcovou hlavou. Jak již bylo uvedeno, zadavatel si kladl podmínku, že vstřikovací forma musí být šesti násobná a to s použitím studeného vtokového systému. Od toho se tedy odvíjela konstrukce vtokového systému, který se skládá z vtokové vložky, hlavních a vedlejších rozvodných kanálů, vtokového ústí a přidržovače vtoku. Vtoková vložka je umístěna v pravé straně vstřikovací formy, zbytek celé soustavy je zaformován na straně levé.

Chladicí systém sestává ze čtyř okruhů, kdy dva okruhy jsou v pravé části vstřikovací formy a zbylé dva v levé. Součástí chladicího systému jsou koncovky, přemostění a ucpávky.

Pro vyhození výstřiku z dutiny formy bylo použito mechanicky ovládaného vyhazovacího systému s dvaceti sedmi vyhazovači, kdy na jeden výstřik (výrobek) připadají čtyři vyhazovače. Vtokový systém je pak vyhozen pomocí tří vyhazovačů. Rozmístění a typ vyhazovačů se volilo tak, aby došlo k bezpečnému vyhození celého výstřiku z tvarové dutiny vstřikovací formy.

Odvzdušnění realizováno pomocí vůle mezi vyhazovači a vyfrézovanými drážkami na příslušných místech.

Společnost SPOKAR disponuje vstřikovacím strojem SK 1600 – 810, který svými parametry naprosto splňuje požadavky na výrobu daného typu výstřiku.

Pro celou konstrukci byl využit program CATIA V5, který je vybaven knihovnou normálí od různých výrobců, a to jak pro 3D návrh nového designu držadla, tak i 3D konstrukci vstřikovací formy. V tomto programu byla také vyhotovena 2D sestava vstřikovací formy včetně kusovníku, která je součástí přílohy.

Pro tokovou analýzu vstřikovacího procesu bylo využito programu Moldflow Plastics Insight 6.0. Při nastavení všech důležitých vstupních parametrů (vtokový systém, chlazení, volba materiálu, procesní podmínky) byly obdrženy důležité podklady nezbytné pro ověření správné funkce navrhnuté vstřikovací formy (např. dokonalé vyplnění dutiny formy taveninou, dostatečně velká uzavírací síla stroje atd.) a v neposlední řadě přehled o celém procesu. Konkrétní výsledky analýzy jsou vyhodnoceny a graficky znázorněny v kapitole 11.3.

ZÁVĚR

V teoretické části této diplomové práce jsou uvedeny poznatky, které se týkají procesu vstřikování a konstrukce vstřikovacího stroje jako výrobního zařízení. Dále je v této části pojednáno o konstrukci vstřikovacích forem jako nástroje pro výrobu plastových dílů a o zásadách při jejich návrhu.

V praktické části se věnuje pozornost návrhu nových tvarových řešení držadel plochého štětce. Bylo navrženo šest variant. Při výběru konečného tvaru byl brán zřetel jak na estetickou část, tak na praktickou využitelnost nového výrobku např. pevnost, možnost čištění, ergonomie.

Samotná vstřikovací forma byla konstruována v programu CATIA V5 s použitím normálií HASCO. Jedná se o šesti násobnou vstřikovací formu se studeným vtokovým systémem.

Celý výstřik byl podroben tokové analýze typu „cool + flow + warp“ (chlazení + tečení + deformace) v programu Moldflow Plastics Insight 6.0. Zjištěné výsledky dokázaly správnou funkčnost návrhu vstřikovací formy. Celá koncepce studeného vtokového systému je navržena tak, že tavenina bezpečně naplní dutinu formy. Dále je z tokové analýzy patrné, že i vstřikovací stroj na kterém se předpokládá výroba nově navržených držadel splňuje všechny požadavky na něj kladené.

Výkres sestavy vstřikovací formy, parametrický model sestavy formy a kompletní toková analýza jsou obsaženy v přílohách P I a P II.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, Ladislav. a Kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. opr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.
- [2] BOBČÍK, Ladislav. a Kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [3] MAŇAS, M., VLČEK, J. *Aplikovaná reologie*. Zlín: UTB, 2001. 144 s. ISBN 80-7318-039-1.
- [4] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [5] KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986. 229 s.
- [6] VESELÝ, Karel. *Polymery – struktura, syntézy, vlastnosti, zpracování*. Brno: Česká společnost průmyslové chemie, 1992. 177 s. ISBN 80-02-00951-7.
- [7] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [8] ŠTĚPEK, J., ZELINGER, J., KUTA, A. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. 637 s.
- [9] JAHSELKA, Miroslav, *Gumárenské a plastikářské stroje*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1974. 572s.
- [10] TOMIS, František, HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*. Brno: VUT, 1985. 278 s.
- [11] DOLEŽAL, Vladimír. *Plastické hmoty*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1965. 293s.
- [12] KOVAČIČ, Ľ., BÍNA, J. *Plasty – vlastnosti, spracovanie, využitie*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1974, 340s.
- [13] BEAUMONT, J. P., NAGEL, R., SHERMAN, R. *Successful injection molding*. Munich: Hanser Publishers, 2002. 362 s. ISBN 3-446-19433-9.
- [14] PÖTSCH, Gerd., MICHAELLI, Walter. *Injection Molding – An Introduction*. Munich: Hanser Publisher, 1995. 195 s. ISBN 1-56990193.

- [15] DYM, B. Joseph. *Injection molds and molding*. I. Title. New York: Van Nostrand Reinhold copany Inc. , 1979, 400s, ISBN 0-442-22223-8.
- [16] *Hasco* – katalog normálií
- [17] *Www.d-m-e.com* [online]. c2007 [cit. 2007-01-10]. Dostupný z WWW: <http://www.dmeeu.com/pages/cms/home.php?str_code=menu_home&language_code=GB>.
- [18] *Www.strack.de* [online]. c2006 [cit. 2007-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.strack.de/>>.
- [19] *Www.hasco.com* [online]. [1990] [cit. 2007-01-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.hasco.com/www-gb/main.html>>.
- [20] REES, H. *Mold engineering*. Munich: Hanser Publishers, 1995. 612 s. ISBN 3-446-17729-9.
- [21] FUH, J.Y.H., et al. *Computer - Aided injection mold design and manufacture*. 1st edition. New York: Marcel Dekker, Inc., c2004. 372 s. ISBN 0-8247-5314-3.
- [22] MENGES, Georg., MICHAELLI, Walter., MOHREN, Paul. *How to Make Injection Molds*. 3rd ed. Munich: Hanser Publisher, 2001. 612 s. ISBN 3- 446-21256-6.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PS	Polystyrén
hPS	Houževnatý polystyrén
SAN	Styren akrylonitril
ABS	Akrylonitril butadien styren
ASA	Akrylonitril styren alkylakrylát
PVC	Polyvinylchlorid
PA	Polyamid
PC	Polykarbonat
LDPE	Nízkohustotní polyetylén
POM	Polyoxymethylén
PETP	Polyethyltereftalát
PBTP	Polybutyltereftalát
PPO	Polyfenylenoxid
CA	Acetát celulózy
CP	Propianát celulózy
CAB	Acetobutyrát celulózy
PUR	Polyuretan
EVA	Ethylenvinylacetát
CaCO ₃	Uhličitan vápenatý – minerální plnivo
SV	Skelné vlákno
PP	Polypropylen
PMMA	Polymethylmetakrylát
T _g	Teplota skelného přechodu
MPa	Megapascal

g	Gram
t	Tuna
kg	Kilogram
HRC	Tvrdość dle Rockwella
IT	Třída přesnosti
mm	Milimetr
°C	Stupeň Celsia
s	Sekunda
N	Newton
kN	Kilonewton
cm ³	Centimetr krychlový

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Vstřikovací cyklus [4].....	12
Obr. 2. Zaplňování dutiny formy taveninou [3].....	13
Obr. 3. Schéma vstřikovacího stroje [4]	14
Obr. 4. Šneková plastikační jednotka [4].....	16
Obr. 5. Uzavírací jednotka s kloubovým uzávěrem.....	17
Obr. 6. Schéma konstrukce vstřikovací formy v řezu a ukázka označování normálií.....	24
Obr. 7. Vtokový systém formy.....	26
Obr. 8. Vtokový kanál.....	27
Obr. 9. Průřezy rozváděcích kanálů	28
Obr. 10. Typy vtokových ústí	29
Obr. 11. Srpkovitý tunelový vtok.....	30
Obr. 12. Přímou vyhřívané trysky [16]	32
Obr. 13. Vytápěný rozvodný blok od firmy HASCO [16].....	33
Obr. 14. Uložení vyhazovače ve formě.....	35
Obr. 15. Schéma temperačních kanálů pro výstřik [2]	37
Obr. 16. Schéma temperace desky [16]	38
Obr. 17. Chlazení tvárnků pomocí spirálových trnů [16]	39
Obr. 18. Chlazení tvárnků pomocí přepážky [16]	39
Obr. 19. Chlazení tvárnku pomocí tepelné trubice [16]	40
Obr. 20. Návrhy nových tvarových řešení držadel plochého štětce.....	50
Obr. 21. Držadlo plochého štětce.....	51
Obr. 22. Foto držadla vyrobeného pomocí techn. Rapid - prototyping	51
Obr. 23. Zaformování výstřiku	53
Obr. 24. Poloha dělicí roviny.....	54
Obr. 25. Tvarová deska pravá (tvárnice).....	54
Obr. 26. Tvarová deska levá (tvárník)	55
Obr. 27. Studený vtokový systém	56
Obr. 28. Vyhazovací systém	58
Obr. 29. Chladicí okruh v pravé (pevné) části vstřikovací formy.....	59
Obr. 30. Chladicí okruh v levé (pohyblivé) části vstřikovací formy	60
Obr. 31. Pravá (pevná) část vstřikovací formy	61

Obr. 32. Levá (pohyblivá) část vstřikovací formy	61
Obr. 33. Parametrický pohled sestavy vstřikovací formy	62
Obr. 34. Uzavřená vstřikovací forma.....	63
Obr. 35. Otevřená vstřikovací forma	63
Obr. 36. Vyhození výstřiku.....	64
Obr. 37. Nosič vstřikovací formy.....	64
Obr. 38. Vstřikovací stroj SK 1600 - 810	65
Obr. 39. Model připravený k tokové analýze.....	67
Obr. 40. Doba plnění dutiny vstřikovací formy	69
Obr. 41. Průběh uzavírací síly při vstřikování	70
Obr. 42. Celková deformace výstřiku (zvětšeno 5x)	71
Obr. 43. Průběh tlaku při vstřikování	72

SEZNAM TABULEK

Tab. I. Hodnoty smrštění termoplastů.....	20
Tab. II. Životnost vstřikovacích forem	25
Tab. III. Kapaliny používané pro temperaci vstřikovacích forem	38
Tab. IV. Parametry vstřikovacího stroje SK 1600 - 810.....	66

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Technické údaje a foto stroje SST 768
- P II Výkresová dokumentace vstřikovací formy
- sestava
- P III CD disk
- 3D model (sestavu) vstřikovací formy provedenou v programu CATIA V5
 - 3D modely nově navržených tvarů držadel provedenou v programu CATIA V5
 - 2D sestavu vstřikovací formy provedenou v programu CATIA V5
 - Tokovou analýzu vstřikovacího procesu provedenou v programu Moldflow Plastics Insight 6.0
 - Diplomové práce – textová část

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÉ ÚDAJE STROJE SST 768

Technické údaje	
Tloušťka struny	<i>0,2540; 0,3302 mm</i>
Pracovní prostor	<i>200x200x250</i>
Hmotnost	<i>128 kg</i>
Materiál struny	<i>ABS</i>

