

Návrh vstřikovací formy pro díl interiéru automobilu

Bc. Petr Krejča

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Krejča**

Osobní číslo: **T15336**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro díl interiéru automobilu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Nakreslete model plastového dílu ve 3D.
3. Nakreslete sestavu vstřikovací formy zadaného dílu.
4. Vypracujte analýzu.
5. Nakreslete 2D sestavu vstřikovací formy.



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vojtěch Šenkeřík, PhD.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2017

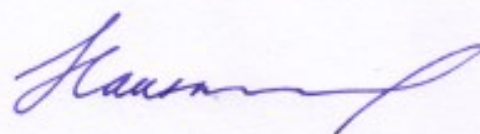
Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2017

Ve Zlíně dne 23. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Petr Krejča

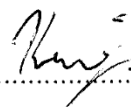
Obor: Výrobní inženýrství

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 11.5.2017



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl, jenž je díl z interiéru automobilu. Diplomové práce je rozdělena na dvě části.

V teoretické části práce popisuje literární rešerše na téma vstřikování a konstrukce vstřikovacích forem a konstrukci výrobku.

V praktické části je hlavním úkolem zhotovit vstřikovací formu určené k výrobě zadaného plastového dílu. Konstrukce byla provedena v programu CATIA V5R19 s použitím normalizovaných dílců od firmy Hasco. K 3D modelu formy je taktéž podložen výkresovou dokumentací formy s kusovníkem. Na konci této práce je návrh formy ověřen pomocí simulací tokové analýzy v programu Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: forma, polymer, vstřikování, výrobek, CATIA V5R19, analýza

ABSTRACT

The thesis deals with the design of the injection mold for the plastic part, which is part of the car interior. The thesis is divided into two parts.

The theoretical part of the thesis describes literary research on injection molding and design of injection molds and product design.

In the practical part, the main task is to make an injection mold designed to produce a given plastic part. The design was carried out in the CATIA V5R19 program using standardized parts from Hasco. The 3D model of the mold is also supported by the bill of material of drawings. At the end of this work, the form proposal is verified using simulation flow analysis in Autodesk Simulation Moldflow Synergy 2016.

Keywords: mold, polymer, injection, product, CATIA V5R19, analysis

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Vojtěchovi Šenkeříkovi Ph.D. za vedení, rady týkající se jak konstrukce, tak legislativního zpracování a taktéž za čas který mi věnoval při vzniku této diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	13
1.1 PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	14
1.1.1 Časový průběh vstřikovacího tlaku	14
1.1.2 Vstřikování z hlediska p-v-T diagramu.....	15
1.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	17
1.2.1 Vstřikovací jednotka	18
1.2.2 Zavírací jednotka.....	19
1.2.3 Ovládání a řízení stroje	20
2 MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	22
2.1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ PLASTU	22
2.1.1 Plasty	22
2.1.2 Elastomery.....	24
2.2 ZPRACOVATELSKÉ PODMÍNKY PLASTŮ	24
2.2.1 Volba vhodného polymeru při návrhu samotného výrobku.....	24
3 VSTŘIKOVACÍ FORMA A JEJÍ KONSTRUKCE	25
3.1 TECHNICKÉ ÚDAJE POTŘEBNÉ PRO VÝROBU FOREM A POSTUP PŘI KONSTRUKCI	26
3.1.1 Přehled časové náročnosti pro realizaci forem.....	27
3.1.2 Výkres součásti	27
3.1.3 Násobnost formy	28
3.1.4 Volba optimálního vstřikovacího stroje	29
3.1.5 Zvláštní požadavky na konstrukci formy	30
3.2 POSTUP PŘI KONSTRUKCI FORMY.....	30
3.3 ZAFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU A DIMENZOVÁNÍ DUTINY FORMY	31
3.3.1 Zaformování	31
3.3.2 Dimenzování	32
3.4 VTOKOVÝ SYSTÉM	32
3.4.1 Studený vtokový systém	33
3.4.2 Horký vtokový systém	36
3.5 TEMPERACE FOREM.....	37
3.5.1 Pasivní prostředky temperační	39
3.5.2 Aktivní prostředky temperační.....	39
3.6 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	40
3.7 VYHAZOVÁNÍ VÝSTŘIKU	42
3.7.1 Vyhazování pomocí kolíků	42
3.8 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PŘI VÝROBĚ FOREM	44
4 KONSTRUKCE VYSTŘIKU	46
4.1 ZÁSADY KONSTRUKCE	46
4.1.1 Tloušťka stěn.....	46
4.1.2 Úkopy, podkopy a zaoblení	47

4.1.3	Hrany	48
4.1.4	Žebra	48
II	PRAKTICKÁ ČÁST	49
5	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	50
6	ZADANÝ DÍL	51
6.1	MATERIÁL A SPECIFIKACE MATERIÁLU VÝROBKU	51
7	KONSTRUKCE FORMY	53
7.1	ZAFORMOVÁNÍ DÍLU	54
7.1.1	Dělicí roviny	54
7.1.2	Tvárník a tvárnice	55
7.1.3	Boční odformování	55
7.2	VTOKOVÝ SYSTÉM	57
7.3	PRAVÁ STRANA FORMY	58
7.4	LEVÁ STRANA FORMY	59
7.5	ODFORMOVACÍ SYSTÉM	59
7.6	TEMPERACE	60
7.7	TRANSPORTNÍ A ZAJIŠŤOVACÍ SYSTÉMY	62
8	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	63
9	SIMULAČNÍ ANALÝZY A VÝSLEDKY	65
9.1	ANALÝZA UMÍSTĚNÍ VTOKOVÉHO ÚSTÍ	66
9.1.1	Ukazatel odporu toku taveniny	66
9.1.2	Ideální poloha vtokového ústí	66
9.2	VÝSLEDKY ANALÝZ PLNĚNÍ A DOTLAKU	67
9.2.1	Čas plnění dutiny formy	67
9.2.2	Tlak v čase přepnutí na dotlak	68
9.2.3	Maximální smykové napětí	69
9.2.4	Uzavírací síla	70
9.2.5	Vzduchové kapsy	71
9.2.6	Studené spoje	72
9.3	ANALÝZY CHLAZENÍ	72
9.3.1	Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty	72
9.3.2	Teplota chladicího média	73
9.3.3	Reynoldsovo číslo	74
9.4	ANALÝZA CELKOVÁ DEFORMACE	75
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	76
	ZÁVĚR	78
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	79
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	85
	SEZNAM TABULEK	87
	SEZNAM PŘÍLOH	88

ÚVOD

Na počátku třetího tisíciletí představují polymerní materiály nejvýznamnější segment ze všech materiálů podle objemu výroby a spotřeby. V konkurenci s klasickými materiály (kovy) se polymery prosadili díky své snadné zpracovatelnosti, nízkou měrnou hmotností a obecně vhodným poměrem mezi užitnými vlastnostmi a cenou. Prudký vzestup po výrobcích z polymeru začal na přelomu šedesátých a sedmdesátých let minulého století.

Technologie vstřikování plastu prošla od svých počátků až po dnešní časy dlouhou a dynamicky se rozvíjející cestu. Od John Wesley Hyatt – 1870 Který si nechal patentovat ruční zařízení na vstřikování nitridu celulózy. Přes první automatické vstřikovače stroje s plně elektrickým řízením (roku 1968), až po dnešní stav. Díky stále se rozšiřujícím možnostem využití plastových dílů, a to především v automobilovém průmyslu, stavebním, lékařství a elektrotechnickém i mnoha dalších oblastech.

Široká paleta polymerních materiálů se sofistikovanějšími vlastnostmi a lepšími poznatky o zpracování také umožňují zvyšovat nároky na výrobky z plastu, které by byly na začátku minulého století jen těžko představitelné.

Čím dál vyšší požadavky na přesnost a sofistikovaný tvar mají za následek, naši zvýšenou pozornost na samotné nástroje, které realizují vstřikování. U technologie vstřikování je nástrojem a taktéž obrazem výrobku forma. Forma je upnutá na vstřikovacím stroji, jež ji vymezuje a dodává polymer. Pro zhotovení výrobku je důležitá nejen forma ale i vstřikovací stroj, polymer a nastavené procesní parametry. Jelikož se u vstřikování jde vždy o hromadnou či velkosériovou výrobu a firmy chtějí minimální náklady na případnou opravu, či chyby forem při konstrukci je využíváno simulačních analýz. Tyto simulační analýzy doladují formu z pohledu např. dotečení výrobku ještě dříve, než se reálně forma vyrobí. Za pomoci těchto silných nástrojů se šetří čas a peníze.

Pro urychlení konstrukce samotné formy jsou zde specializované 3D programy jež jsou uzpůsobeny k realizaci forem. Program využitý ke konstrukci v této práci je CATIA V5R19. Využívá stavebnicový systém za pomoci používání normálií Hasco.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování je nejrozšířenější způsobem výroby požadovaných dílu z plastu. Jeho počátky spadají do konce 19. století. Technologicky je podobné přetlačování.

Vstřikování je jedním z hlavních způsobů zpracování termoplastů. Stále více se uplatňuje i při zpracování kaučukovitých směsí. V současné době se vstřikováním zpracovává značné množství polymerů a význam této technologie stále vzrůstá. Umožňuje ekonomicky produkovat kvalitní a rozměrově dostatečně přesné výrobky. Ztráty polymeru jsou minimální. Vstřikovací cyklus je rychlý, lze jej automatizovat a umožňuje ekonomicky produkovat kvalitní a rozměrově dostatečně přesné výrobky. [1,9]

Vstřikování se vyznačuje poměrně složitým fyzikálním procesem, na kterém se podílí polymer, vstřikovací stroj a vstřikovací forma. V průběhu vstřikování je roztavený plast ve vstřikovacím stroji tlakem dopraven do dutiny formy a tam ochlazen ve tvaru vyráběné součásti. V jedné operaci se mění polymerní směs (prášek, granulát) v hotový výrobek. Vstřikované výrobky mohou vážit až 30 kg.

V tvarové dutině se působením dotlaku eliminuje tepelná i objemové kontrakce taveniny tak, aby výstřik po zchlazení a vyhození z formy měl předepsané tvary a rozměry, a další předepsané kvalitativní parametry.

Je nesporné, že kvalita použitého plastu bude vždy důležitá a volba správného typu plastu bude mít podstatný vliv na konečnou aplikaci. [1,3]

Hotový výrobek je odrazem kvality formy, kvality a správné volby použitého plastu.

Pořizovací náklady na formu a vstřikovací stroj jsou vysoké, proto se tato technologie používá výhradě k velkosériové výrobě.

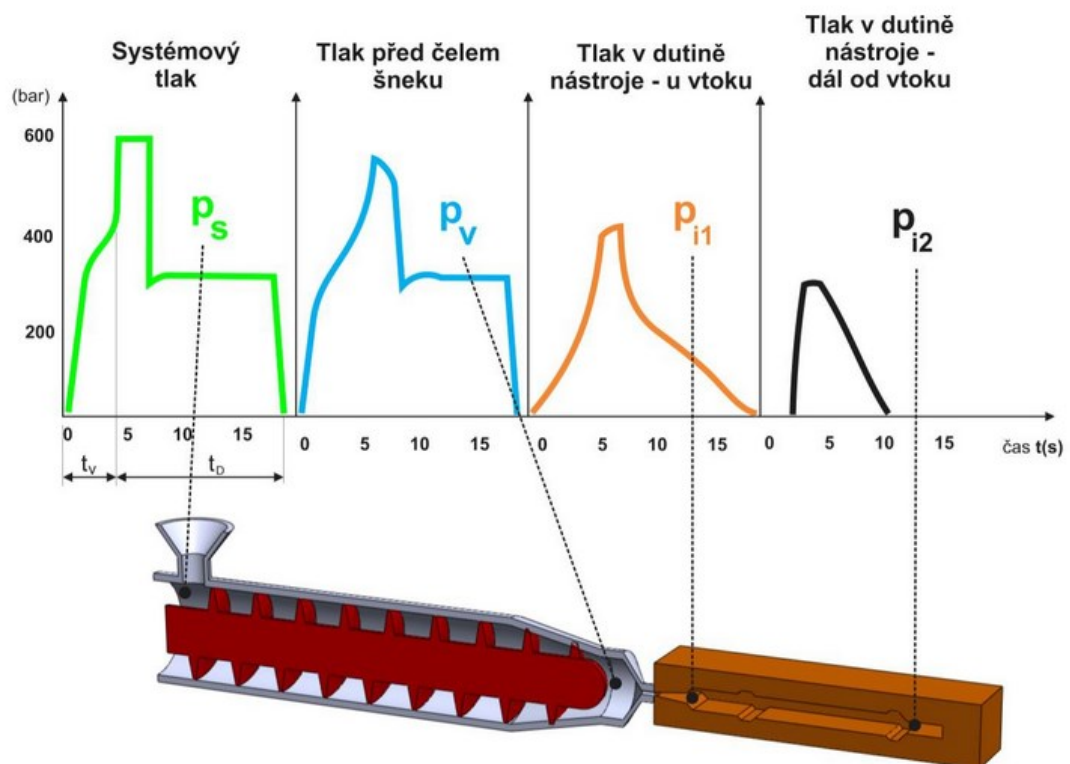
1.1 Průběh vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných postupných kroků, fází, které se svou činností podílí na výrobě vstřikovaných dílů. Vstřikovací cyklus je proces, během kterého plast prochází teplotním a tlakovým cyklem.

Pro popis vstřikovacího cyklu je nutné jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek vstřikovacího cyklu lze např. s výhodou považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření vstřikovací formy.

Vstřikovací cyklus můžeme popsat jak z hlediska časového průběhu vstřikovacího tlaku (Obr. 1), tak i z hlediska p-v-T diagramu či v koláčovém grafu. [16]

1.1.1 Časový průběh vstřikovacího tlaku



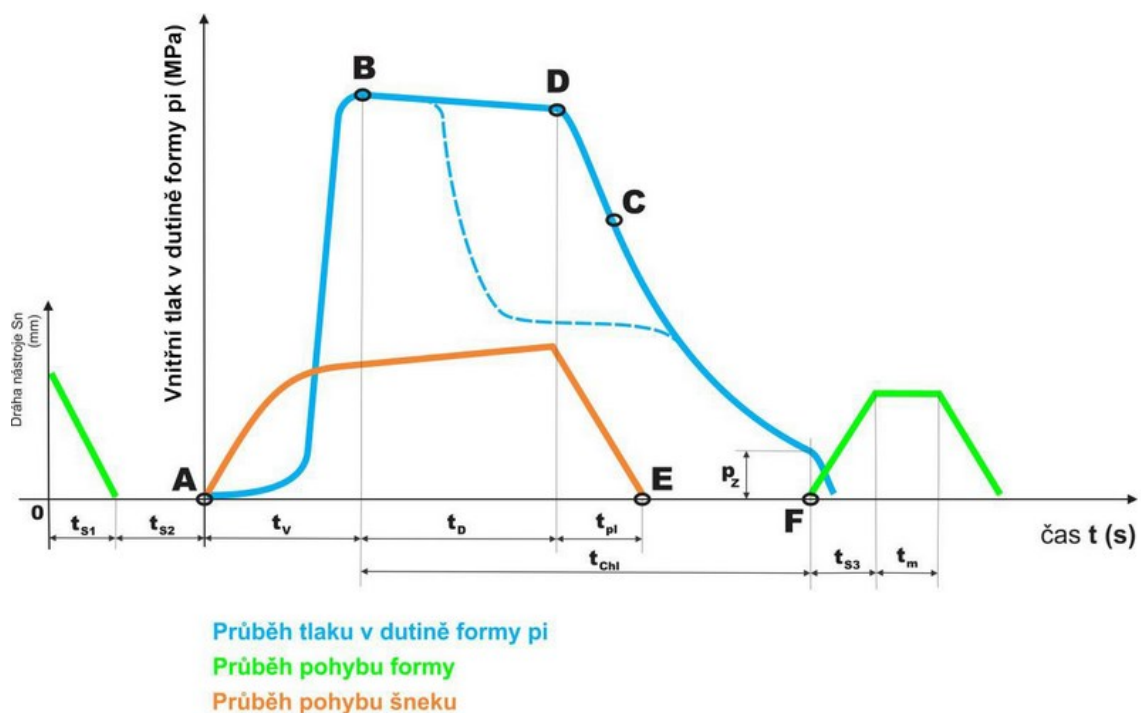
Obr. 1 Tlaky u technologie vstřikování [16]

Systémový (hydraulický) tlak - je tlak, který je možné naměřit v hydraulickém systému vstřikovacího stroje. Označuje se buď jako p_s nebo p_h .

Vnitřní vstřikovací tlak - je tlak v dutině vstřikovací formy během procesu vstřikování (standardně se označuje jako p_i nebo p_f).

Vnější vstřikovací tlak - označovaný p_{vs} , je tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku před čelem šneku. [16]

1.1.2 Vstřikování z hlediska p-v-T diagramu



Obr. 2 Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování [16]

Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená.

V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu.

V časovém úseku t_{s1} se pohyblivá část formy přisune k pevné, forma se zavře.

Časovým úsekem t_{s2} se přisouvá vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje k formě.

V bodě A se dává do pohybu šnek v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování a značí se t_v .

Ve fázi vstřikování dosáhne tlak maximální hodnoty. Tento děj je ukončen v bodě B. objem taveniny plastu dosahuje kolem 95 až 97% objemu dutiny vstřikovací formy.

Jakmile vteče tavenina do formy, začne chladnout. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a plní funkci pístu.

Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí, (vyhození) výstřiku ze vstřikovací formy. Tato doba se nazývá doba chlazení a je označena t_{ch} .

Během chlazení se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem. Aby se na výstřiku netvořily propadliny nebo staženiny, nutné kompenzovat zmenšování objemu dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy. Úsek tohoto cyklu se nazývá doba dotlaku a značí se t_d . Doba dotlaku končí v bodě D .

Bod C označuje okamžik zatuhnutí roztavené hmoty ve studeném vtokovém kanálu.

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu, časový úsek t_{pl} , končící v bodě E . Šnek ustupuje dozadu a začne se otáčet.

Během pokračující fáze chlazení tlak ve vstřikovací formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z .

V bodě F se vstřikovací forma otevře a výstřik se vyhodí z formy. Na tuto operaci je potřeba strojní doba t_{s3} . Doba t_m je určena i k případné další činnosti, např. ke vkládání kovových zástříků do formy a jmenuje se manipulační doba.

Po vyhození výstřiku z dutiny vstřikovací formy pokračuje chlazení již bez tlaku až do vyrovnání teploty výstřiku s teplotou okolí. [16]

Temperace formy závisí na typu zpracovávaného plastu, tvaru a tloušťce stěn výrobku. Vytemperovaná a upnutá forma ve stroji je uzavřená uzavírací silou. Její velikost je volena tak, aby byla forma zajištěna proti pootevření při vstřikovacím tlaku. Průběh zavírání formy je rychlý, jen před stykem obou polovin zpomalí. Po uzavření formy stroje dojde k přísunu vstřikovací jednotky a vstřiku taveniny do formy. Po jeho skončení a dotlaku se vstřikovací jednotka vrátí do výchozí polohy.

V průběhu vstřikování se uplatňuje celá řada technologických parametrů s následujícím významem.

- velikost dávky je volena tak, aby došlo k naplnění tvarových dutin formy i vtokového rozvodu a doplnění objemové změny, vyvolané ochlazováním plastu a jeho zhuštěním způsobené dotlakem.
- teplota taveniny se měří při výstupu ze vstřikovací trysky stroje její výše i rozsah je dán druhem plastu a je třeba zvolit její optimální velikost (správnou viskozitu).

Nízká teplota zhoršuje zatékavost a vysoká může vést k degradaci materiálu a prodloužení vstřikovacího cyklu (ochlazování).

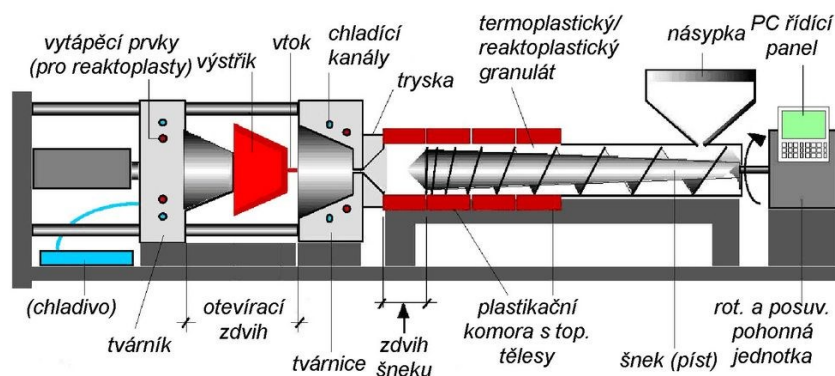
- velikost a doba působení vstřikovacího tlaku musí umožnit spolehlivé naplnění dutiny formy taveninou. Jeho velikost je dána plastem a taveninou. Tlak je vyvinut průměrem šneku, který působí jako píst, ovládaný hydraulickým obvodem stroje.
- vstřikovací rychlost je ovlivněna tlakem a časem. Musí být taková, aby byla dutina formy naplněna a přitom nedošlo k předčasnému zchlazení taveniny. Závisí na její viskozitě a odporech ve formě, především ve vtokové soustavě. [3]

1.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj je jeden z hlavních činitelů výroby má nejrůznější uspořádání. Vyžaduje se od něho, aby kvalitou svých parametrů dokonalým řízením, byla zajištěna výroba jakostních výstřiků. V současné době existuje velký počet různých strojů. [3]

Konstrukce stroje je charakterizovaná podle: [3]

- vstřikovací jednotky,
- ovládání a řízení stroje,
- uzavírací jednotky.



Obr. 3 Schéma vstřikovacího stroje [15]

Vstřikovací stroj pro přesné výstřiky vyžaduje aby: [3]

- byl tuhý a pevný při vstřiku,
- měl konstantní tlak, rychlost, teplotu, ostatní parametry a jejich časování,
- měl přesnou reprodukovatelnost technologických parametrů.

Pro volbu vstřikovacího stroje jsou rozhodující následující parametry: [18]

- uzavírací síla,
- vstřikovací tlak (MPa),
- plastikační výkon,
- maximální zdvihový výkon šneku, redukovatelný na 100 MPa (cm^3),
- maximální plošný obsah výstřiku (cm^3).

Na vstřikovacích strojích se dají zpracovávat jak plasty, tak i kaučukovité směsi. [5]

Dělení vstřikovacích strojů: [9]

- a. Podle směru posuvu zavírací jednotky se dále dělí:
 - s horizontální uzavírací jednotkou,
 - s vertikální uzavírací jednotkou.
- b. Podle principu zavírací jednotky se dělí:
 - s přímým hydraulickým posuvem desky,
 - s posuvem desky zprostředkované klikovým mechanismem.
- c. Podle počtu šneků se dělí:
 - jedno komponentní,
 - více komponentní.
- d. Podle principu pohonu se dělí:
 - hydraulicky poháněné,
 - elektricky poháněné,
 - kombinované hydraulicko-elektrickým pohonem.

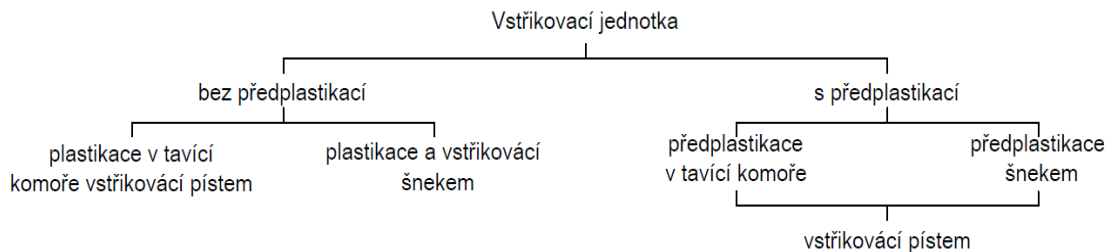
1.2.1 Vstřikovací jednotka

Připraví a zajistí požadované množství roztaveného plastu s předepsanými technologickými parametry do formy. Vstřikovací jednotka musí zajistit dokonalou plastikaci a homogenizaci taveniny a dostatečně vysoký vstřikovací tlak. Max. vstřikované množství nemá překročit 90% kapacity jednotky, protože je ještě nutná rezerva pro případné doplnění úbytku hmoty při chlazení (smrštění). Optimální množství je 80 %. [3,5]

Základní funkce vstřikovací jednotky:

- Odjezd pčijezd jednotky k formě, vyvinutí přitlačné síly trysky na formu pro vstříknutí,
- optimální objem plastikačního válce pro potřebnou dávku taveniny,

- vyvinout potřebný vstřikovací tlak pro konkrétní formu,
- axiálním posuvem šneku dopravit taveninu při vstřikovacím dotlaku do formy,
- otáčením šneku při plastikaci připravit z granulátu dávku taveniny pro další cyklus,
- axiální posuv šneku pro zpětný chod, dekomprese šneku před anebo po plastikaci.



Obr. 4 Typy vstřikovacích jednotek [15]

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

Šneková plastikace dává větší výkony než pístová a také rovnoměrně prohřívá a homogenizace taveninu.

Vstřikovacích jednotek s pístovou plastikací mají výhody, jednoduchá konstrukce a snadné docílení poměrně vysokých vstřikovacích tlaků (přes 100MPa). Nevýhodou je menší homogenizace taveniny. [5]

1.2.2 Zavírací jednotka

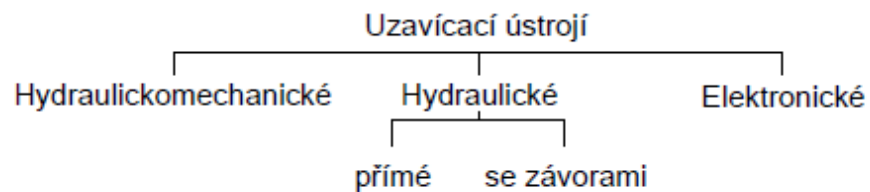
Ovládá formu a zajišťuje její dokonalé uzavření, otevření i případné vyprázdnění. Velikost uzavíracího tlaku je stavitelná a je přímo závislá na velikosti vstřikovacího tlaku a ploše dutiny a vtoku v dělicí rovině.

Hlavní části uzavírací jednotky jsou: [3]

- opěrná deska pevná,
- upínací deska,
- vodící sloupky,
- uzavírací mechanismus.

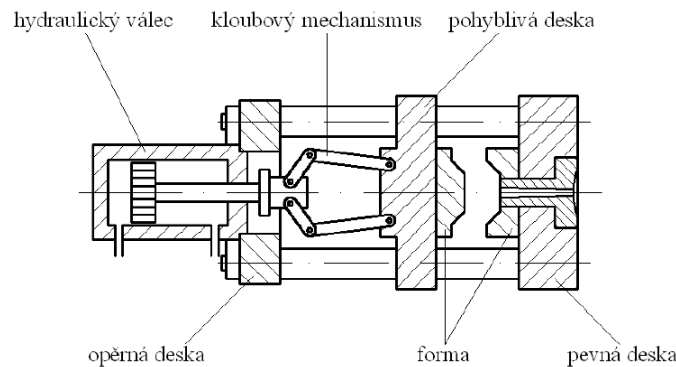
Základní funkce uzavírací jednotky: [9]

- bezpečné upnutí konkrétní formy vzhledem k její výšce a nutné dráze otevření,
- zabezpečení potřebné funkce formy jako jsou hydraulické táhla jader, pneumatické ventily atd.,
- otvírání a zavírání formy v požadovaných drahách a rychlostech,
- vyvinout pro formu potřebnou blokovací sílu a sílu ochrany formy,
- doformování výstřiků pomocí tahačů jader a hydraulické nebo pneumatického vyhazovače.



Obr. 5 Druhy uzavíracích jednotek [5]

Nejčastěji používaná u malých gramáží je jednotka hydraulicko-mechanická. Zaručuje vyšší rychlost uzavírání s potřebným zpomalením před uzavřením formy a dostatečnou tuhostí. [3]



Obr. 6 Schéma hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky [3]

Významnou součástí uzavírací jednotky je vstřikovací forma, jejíž úlohou je dát tavenině konečný tvar výstřiku. [5]

1.2.3 Ovládání a řízení stroje

Stálá reprodukovatelnost technologických parametrů je význačným faktorem. Řízení stroje se musí zajistit vhodnými řídicími a regulačními prvky.

Na přesnosti a jakosti výstřiku má řízení stroje rozhodující vliv, tím že určuje přesnost: [3]

- nastavení doby a výšky teploty taveniny, její homogenizaci jsou určeny fyzikální a mechanické vlastnosti,
- nastavení výše i doby vstřikovacího tlaku, dotlaku, rychlosti vstřiku a chlazení. Tyto parametry určují přesnost a toleranci výstřiku.

Nejnovější koncepce je takové seřízení rozděleno na:

- sestavení grafu vstřikovacího stroje,
- definice a nastavení parametrů,
- kontrola procesu.

Nastavení stroje je řídicím systémem také kontrolováno.

2 MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ

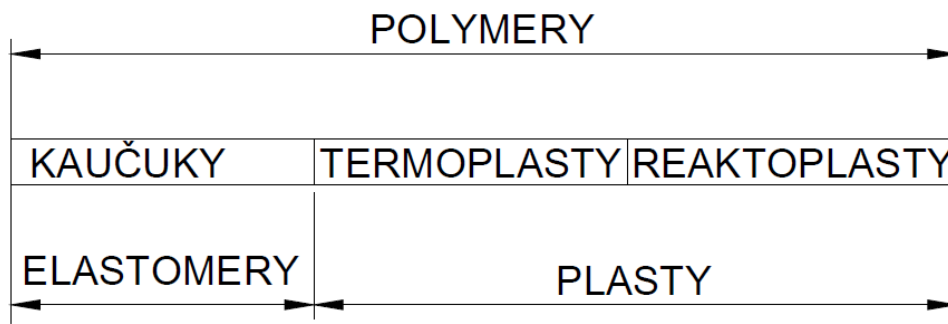
Makromolekulární látky jsou všude okolo nás. Z makromolekul jsou vytvořené mnohé technicky aplikovatelné syntetické materiály, jaké jsou plasty, plastová vlákna, elastomery, nátěrové hmoty, maziva atd. [9]

Obrovský rozvoj polymerních materiálů založených na makromolekulních látkách v posledním desetiletí způsobil, že obecný jazyk i odborná terminologie se ještě nestačily zcela vyrovnat s těmito novými jevy a materiály. V obecném jazyce se označují nejrůznějšími názvy jako makromolekulární látky, umělými hmoty, plasty, igelit apod. V tomto kontextu dáváme přednost termínu polymer.

Ten vyjadřuje, že všechny tyto nové materiály jsou založeny na velkých molekulách, v nichž se jako článek řetězu mnohokrát opakuje základní monomerní jednotka. [11]

2.1 Základní dělení plastu

Polymery jsou chemické látky s velkými molekulami, které obsahují většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru a jiných prvků. V určitém stádiu zpracování se nachází v kapalném stavu, který umožňuje udělit tvar budoucímu výrobku, jenž slouží v prakticky ustáleném stavu. [1]



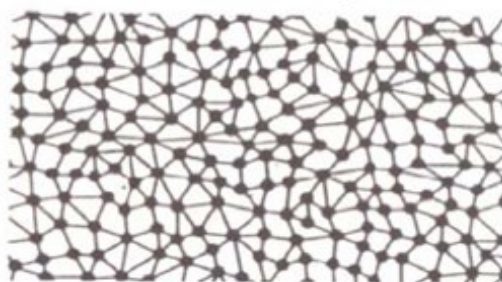
Obr. 7 Základní klasifikace polymerů z hlediska jejich chování za běžné a zvýšené teploty [1]

2.1.1 Plasty

Plasty jsou polymery za běžných podmínek většinou tvrdé, často křehké. Při zvýšené teplotě se stávají plastickými (odtud název) a tvarovatelnými. Pokud je změna z plastického do tuhého stavu vratná (opakovatelná), nazýváme je termoplasty. Pokud jde o

změnu nevratnou (neopakovatelnou, trvalou), protože je výsledkem chemická reakce (často probíhající za zvýšené teploty), mluvíme o reaktoplastech. [1]

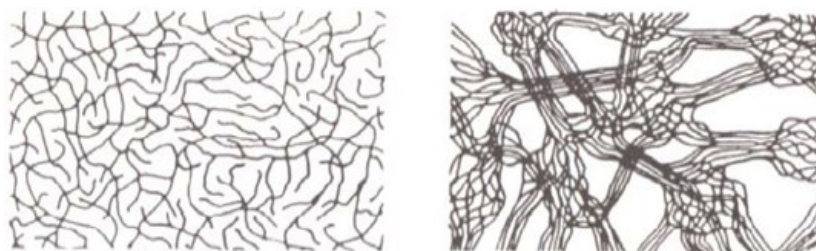
Reaktoplasty - Plasty s pevně propojenými řetězci. Pokud je změna z plastického do tuhého stavu nevratná, protože je výsledkem chemické reakce (často za zvýšené teploty), mluvíme o reaktoplastech. [1,2]



Obr. 8 Struktura reaktoplastu [15]

Termoplasty – zahříváním postupně měknou až na taveninu, kterou je možné vstříkovat a po jejím ochlazení se získá pevný výrobek, který je možné opakovaným zahřátím přeměnit na taveninu a tu zase zpracovat. Tento postup je možné vícekrát opakovat. Termoplasty lze dále dělit podle vnitřní struktury. [9]

- a. Amorfní termoplasty - to jsou lineární řetězce makromolekul v polymerech, jsou uspořádány náhodně a řetězce se stáčíjí jedním směrem zhruba do tvaru chumáče vaty tvořeného jednotlivými vlákny. Příkladem polymerních plastů je například polystyrén. Amorfní plasty jsou opticky čiré.
- b. Semikrystalické termoplasty – velká část řetězců je pravidelná. Uspořádání semikrystalických termoplastů je těsné a tvoří krystalické útvary. Zbytek má uspořádání amorfní. Použití těchto materiálů je nad teplotou T_g .



Obr. 9 Struktura termoplastu [15]

2.1.2 Elastomery

Elastomer, jak název napovídá, vysoce elastický polymer, který můžeme za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná. Nejčastější podmnožinou elastomerů jsou kaučuky, z nichž se vyrábí pryž (guma). [1]

2.2 Zpracovatelské podmínky plastů

Na výsledné vlastnosti hotového výrobku mají technologické podmínky velký vliv. Zpracovatelské parametry (teplota, tlak, časové prodlevy) jsou určující pro některé rozměry a také pro mechanické vlastnosti. Při vstřikování termoplastů také dochází ve vtokových kanálech a tvarových dutinách forem k orientaci makromolekul a jejich řetězce se srovnávají ve směru proudění taveniny. Po zatuhnutí jsou orientovány makromolekuly příčinou anizotropie hmoty. Vedou také ke vzniku vnitřního pnutí a nepravidelnému smrštění.

U semikrystalických termoplastů se dá podmínkami ovlivnit obsah krystalů a jejich velikost. To znamená větší krystalizaci, vyšší pevnost, zvýšený modul pružnosti a různost i ostatních parametrů. [3]

2.2.1 Volba vhodného polymeru při návrhu samotného výrobku

Z jednotlivých skupin plastů jsou u vstřikování nejrozšířenější termoplasty. Při volbě vhodného termoplastu pro navrhovaný výrobek je třeba zvážit podmínky zatížení a celkové použití výrobku. Také se přihlíží na geometrii a požadované rozměry výrobku.

Optimální volbu polymeru lze posoudit dle následujících hledisek:

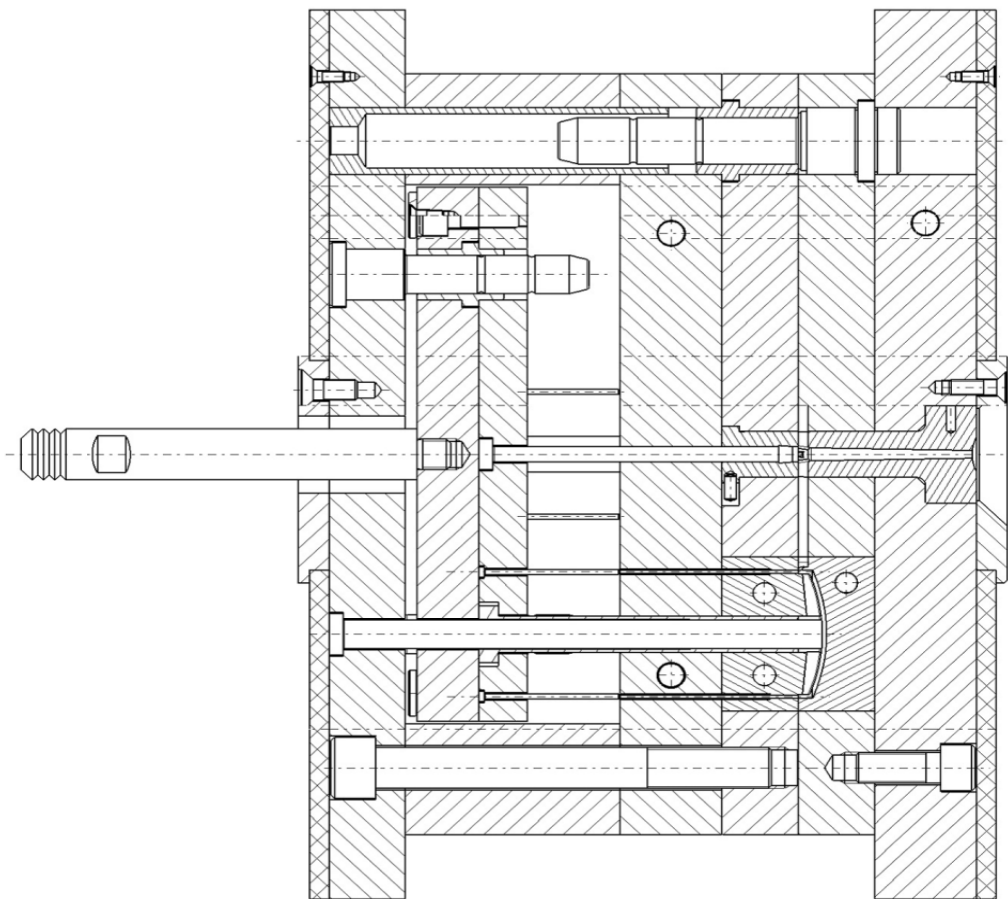
- c. funkce součásti musí splňovat definované požadavky,
- d. navržený výrobek musí být danou technologií snadno vyrobitelný,
- e. volba polymeru musí společně se zvolenou technologií a vstřikovací formou splnit ekonomické požadavky.

Při volbě polymeru může konstruktér volit typ z více podobných materiálů, rozhodují méně významné vlivy, jako je dostupnost a estetické vlastnosti polymeru. Obecně ovšem platí, že geometrie a vlastnosti výrobku musí odpovídat zvolenému polymeru použité technologii. [3]

3 VSTŘIKOVACÍ FORMA A JEJÍ KONSTRUKCE

Vstřikovací forma dává tavenině po ochlazení příslušný tvar a rozměry výrobku při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Vstřikovací forma se vždy řeší s ohledem na technologicky projekt příslušného výstřiku. Při řešení je potřeba vzít v úvahu především druh vstřikovaného materiálu a velikost výrobní série. Dále je třeba přihlídnout k možnostem navrhovaného výrobního zařízení a k požadavkům na kvalitu výrobku i produktivitu práce.

Různorodost požadavků způsobuje, že vstřikovací formy se používají v mnoha různých typech. Zpravidla však můžeme nalézt provedení a kombinace jejich hlavních částí, které představují tvářecí části, vtokový systém, temperační a vyhazovací systém taktéž i vodící a upínací elementy. [3,7]



Obr. 10 Řez vstřikovací formou [10]

Dobrá kvalita formy plní požadavky: [3,9]

- technické, které zaručují správnou funkci formy, která musí vyrobít požadovaný počet součástí v náležité kvalitě a přesnosti. Má splňovat podmínky snadné manipulace i obsluhy při výrobě součástí,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy i celku, pro zachycení potřebných tlaků,
- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch zhotovené dutiny formy a ostatních funkčních dílů,
- ekonomické, které se vyznačují nízkou pořizovací cenou, snadnou a rychlou výrobou dílů, vysoké produktivitě a také vysokým využitím plastu,
- společensko-estetické, které vyžadují dodržení bezpečnostních zásad při konstrukci.

Základní typy vstříkovacích forem: [21]

- formy standartní (dvou deskové),
- formy třídeskové,
- formy s bočními posuvnými čelisti,
- formy se stírací deskou,
- formy s horkým vtokem,
- etážové formy.

3.1 Technické údaje potřebné pro výrobu forem a postup při konstrukci

Pro zhotovení formy je nutné znát celou řadu technických údajů, tak aby realizace formy byla úspěšná. Musíme znát tyto technické údaje potřebné pro výrobu a konstrukci formy.

[14]

Tab. 1 Údaje potřebné pro výrobu a konstrukci forem [14]

Konstrukce	Výroba
Výkres součástí	Příprava výroby
Násobnost formy	Vlastní výroba
Typ vstříkovacího stroje	Termín zhotovení
Zvláštní požadavky	Odzkoušení

3.1.1 Přehled časové náročnosti pro realizaci forem

Forma jako nástroj je složená s rámu, tvarových dílů a dalšího příslušenství. Představuje ustálený sled činností při realizaci výroby, je zde vyjádřený časovou náročností jednotlivých etap. [6]

- Obchodně technická jednání se zákazníkem a konstrukční projekt	5 – 10 %
- Konstrukce formy	10 – 20 %
- Technická příprava výroby (technologický postup, normování)	5 – 15 %
- Výroba formy	40 – 70 %
- Zkoušení, úprava a předávání formy	5 – 15 %

3.1.2 Výkres součásti

Charakter součásti z plastu má odpovídat jeho specifickém vlastnostem. Svým tvarem a rozměry má umožnit jeho jednoduchou výrobu i dodržení požadovaných fyzikálních i mechanických vlastností. [3]

Výkres má obsahovat: [3]

- materiál součásti (chemické případně obchodní značení),
- tvar,
- rozměry a tolerance,
- jakost povrchu a vzhledové požadavky (barva, dezén, stopy po vtoku, vyhazovačích ...),
- hmotnost,
- technické přejímací podmínky,
- zvláštní požadavky (temperace ...).

Z ekonomického hlediska: [3]

- tvarově snadno zaformovatelný,
- rozměrově dosažitelný,
- s minimálními nároky na dodatečné opracování.

Mělo by se dbát na malé rozdíly v tloušťkách stěn, zaoblení ostrých hran, pozvolné přechody stěn atd. Měla by se předpokládat úzká spolupráce konstruktéra součásti s konstruktérem formy a případně i s technologem. Touto spoluprací se vyřeší mnoho problémů, které by později mohly nastat a musely se řešit. Výroba by pak mohla probíhat bez potíží. [3]

3.1.3 Násobnost formy

Násobnost vstřikovacích forem se obvykle hodnotí z několika hledisek.

Nejdříve je třeba posoudit násobnost formy dle doby plnění dávky výstřiku, čili:

$$n_1 = \frac{N * t_c}{t_p * k} \quad (3.1.3 - 1)$$

Kde: Ncelková produkce (ks)

t_cdoba cyklu (s)

t_pdoba produkce (s)

kkoeficient využití výrobního času, bývá 0,7 až 0,9.

Ve vztahu k navrženému vstřikovacímu stroji třeba posoudit násobnost formy s ohledem na jeho technické parametry. Násobnost formy podle n_2 vstřihovací kapacity bude:

$$n_2 = \frac{0,8M}{A * m} \quad (3.1.3 - 2)$$

Kde: Mvstřikovací kapacita (g)

Akoeficient vyjadřující podíl vtokového zbytku z hmotnosti výstřiku

mhmotnost výstřiku (g)

Hmotnost výstřiku může dosáhnout maximálně 80 % vstřikovací kapacity, aby byla zajištěna provozní stabilita. Násobnost formy n_3 podle plastikačního výkonu je dána vztahem:

$$n_3 = \frac{0,8 * M_p * t_c * 1000}{A * m * 3600} \quad (3.1.3 - 3)$$

Kde: M_pplastikační výkon ($\text{kg} * \text{h}^{-1}$)

Násobnost formy n_4 podle velikosti uzavírací síly je dána:

$$n_4 = \frac{0,8F}{S * p_{v1}} \quad (3.1.3 - 4)$$

Kde: F.....uzavírací síla (N)

S.....průmět ploch dutin a kanálků do dělicí roviny (m^2)

p_{v1}vstříkovací tlak (Pa)

Protože forma musí být při vstříkování spolehlivě zavřená, počítá se asi s 20% bezpečností. Výpočet násobnosti by měl dále splňovat empirickou závislost,

$$n_3 \leq 4 n_4 \quad (3.1.3 - 5)$$

který vyjadřuje relativní dobu setrvání materiálu v plastikační jednotce. Při dlouhém účinku teploty plastikace může materiál měnit barvu nebo se odbourávat. [7]

Za nejvhodnější se považuje nejmenší násobnost ze vztahů $n_2 \div n_4$. pokud je násobnost stanovená větší než hodnota z n_1 , je nutné volit jiný vstříkovací stroj. [3]

3.1.4 Volba optimálního vstříkovacího stroje

Vstříkovací stroj je významnou složkou pro dosažení kvalitních výstřiku. Jeho volbu ovlivňují: [3]

- hmotnost a rozměry vyráběného dílu,
- požadovaná přesnost a kvalita výstřiku,
- velikost formy.

Proto navržený stroj musí mít: [3]

- dostatečnou kapacitu vstříkovací,
- dostatečný uzavírací tlak,
- vhodnou koncepci stroje.

Celková hmotnost výstřiku = hmotnost výstřiku x násobnost + hmotnost vtoků.

Kvalita stroje je dána jeho konstrukcí, přesností řízení jeho parametrů, pevnost, životnost reprodukovatelnost a stálostí parametrů. Jakost a rozměry výstřiku jsou ovlivněny kvalitou vstřikovacího stroje. U všech výrobců není kvalita stejná, a proto je třeba volit vhodný stroj rozvážně.

Nedodržení potřebných parametrů stroje snižují kvalitu výstřiku. To se projeví vznikem napětí ovlivňující rozměry, pevnost a životnost výstřiku. [3]

3.1.5 Zvláštní požadavky na konstrukci formy

Konstrukce a celá koncepce formy je dána požadavkem dobré funkce v podmínkách stanovení výroby. Záleží především na:

- požadavcích na jakost výstřiku,
- ekonomice výroby,
- požadovaném termínu výroby.

Pokud pro zákazníka běžné požadavky nejsou vhodné, doplní je svými speciálními. Obvykle mají urychlit, zlepšit, případně zlevnit výrobu.

Takovým příslušenstvím bývá: [3]

- využití typizovaného rámu forem,
- nasazení vyhřívané trysky,
- vyšší automatizace u vstřikování,
- robotizace pracoviště, atd.

Všechny tyto požadavky mají obvykle vliv jak na konstrukci, tak i na výrobu formy a musí se s ní počítat. [3]

3.2 Postup při konstrukci formy

Výkres vyráběné součásti spolu s konstrukčním návrhem a dalšími údaji, jsou podkladem pro konstruktéra. Vlastní konstrukce má postup: [15]

- posouzení výkresu z hlediska tvaru, rozměrů a tvářecích podmínek, je třeba znovu zkontrolovat rozměry, tolerance, rozdíly v tloušťce stěn s ohledem na propadliny. Upravit ostré hrany a rohy, které vyvolají velké pnutí a potíže s plněním formy,

- upřesnění dělicí roviny součásti a způsob zaformování s ohledem na funkci a vzhled. Respektovat směr a velikost potřebných úkosů. Zaformování musí odpovídat vhodnému umístění ústí vtoku a vyhazování z dutiny formy.
- dimenzování tvarových dutin a jejich uspořádání ve formě. Volba vhodného typu vtokového systému, velikost průřezu, tvaru a délku hlavního a rozváděcího kanálu i ústí toku,
- stanovení koncepce vyhazovacího a temperačního systému i odvzdušnění dutin formy,
- navržení rámu formy s ohledem na danou typizaci,
- uspořádání středění a upínání formy na stroj s využití dostupných prostředků,
- zkontrolování funkčních parametrů formy.

3.3 Zaformování výstřiku a dimenzování dutiny formy

3.3.1 Zaformování

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

Dělicí rovina bývá z pravidla jako rovina rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá, nebo různě tvarovaná (lomená). Případně vytváří u výstřiku s bočními otvory hlavní a vedlejší dělicí rovinu. Takováto koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy. Snaha je taková se těmto tvarům vyhnout.

Nároky na dělicí plochu: [3]

- umožnění snadného vyjímání výstřiku z formy,
- probíhá na hranách výrobku,
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná a také dobře slícovatelná,
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních či vzhledových závad
- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr geometrických úkosů a sousost výstřiku tedy pokud je v obou polovinách vstřikovací formy.

3.3.2 Dimenzování

Tvar a rozměry 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 finálního produktu. Nejedná-li se o rozměr s předepsanou tolerancí, lze tuto chybu někdy napravit úpravou technologických parametrů, nebo v horším případě nákladnou rekonstrukcí formy. [3]

Tvarová dutina může skládat z: [9]

- tvárníku,
- tvárnice,
- jader,
- tvarových vložek.

Tím je dán povrch a rozměry výstřiku, jeho povrch i rozměry.

Přesnost dutin se pohybuje v rozmezí IT 8 až IT10, je ovlivněn: [3]

- opotřebením dutiny formy,
- výrobními tolerancemi,
- smrštěním plastu (provozním).

3.4 Vtokový systém

Jedním z velmi důležitých problémů v konstrukci vstřikovacích forem je řešení vtokové soustavy. Vtokový systém zprostředkuje průtok taveniny ze vstřikovací trysky do dutiny formy. Ztuhlý materiál ve vtokovém systému se pak nazývá vtokový zbytek. Obecná tendence je tento vtokový zbytek minimalizovat.

Naplnění dutiny má proběhnout s minimálními odpory a v co nejkratším čase. [15]

Vlastní vtok (ústí) by měl být dimenzován tak, aby umožnil maximální dobu působení dotlaku, k vyrovnání objemové kontrakce. Tzn. eliminaci vtaženin případně lunek ve výstřiku. [10]

Vtokové systémy dělíme na dvě skupiny. [15]

- Studený vtokový systém
- Horký vtokový systém

Studený vtokový systém na rozdíl od horkého, vždy v rámci výrobního cyklu vychladne.

U vícenásobných forem musí být dosaženo vhodného odstupňování jednotlivých vtokových kanálů, již od hlavního kuželového vtoku. Správnou volbu průřezu možno zajistit jedině pomocí počítačové simulační analýzy. Praxe však ve většině případu vystačí ze zkušeností a základními teoretickými znalostmi. [10]

3.4.1 Studený vtokový systém

Při tvorbě vtokového systému se vychází z toho, že tavenina se vstříkuje velkou rychlostí do relativně studené formy. Během průtoku studeným vtokovým systémem viskozita taveniny na vnějším povrchu prudce roste, nejnižší je uprostřed. Vysoká viskozita vyžaduje vysoké tlaky v systému (40 až 200MPa).

Ztuhlá povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu taveniny

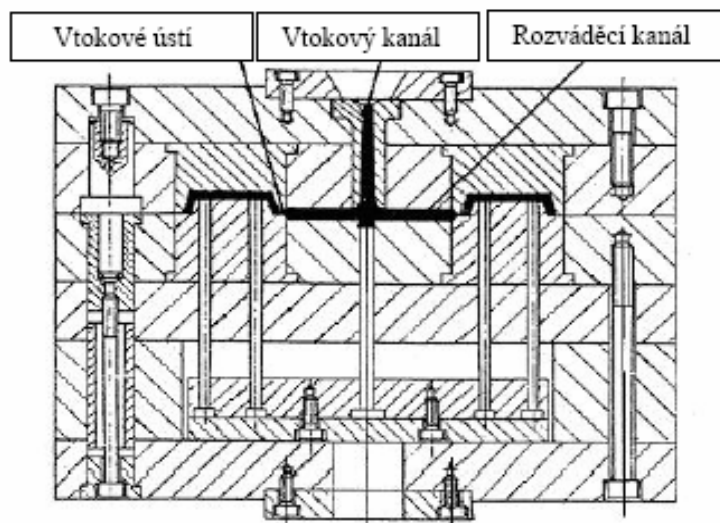
Průtok taveniny vtokovým systémem je provázen složitým tepelně-hydraulickými poměry.

Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jeho ústí ovlivňují:

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

Zásadní rozdíl v uspořádání vtokového systému je dán konstrukcí formy a její násobností.

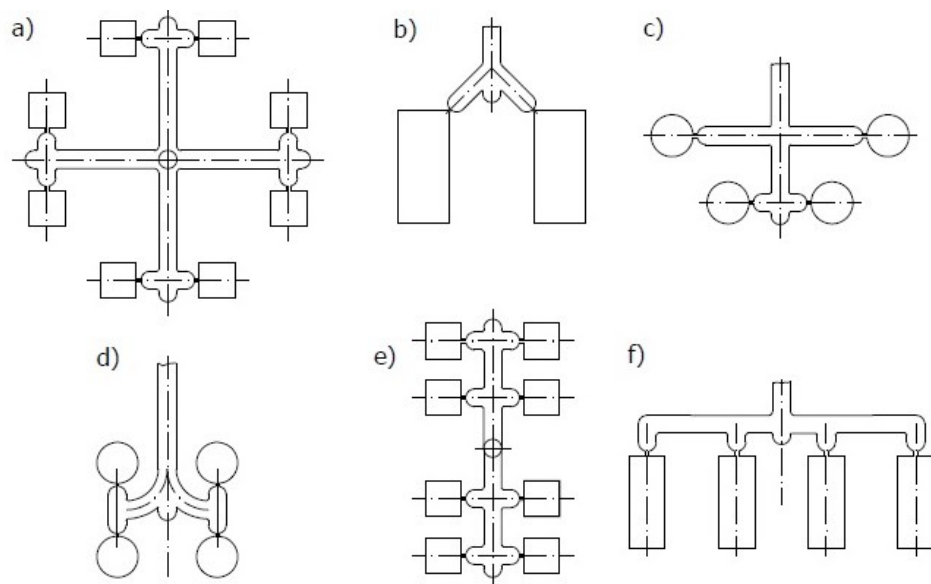
U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoku za stejného tlaku a současně (nevyvážené vzorky). [3]



Obr. 11 Vtokový systém formy

Funkční řešení vtokového systému musí zabezpečit aby: [3]

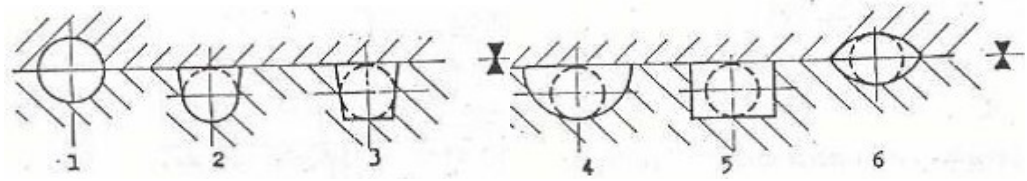
- dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší, bez zbytečných tlakových i časových ztrát,
- dráha toku by měla ke všem tvářecím dutinám být stejné dlouhá a tím se zajišťovala rovnoměrné plnění, zároveň poloha větší počet vtoků ovlivňuje velikost pnutí a existenci míst se sníženou pevností (studených spojů).



Obr. 12 Obecné zásady volby vtokového systému [3]

a, b, c, d - vhodné řešení e, f – nutná korekce vtokových ústí

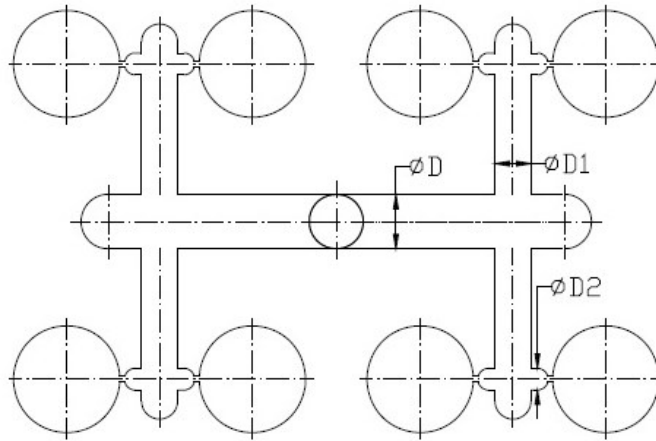
- průřez vtokových kanálů byl dostatečně veliký, aby byla jistota, že po vyplnění tvářecí dutiny bude jádro taveniny ještě v plastickém stavu a tím se umožní působení dotlaku. V závislosti na spotřebu musí mít kanál při minimálním povrchu co největší průřez. Tím budou ztráty ochlazováním minimální. Této podmínce odpovídá kruhový průřez. Z výrobních důvodů se volí i jemu podobný tvar lichoběžníkový.



Obr. 13 Obecné zásady volby vtokového systému – průřezy vtokových kanálů [3]

1, 6 – výrobně nevhodné, 2, 3, 4, 5 – výrobně vhodné

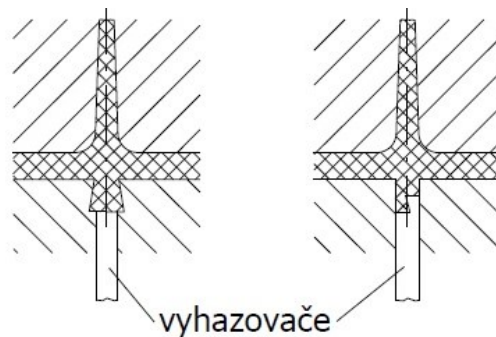
- u vícenásobných forem je vhodné odstupňovat průřezy kanálu, aby byla zachována stejná rychlost taveniny,



Obr. 14 Obecné zásady volby vtokových systému – odstupňovaný

průřez vtoku (stejná rychlost taveniny) [3]

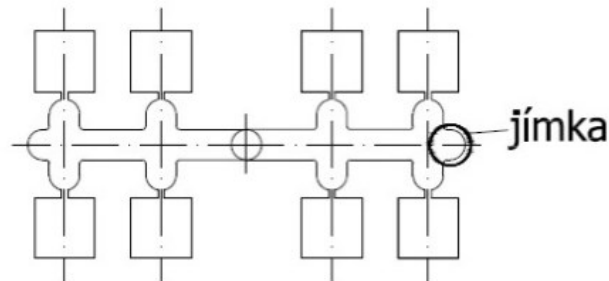
- zaoblení všech hran vtokových kanálů min. $R=1\text{mm}$,
- stanovit úkusovitost všech vtoků, pro jejich deformování. Min. úkosy jsou $1,5^\circ$,



Obr. 15 Přidržovač vtoku [3]

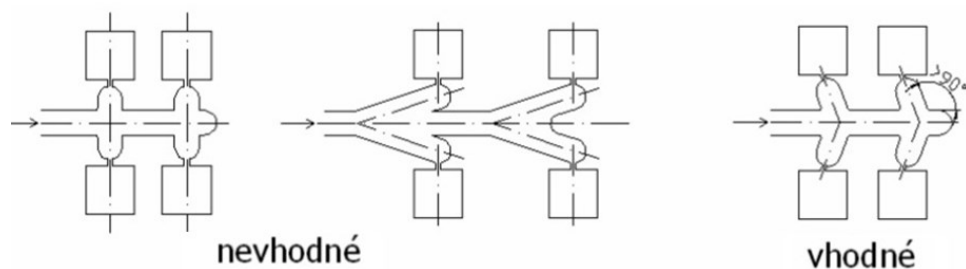
- leštit povrch ve směru vyjímání. Drsnost nemá klesnout pod $0,2\text{ Ra}$,

- řešit zachycená čela proudící taveniny prodloužením rozváděcího kanálu. Zabrání se tím proniknutí chladnějšího čela proudu taveniny do tvarové dutiny a tím sražení povrchových vad. Vytváří se, jen pokud to situace dovolí,



Obr. 16 Zachycení čela proudu taveniny [15]

- ve vtokovém systému vyloučit místa s velkým nahromaděním materiálu,
- neprovádět větvení vtokového systému pod ostrým úhlem, ale někdy naopak pod úhlem větším, než 90° , [3]



Obr. 17 Větvení toků [15]

- průřezy vtokových systémů pro krystalické polymery jsou zpravidla větší, než pro amorfní. [3]

3.4.2 Horký vtokový systém

Vyhřívané vtokové soustavy (VVS) zaujímají v průmyslu zpracování plastů, při konstrukci forem, čím dál větším uplatněním proti klasickým vtokovým soustavám.

Je to dáno nespornými výhodami, jež jsou dány neustálým vývojem těchto systémů pro nové výrobní aplikace a používané hromadné a technické typy plastů, včetně plněných. [10]

Od forem s běžným studenými soustavami se liší především tím, že dnešní typy VVS se nakupují od specializovaných výrobců. Jednotlivá konstrukční provedení i rozsah jejich použití jsou rozdílné. Proto je nutné při použití určitého systému vyžádat si od daného

výrobce potřebné podklady, případně i technickou konzultaci. Ale i přes tuto nevýhodu používání VVS stále narůstá. [3]

Výhody proti studeným vtokovým soustavám s vtokovým zbytkem: [10]

- umožňují automatizaci,
- dávají předpoklady k hromadné výrobě výstřiků,
- podstatně zkrátily výrobní cyklus (chladicí čas),
- vyloučily odpad vtokových soustav,
- snižují náklady na dokončovací práce, není potřeba odstraňování vtokových zbytků jako u studených vtoků,
- odpadá manipulace a regenerace vtokových zbytků a problémy při zpracování regenerátu.

Nevýhody: [10]

- všechny aplikace nelze realizovat s VVS, zvláště není efektivní při malých sériích a některých typech technických plastů,
- náročnost na technickou úroveň, vybavení a technickou úroveň lidí,
- nákladné formy, neboť VVS jsou předmětem nákupu od specializovaných firem, včetně regulace.

3.5 Temperace forem

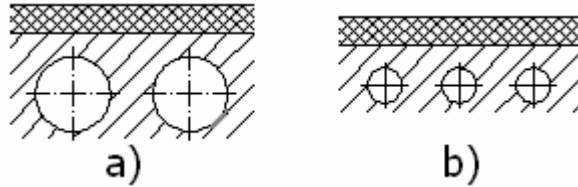
Temperací forem rozumíme jejich udržování na požadované teplotě, ta je zpravidla vyšší než pokojová a nižší než vstřikovací. Teploty formy při vstřikování termoplastu bývají zpravidla mezi 30 a 120 °C. Temperace má vliv na smrštění a tvarové rozměry, jakost povrchu a mechanické vlastnosti výstřiku, jakož i naplňování dutiny formy a tedy též délku vstřikovacího cyklu. Podstatným kritériem je rovnoměrné rozdělení teploty formy. [7]

Na řešení temperančního systému má vliv více faktorů, z nichž je nutno uvést zejména: [7]

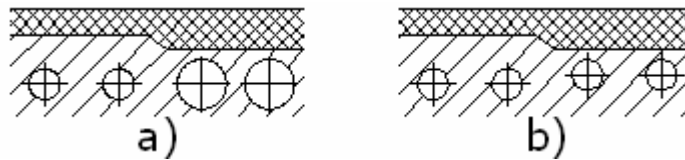
- druh vstřikovaného materiálu,
- velikost a tvar výstřiku,
- požadavky na přesnost výstřiku,
- materiál formy.

Kanálky se umísťují zpravidla tak, aby medium přicházelo do nejteplejšího místa ve formě a aby se teplotní rozdíl ve směru toku zmenšoval. Dají se vyrobit vrtáním, frézováním nebo

soustružením. V některých případech je vhodné použít měděných trubek uložených do drážek, případně zalitých kovem s nízkou teplotou tání. Průtoková rychlost media bývá 0,5-0,4m/s. [7]



Obr. 18 Vliv rozmístění temperačních kanálů [6]
a) chybně, b) správně



Obr. 19 Chlazení výstřiku o různé tloušťce stěny [6]
a) chybně, b) správně

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

Lokální nerovnoměrné rozložení teplot formy má za následek zvětšení rozměrových a zejména tvarových úchylek výstřiku. Někdy se však temperují různé části formy odlišně, aby se eliminovali tvarové deformace způsobené entropií smrštění plastu. [6]

Účinnost temperačního systému je závislá rovněž na druhu proudění v chladicích okruzích. Proudění by mělo být turbulentní (vířivé), nikoli laminární ($Re > 10\ 000$). Tzn., že médium by mělo protékat kolem vhodných překážek a vířit [6]

Úkolem temperace je: [6]

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

3.5.1 Pasivní prostředky temperační

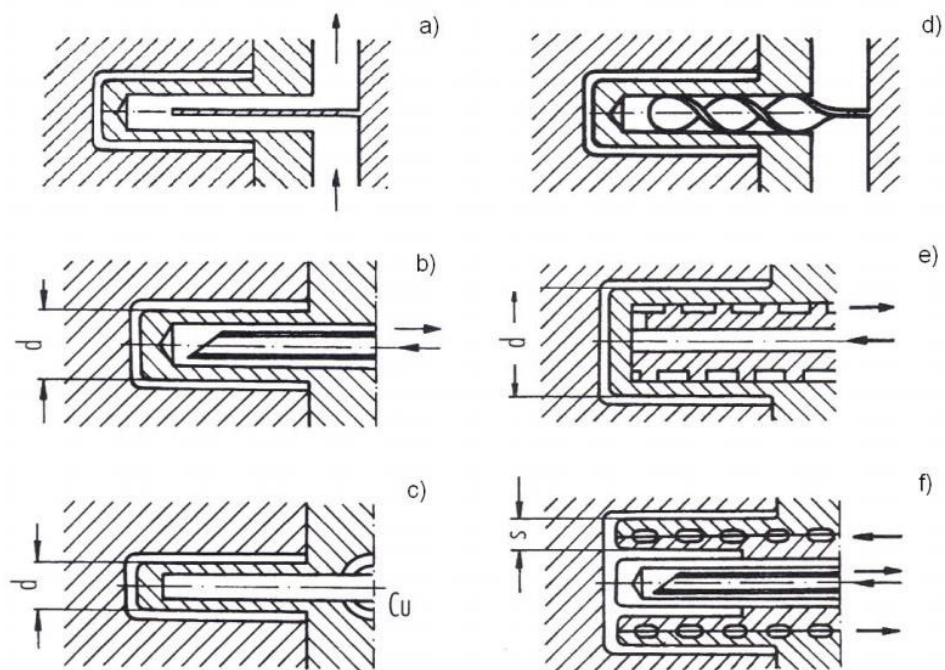
Tento druh temperačních prostředků působí na formu svými fyzikálními vlastnostmi. Lze je rozdělit na: [6,3]

- tepelné izolační materiály, které se využívají především k omezení přestupu tepla do upínacích dese. Zde se volí pevnostně a teplotně odolné materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, nebo také různých nekovových anorganických látek,
- tepelně vodivé materiály se užívají k odvodu respektive přívodu tepla z míst jiným způsobem obtížně temperovatelných do míst, kde lze již odvod resp. přívod tepla zajistit obvyklým způsobem,
- tepelné trubice (angl. heatpipes) jsou nejúčinnějším prostředkem k přenosu tepla. Využívají výparného tepla látky, cirkulující uvnitř trubice v důsledku teplotního gradientu. Tímto způsobem lze zvýšit odvod tepla až o řád, ve srovnání s čistou mědí.

3.5.2 Aktivní prostředky temperační

Jedná se o prostředky přímo na formě. Tyto prostředky teplo odvádí nebo naopak do formy přivání. Aktivní prostředky představují: [6]

- Kapaliny, které proudí nuceným oběhem temperačními kanály. Jejich účinnost závisí na fyzikálních vlastnostech kapaliny, teplotního spádu, ploše a vzdálenosti kanálu od dutiny. Používá se vody, olejů či glykolu,
- u vzduchu se využívá buď volného proudění, nebo nuceného proudění působením přetlaku či podtlaku. Díky malé účinnosti se užívá jen v místech, kam není možné přivést kapalinu pro nedostatek prostoru,
- topné elektrické články se využívají především k temperaci forem na požadovanou vyšší teplotu v případě, kdy ztráty do okolí jsou větší, než teplo dodané vstříkovaným polymerem.



Obr. 20 Ukázka konstrukčních řešení temperačních kanálů

3.6 Odvzdušnění forem

Při plnění formy taveninou je nutno zajistit unik vzduchu, který je obsažen v ní. [10]

Zdánlivě nepatří k dominantním problémům navrhování forem. Jeho důležitost obvykle vyplyne až při zkoušení nástroje. Nedostatečné odvzdušnění může být příčinou nekvalitního vzhledu či nízkých mechanických vlastností. Dutina formy je před vstřikováním naplněna vzduchem. Při jejím plnění taveninou je třeba zajistit unik vzduchu a případných zplodin. Čím je větší rychlost plnění, tím účinnější musí být odvzdušnění tvarové dutiny. [6]

Samotná doba plnění má značný vliv na optimální vlastnosti výstřiku a proto ji nelze přizpůsobovat potřebám respektive chybám při odvzdušňování. [10]

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 většinou není ze vzhledových nebo pevnostních důvodů přípustné. Proto odvzdušnění musí být účinné. [6]

Způsob odvzdušnění: [2]

- hlavní dělicí rovinou formy, vedlejšími rovinami,
- vůlemi mezi tvarovými pevnými částmi formy,
- vůlemi mezi pohyblivými částmi formy,
- odvzdušňovacími kanálky,
- speciálními prostředky do formy vložené (obvykle jako poslední záchrana).

Místa odvzdušnění u jednotlivých výrobků lze určit zkušeností konstruktéra. U komplikovaných výrobků, s více vtoky, nutno zajistit pomocí simulační analýzy plnění (Mold Flow, Cadmould).

Dimenze jednotlivých materiálů byly získány praxí a s přihlédnutím na viskozitu daného materiálu. [10]

Neodvedený uzavřený vzduch v tvarových dutinách vstřikovacích forem může mimo jiné vyvolat následující vady: [2]

- nedostřiky,
- spálená místa,
- tvorba bublin,
- zvýšení nebezpečí výskytu studených spojů a s nimi spojených vad povrchu a lokální snížení pevnosti,
- vnesení vnitřního pnutí do výstřiku,
- zvýšení anizotropie vlastností výstřiků,
- nutnost enormního zvyšování vstřikovacího tlaku,
- velké tlakové spády v dutině formy.

Předpokládané potíže s odvzdušněním u: [2]

- nových forem s dobře slícovanými dělicími rovinami, tvarovými prvky, vyhazovači, čelistmi, jádry atd.,
- forem s vysokou pracovní teplotou,
- údržba formy – účinnost odvzdušnění všemi způsoby, jeho realizace je dána čistotou odvzdušňovacích spár.

3.7 Vyhazování výstřiku

Vyhazování výstřiků z formy je činnost, kdy se z dutiny nebo z tvárníku otevřené formy vysune či vytlačí zhotovený výstřik.

Po ochlazení výstřiku ve formě následuje otevření formy vyhození a výstřiku z dutiny formy. K tomu slouží vyhazovací zařízení, které doplňuje formu a svoji funkci má zajišťovat automaticky cyklus. [6,7]

Má dvě fáze: [6]

- dopředný pohyb, vlastní vyhazování,
- zpětný pohyb, návrat do vyhazovací polohy.

Podmínkou dobrého vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jejich stěn ve směru vyhazování. Úkosalost musí být větší než 30°. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení. Po vyhazování zůstanou obvykle na výstřiku stopy. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může být velmi rozmanité. Mimo výstřiků se vyhazuje i vtokový zbytek. Při vhodném uspořádání se může vtokový zbytek při vyhazování od výstřiku oddělit. Pohyby vyhazovacího systému se vyvine: [6]

- narážením kolíkem o traverzu vstřikovacího stroje při otvírání formy. Narážecí kolík je axiálně seřiditelný,
- hydraulickým nebo pneumatickým zařízením, které bývá obvykle příslušenstvím vstřikovacího stroje.
- ručním vyhazováním nejrůznějšími mechanismy. Je vhodné pro jednoduché a zkušební formy. Obvykle bývá umístěno na formě.

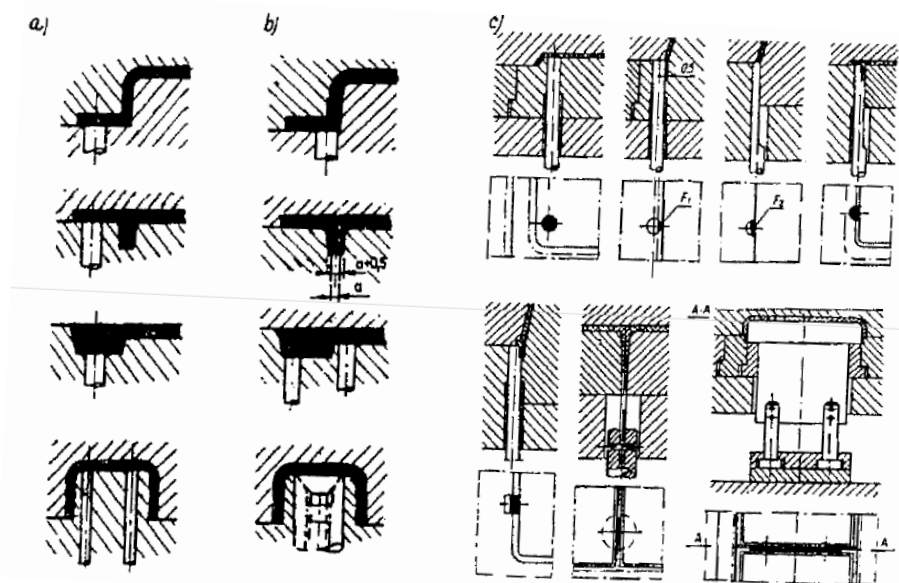
Zpětný pohyb je zajišťován: [6]

- vratnými kolíky,
- pružinami vždy v kombinaci s jiným systémem
- speciálními mechanickými, vzduchovými či hydraulickými zařízeními.

3.7.1 Vyhazování pomocí kolíků

Nejčastějším a nejlevnějším způsobem vyhazování výstřiku. Ustálený systém lze použít všude tam, kde jsou možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhození.

Kolík se má opírat o stěnu, ale nesmí se při vyhazování bortit. Mohla by nastat trvalá deformace. Po styčných plochách vyhazovacích kolíků zůstávají na výstřiku stopy. Není vhodné je umisťovat na vzhledových plochách. [6]

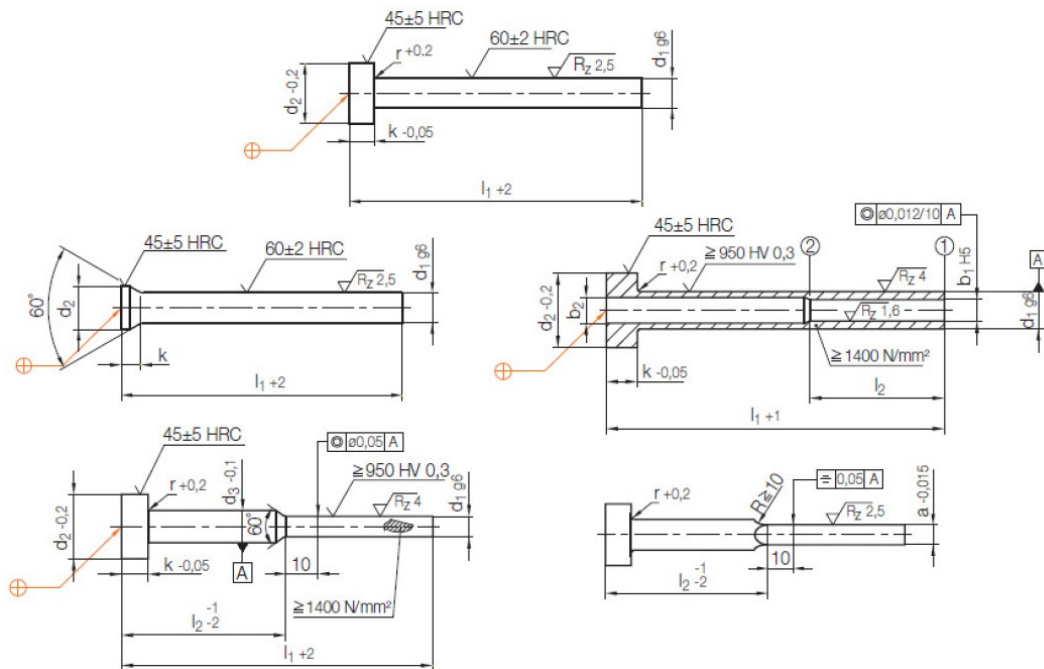


Obr. 21 Umístění vyhazovacích kolíků [6]

a) Chybně, b) správně, c) různé způsoby

U tvarových vyhazovačů musí být zajištěny kolíkem. Vyhazovací desky slouží k ukotvení a ovládní vyhazovacích kolíků. Desky s většími průměry kolíků nemusí být vedeny. Tyto desky dosedají na dosedky.

Vyhazovací kolíky jsou základním prvkem mechanického vyhazování. Mají být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Jsou obvykle válcované. Tvar i způsob ukotvení má nejrůznější podobu. [6]



Obr. 22 Příklad vyhazovacích kolíků [19]

Další způsoby vyhazování jsou: [6]

- mechanicky,
- stírací deskou,
- pomocí šikmých vyhazovačů,
- dvoustupňové,
- vzduchové,
- hydraulické.

3.8 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. [6,10]

Významný činitel pro splnění těchto podmínek je materiál forem, který je ovlivněn provozními podmínkami výroby, určené: [6]

- druhem vstřikovaného plastu,
- podmínkami vstřikování,
- vstřikovacím strojem,
- přesností a jakostí výrobku.

Široký výběr materiálu byl zredukován na úzký sortiment jakostí i rozměrů. Z toho se dále dává přednost univerzálním typů materiálu s širokým rozsahem užitečných vlastností.

Takové druhy představují: [6]

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

Oceli jsou nejvýznačnějším druhem požadovaných materiálů.

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci. Proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení, životnost a umístění. [6]

Od použitých materiálů na formy se vyžaduje především: [6]

- dostatečná mechanická pevnost,
- dobrá obrobitelnost.

Z hlediska technologie výroby výstřiků má ještě materiál funkčních dílů zajišťovat speciální požadavky na kvalitu struktury, která je dána: [6]

- dobrou leštitelností a obrusitelností,
- zvýšenou otěruvzdorností,
- odolností proti korozi,
- odolností proti chemickým vlivům plasty,
- vyhovující kalitelnost a prokalitelnost,
- stálost rozměrů a minimální deformaci při kalení.

4 KONSTRUKCE VYSTŘIKU

Konstrukční návrh součásti 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. [3]

4.1 Zásady konstrukce

Nejdůležitější etapou realizace plastového dílu je jeho správná konstrukce, a to jak z hlediska funkčního, tak z pohledu technologie. Samotná, byť koncepčně dobře řešená forma a optimální technologie výroby, již prvotní nedostatky konstrukce dílu neodstraní. Konstrukce výstřiku musí splňovat v zásadě dvě hlavní hlediska – funkční a technologická.

Funkční hlediska:

- bezpečnost vstřikovaného výrobku,
- funkce vstřikovaného výrobku (užitné, estetické, ergonomické apod.).

Technologická hlediska:

- tloušťky stěn, žeber apod,
- volba vhodného typu plastu,
- zaformovatelnost,
- technologické úkosy a rádiusy.

Z výše uvedených důvodů je žádoucí, aby již konstruktér daného dílu z plastu měl základní znalosti o technologických zásadách jeho řešení, a technických možnostech použitého materiálu v podmínkách jeho provozu. [17]

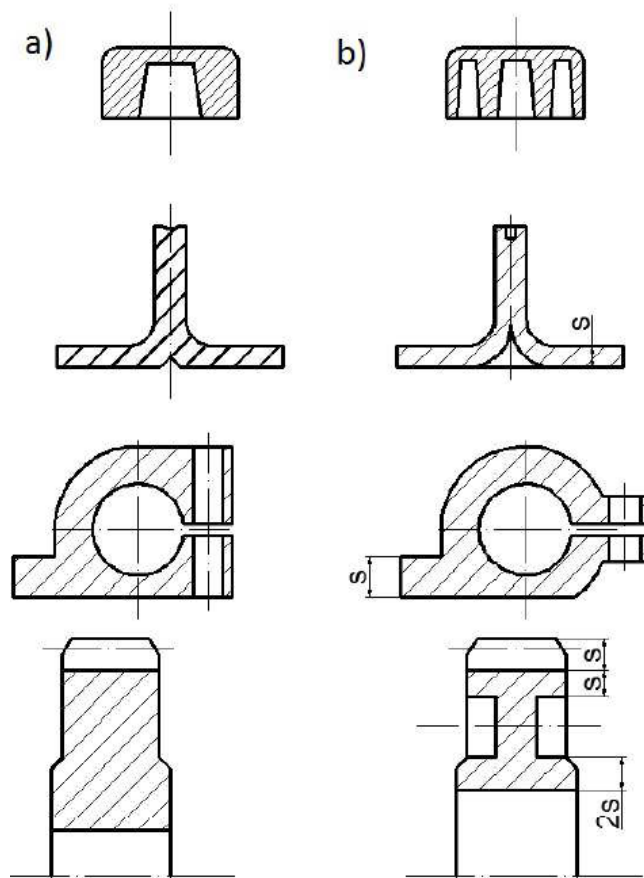
Celková konstrukce součásti musí především splňovat vhodnou polohu dělicí roviny (dělicích rovin) a tím je určen i způsob jejího zaformování. K ní se váže koncepce vyhazování, vtokového systému, odvzdušnění, směr úkosů, přesnost, vzhled apod. [3]

4.1.1 Tloušťka stěn

Tloušťka stěn musí splnit svou přísnou závislost s dráhou toku plastu. V úzké dutině se tavenina rychle ochlazuje a tuhne, tlusté stěny zase vyžadují dlouhou dobu chlazení. Různě tlusté stěny s hromaděním materiálu nestejně tuhnou, vzniká vnitřní pnutí a různé povrchové vady, propadliny a lunkry.

- Závisí na délce toku plastu.
- Závisí na uzavírací síle.

Zásady správné tloušťky stěn vyžadují jednotnou tloušťku, náhlé přechody mají být bez ostrých hran a v případě, kde se nelze vyhnout tlustším stěnám (místům), se provede vhodné vylehčení, nejlépe na opačné straně. Tloušťka stěn, nebo žeber se zaoblenou přechodovou hranou nemá překročit 0,8 násobek tloušťky hlavní stěny. [3]



Obr. 23 Konstrukce výstřiku – a) špatně, b) správně

4.1.2 Úkosy, podkosy a zaoblení

Úkosy a podkosy jsou sklony stěn výstřiku kolmo k dělicí rovině, kterými se umožňuje, nebo u podkosů zabraňuje, vyjímání výstřiku z dutiny formy. Jejich velikost se řídí požadovanou funkcí. Svým uspořádáním jsou buď vnější, nebo vnitřní. Volbou jejich velikosti se ovlivňuje především smrštění, elasticita plastu, povrch stěn formy a automatizace výroby. U vnitřních stěn se provádí větší a u vnějších menší úkos. Podkosy, s výjimkou technologických, komplikují konstrukci i funkci formy a proto je snaha se jim vyhnout. [3]

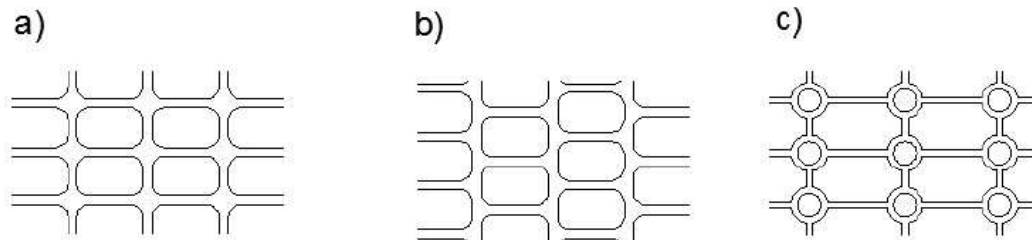
Pro usnadnění toku taveniny se zaoblují rohy, hrany a kouty. Zaoblení zabrání koncentraci napětí v těch to místech. Dalším důvodem je snížení opotřebení formy v důsledku použití menších tlaků při vstřikování. Tím, že se zaoblí hrany a rohy, se zvýší rázová houževnatost součásti až o 50%. [3]

4.1.3 Hrany

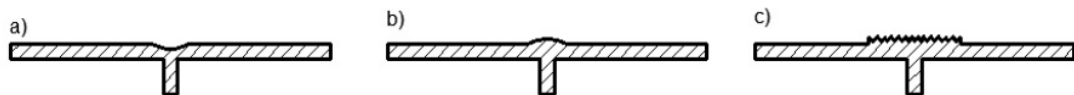
Zaoblením hran, rohů a koutů se usnadní tok taveniny, zabrání se koncentraci napětí v těchto místech a sníží se i opotřebení formy, protože přechody s ostrými hranami vyžadují vyšší vstřikovací tlaky. Rázová houževnatost se tím zvýší až o 50 %. [3]

4.1.4 Žebra

Žebra lze rozdělit podle svého účinku, jenž plní na součásti, nebo v dutině formy. Prvním typem žeber jsou žebra technická. Ta zabezpečují pevnost a tuhost součásti. Druhým typem žeber jsou žebra technologická, jenž slouží především k optimálnímu plnění dutiny formy a brání zborcení stěn. Některá žebra nemají vliv na použití, ale spíše na vzhled výrobku. Na obr. 8 jsou vidět vhodné konstrukce žeber a jejich rozměry. Na obr. 9 jsou vidět způsoby pro úpravu možných vzniklých propadlin. [3]



Obr. 24 Různá uspořádání žeber



Obr. 25 Způsoby korekce propadlin u žeber na výstřiku

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jednotlivé cíle pro tuto diplomovou práci jsou:

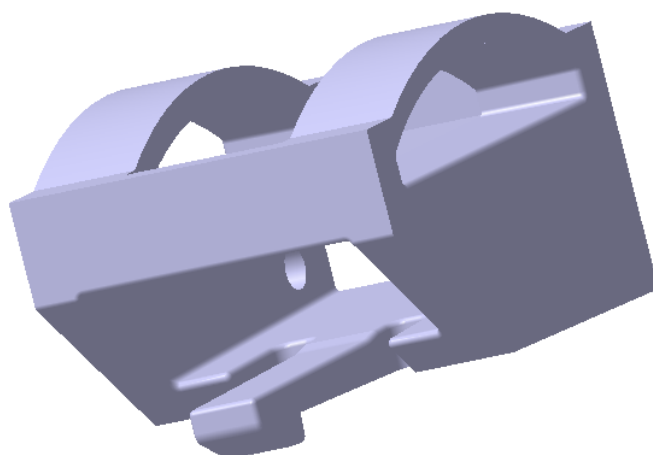
- nakreslit model plastového dílu,
- provést konstrukční návrh vstřikovací formy pro zadaný díl,
- návrh doložit výkresovou dokumentací
- provést analýzu na ověření návrhu.

V praktické části je cílem vytvořit vstřikovací formu pro daný plastový výrobek, jenž slouží jako spojovací a propojovací prvek v automobilu. Navržená vstřikovací forma bude realizována v konstrukčním programu CATIA V5-R19 s pomocí normálií z digitálních katalogů Hasco. Ve zmiňovaném konstrukčním programu byla vytvořena také výkresová dokumentace, jež se skládá z řezu formy a kusovníku.

Dále je cílem ověřit konstrukční návrh pomocí simulací v programu Autodesk Moldflow Insight 2011.

6 ZADANÝ DÍL

Zadaný plastový díl je výrobkem, jenž se používá jako pomocný díl v interiéru automobilu značky Volvo. Díl je namontován do několika modelů této značky. Funkce dílu spočívá v jištění na něj navázaných dílů, jako jsou například lišty, krytky a taktéž i kabeláž. Slouží tedy jako spojovací a propojovací prvek v automobilu. Výrobek musí být dostatečně tuhý a musí vymezit polohu pro další díly.



Obr. 26 Model plastového dílu ve 3D

Tab. 2 Obecné parametry dílu

Plocha	198 cm ²
Objem	1,259 cm ³
Hmotnost	1,71 g
Přibližné rozměry v x š x d	11,2 x 14,3 x 20,4 (mm)

6.1 Materiál a specifikace materiálu výrobku

Materiál výrobku je Polyamid 6 plněný 10% skelných vláken.

Polyamidy jsou částečně krystalické termoplasty a řadí se do skupiny plastů, plastů konstrukčních. Řadí se mezi jedy z nejpoužívanějších plastů ve strojírenství. Používají se k výrobě namáhaných technických součástí. Vyznačují se vysokou mechanickou pevností a to jak při dynamickém tak statickém namáhání, nízkým tečením při dlouhodobém

zatížení, jsou použitelné v širokém rozsahu teplot. Jsou odolné proti oděru, mají dobrou biologickou odolnost, a také vynikají elektroizolačními vlastnostmi. Vlastnosti výrobku závisí na % vody ve výrobku. Polyamid k nasákavosti vody je náchylný. Před vstřikováním se musí vysoušet. Vstřikuje se při teplotách okolo 200 až 280 °C. Forma se temperuje na teploty 40 až 120 °C. V tomto případě teplota formy by neměla přesáhnout 90 °C. Temperačním médiem je v tomto případě voda. Výrobky z polyamidu se vyrábí v různých modifikacích jak s plnivý tak v různém barevném provedení.

Vstřikovaný materiál je vyztužen z 10% skelných vláken. Skleněná vlákna mají průměr (5 - 20 μm). Díky této výztuze se stává obrobek zesílenějším vůči ohybu, tlaku a stárnutí.

Tab. 3 Vybrané vlastnosti materiálu PA6 [22,23]

Mateiál	PA6 s 10% skelných vláken
Obchodní název	Ultramid B3GM24
Od firmy	BASF Engineering Plastick
Materiálová struktura	Krystalický polymer
Hustota	1,36 (g/cm ³)
Modul pružnosti v tahu	6,85 (GPa)
Teplota měknutí	214 (°C)
Bod tání	220 (°C)
Teplota sušení	80 (°C)
Doba sušení	4 hod
Vlhkost	6,9 – 7,5 %

7 KONSTRUKCE FORMY

Vstřikovací forma je komplikovaný nástroj na zhotovování výrobků z plastu s velkou reprodukovatelností. Při návrhu vstřikovací formy je využito stavebnicového systému konstrukce formy. Specializované firmy, jež se zabývají výrobou stavebnicového systému vstřikovacích forem nabízejí, také 3D modely jednotlivých dílů. Tyto normalizované díly je vhodné používat nejen ke zkrácení výrobních časů ohledně samotné výroby ale také z ekonomických úspor a do jisté míry se usnadňuje montáž.

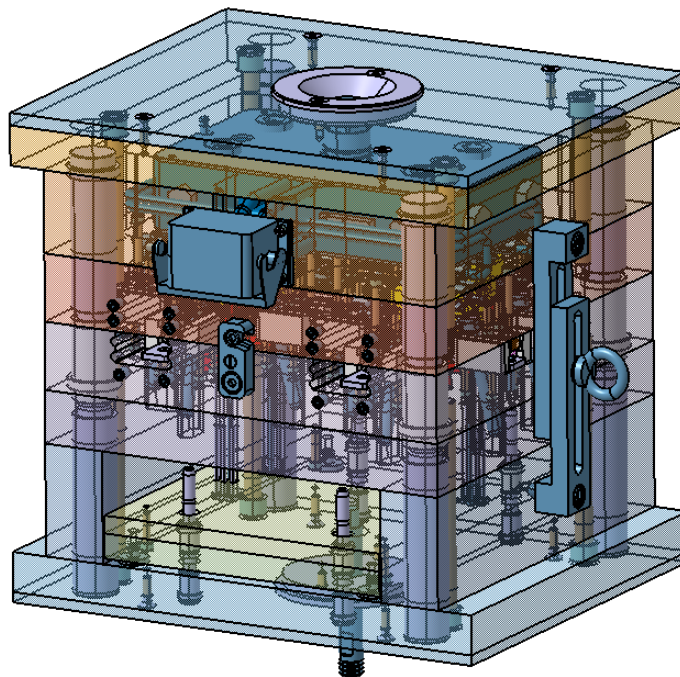
K realizaci 3D návrhu formy byl využit program CATIA V5 R19. Především ze jmenovaného programu byl využit modul Mold Tooling Design. Tento modul je specializován na vytváření 3D modelu forem. K realizaci bylo také využito digitálních normálů a to od firmy Hasco a Meusburger.

Forma se skládá ze tří hlavních částí a tvarových částí, jež realizují tvar výstřiku.

Tři hlavní části:

- Vstřikovací část – pravá strana formy
- Uzavírací část – levá strana formy
- Odformovací část – vyhazovací systém

Forma byla navržena sedmidesková o rozměrech 296x346x329,5.



Obr. 27 Pohled na uzavřenou formu

7.1 Zaformování dílu

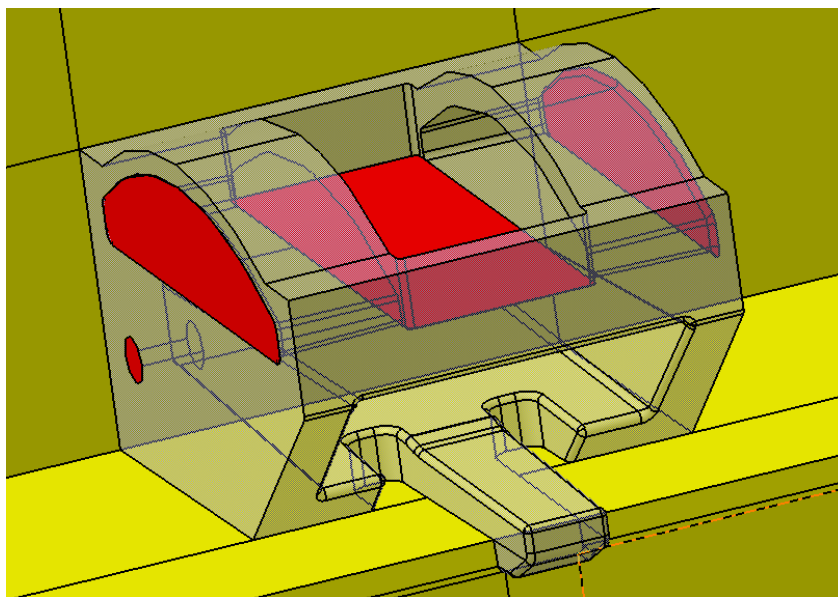
Při navrhování násobnosti formy, je třeba si uvědomit hned několik faktorů, jež mají vliv na násobnost. Jedná se především o požadované množství výrobků, přesnost, kvalitu, složitost a v neposlední řadě jde také o ekonomiku výroby. Obecně platí, že pro součásti, které jsou rozměrné a mají složitý tvar, je nejvhodnější jednonásobná forma a naopak výrobky, které jsou jednoduché, a předpokládá se u nich masová spotřeba, je vhodná forma několikanásobná. U několikanásobná formy má negativní vliv na reologické vlastnosti dopravované taveniny. Z hlediska kvality výrobku je nejlepší co nejmenší násobnost formy.

Forma byla zvolená čtyřnásobná. Bylo přihlédnuto ke tvaru daného výrobku a jeho rozměrové nenáročnosti. Vtok byl zvolen horký a byl vygenerován z digitálních normálií a to od firmy Hasco.

7.1.1 Dělicí roviny

Dělicí rovina patří k rozhodujícím krokům a má na výslednou podobu formy značný vliv. Musí se rozhodnout tak, aby byl dodržen tvar výrobku, zaformování výrobku, ekonomičnost výroby i jednoduchost formy. Dělicí rovina je navržena, aby větší část výstřiku zůstala v tvárnici (levá strana formy). Po otevření formy bude výstřík vyhozen pomocí vyhazovačů.

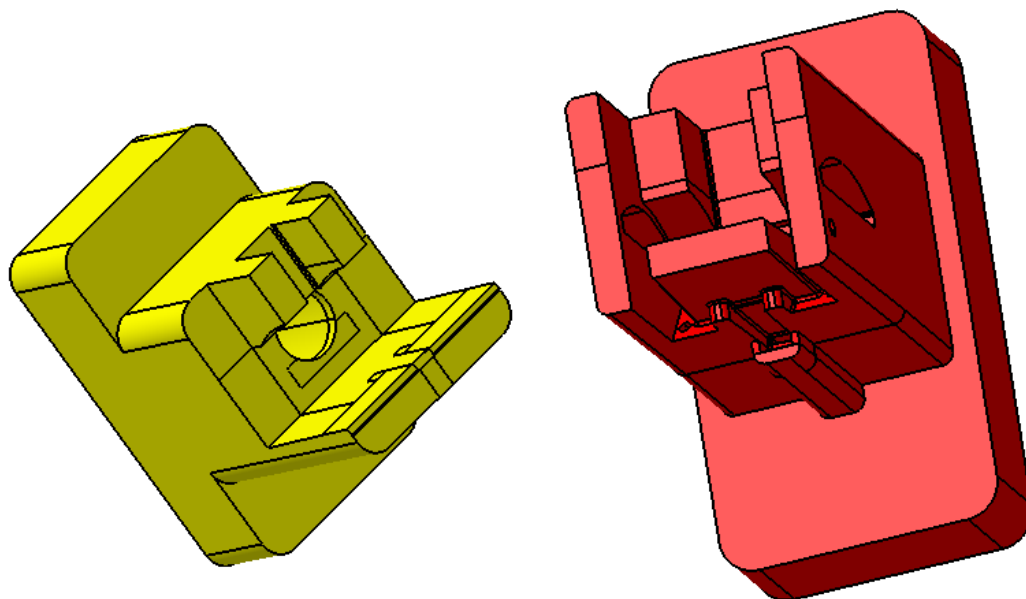
Dále zde je případ vedlejších rovin, jež slouží k bočnímu odformování.



Obr. 28 Hlavní dělicí rovina (žlutě) rovina posuvných jader (červeně)

7.1.2 Tvárník a tvárnice

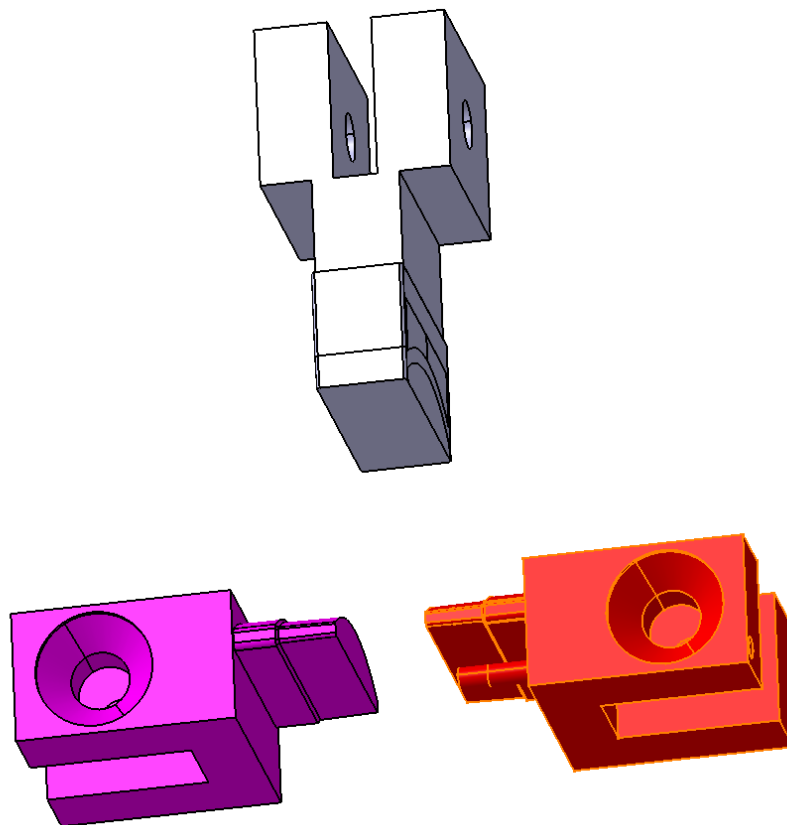
Vytvořená vstřikovací forma obsahuje osm tvarových částí. Čtyři tvárnice a čtyři tvárníky. Tvárnice i tvárníky jsou ve formě ukotveny tvarově. Tvárník, tvárnice tvoří dutinu ve formě. Musí odolávat vysokým tlakům a teplotám, které jsou na ně kladeny. Po vstříknutí polymeru udávají konečný tvar výrobku. Tvarové část tvárnice a tvárníku jsou vytvořeny negativem.



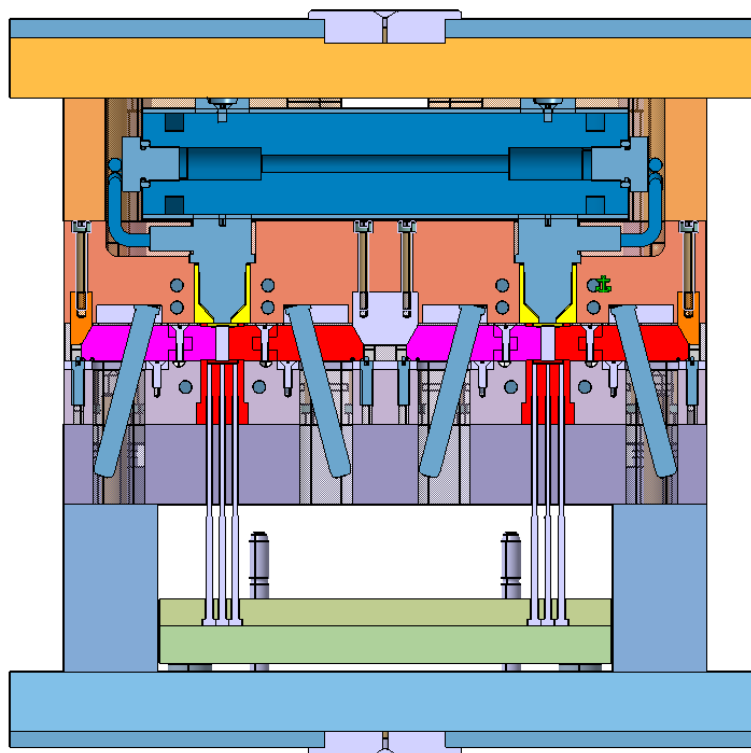
Obr. 29 Tvárník a tvárnice

7.1.3 Boční odformování

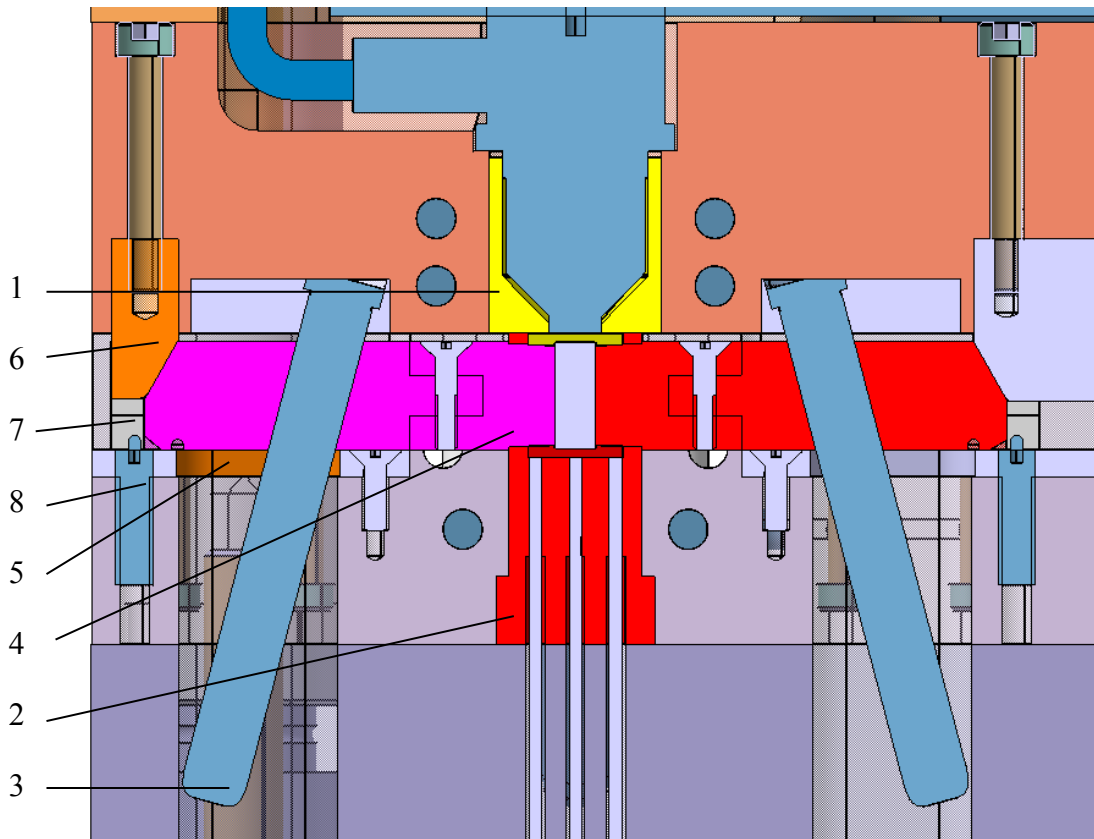
Boční odformování stěn a dutin výrobku je realizováno za pomoci třech tvarových posuvných kostek na jeden výstřik. Odformování zajišťují šikmé kolíky. Obecně odformování lze řešit využitím šikmých, lomených kolíků, hydraulickými tahači a vedením. Posuvné kostky jezdí po vodících lištách. Lišty jsou přišroubovány k opěrným deskám. Ze spodní části jezdí posuvné kostky po kluzných deskách, jež jsou přišroubovány také k opěrné desce. Konečnou polohu posuvných zajišťuje pojistná kulička. Ta při mezní poloze zaskočí do posuvné kostky. Silou uzavírání zase vyskočí. Posuvná kostka se pohybuje posuvně vratným pohybem za pomoci šikmých kolíků umístěných v pravé straně formy. Zámek nám slouží jako konečné vystředění polohy při zavření formy.



Obr. 30 Posuvné tvarové části



Obr. 31 Řez formou se zaměřením na posuvná jádra



Obr. 32 Detail posuvného jádra (1. Tvárník, 2. Tvárnice, 3. Kolík, 4. Posuvná jádra, 5. Kluzná deska, 6. Zámek, 7. Vodící lišta, 8. Pojistná kulička)

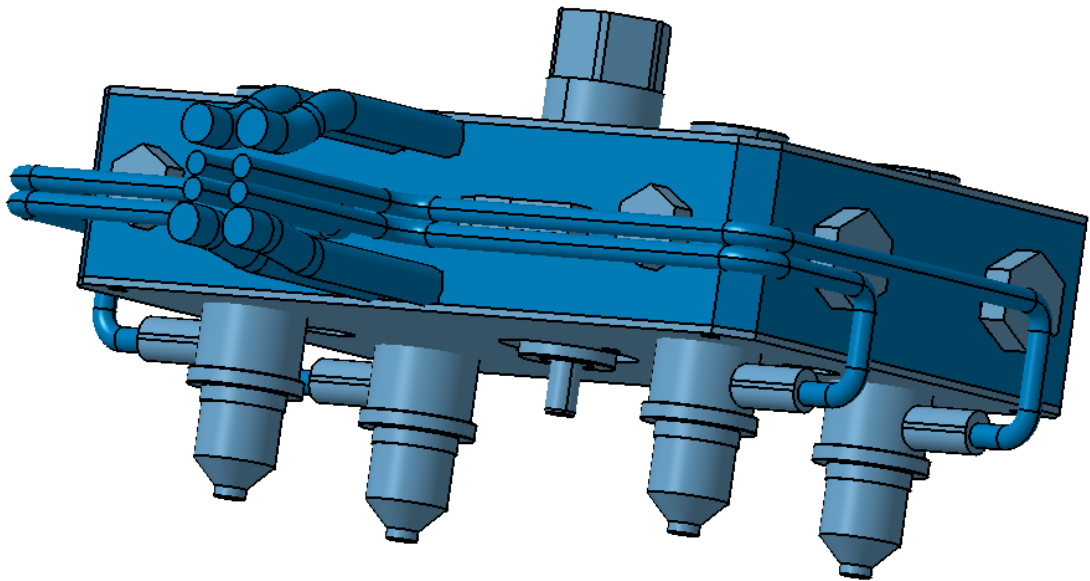
7.2 Vtokový systém

Vtokový systém formy zajišťuje při výstřiku vedení roztaveného polymeru do tvářecí dutiny. Toto plnění musí proběhnout v co nejkratším časovém úseku.

Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním ovlivňují:

- spotřebu polymeru,
- náročnost opracování na začištění výstřiku,
- rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku,
- energetickou náročnost výroby.

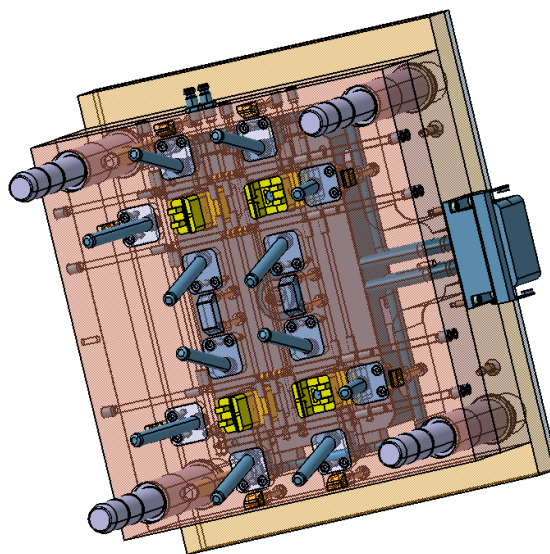
Tavenina by měla dorazit ke všem ústím vtoku ve stejnou dobu a s hodnotou stejného tlaku. Vtokový systém byl vybrán z katalogu Hasco. Jedná se o horký rozvodný blok s označením HBG170419103622.



Obr. 33 Horký rozvodný blok

7.3 Pravá strana formy

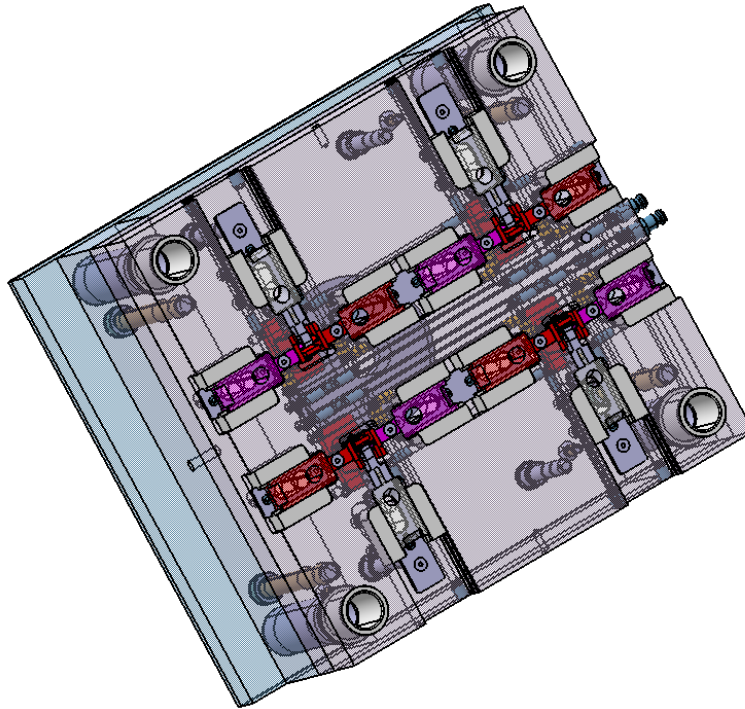
Pravá část vstřikovací formy je nepohyblivá. Je připevněná k upínací desce stroje a to na straně s vstřikovací jednotkou. Částí formy jsou upínací deska, pravá opěrná deska, mezideska pravá, tvárníky, kolíky a přídržovače kolíku, šrouby, zámek, zásuvka, temperační prostředky a izolační deska, horký vtokový systém. Tento pohled je i v 2D dokumentaci.



Obr. 34 Pravá strana formy

7.4 Levá strana formy

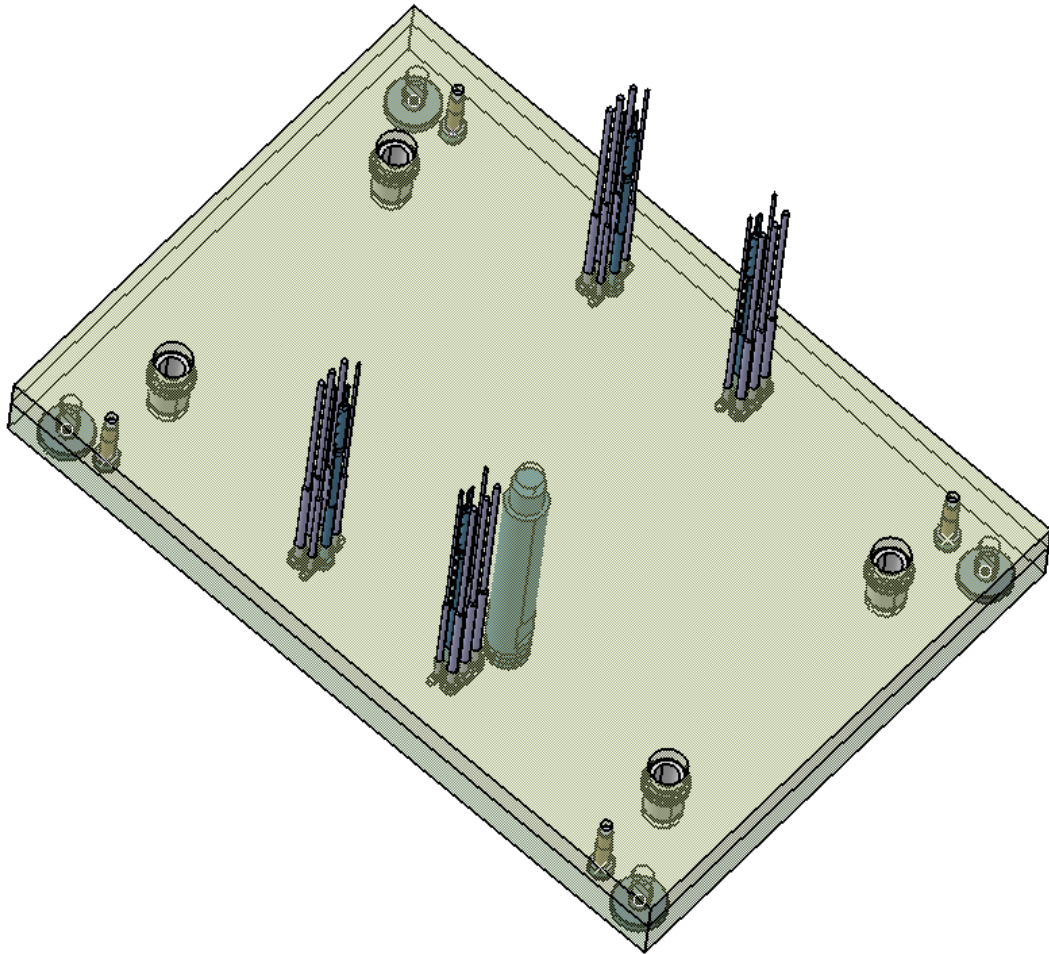
Levá část vstřikovací formy umožňuje svými pohyby otevírání a zavírání formy. Uložení pohyblivé části je na upínací desce uzavíracího mechanismu vstřikovacího stroje. Součástí sestavy je upínací deska levá, levá opěrná deska, mezideska levá, tvárnice, šrouby, temperační prostředky a izolační deska, vodící lišty, posuvné kostky, středící trubky. Tento pohled je i v 2D dokumentaci.



Obr. 35 Levá strana formy

7.5 Odformovací systém

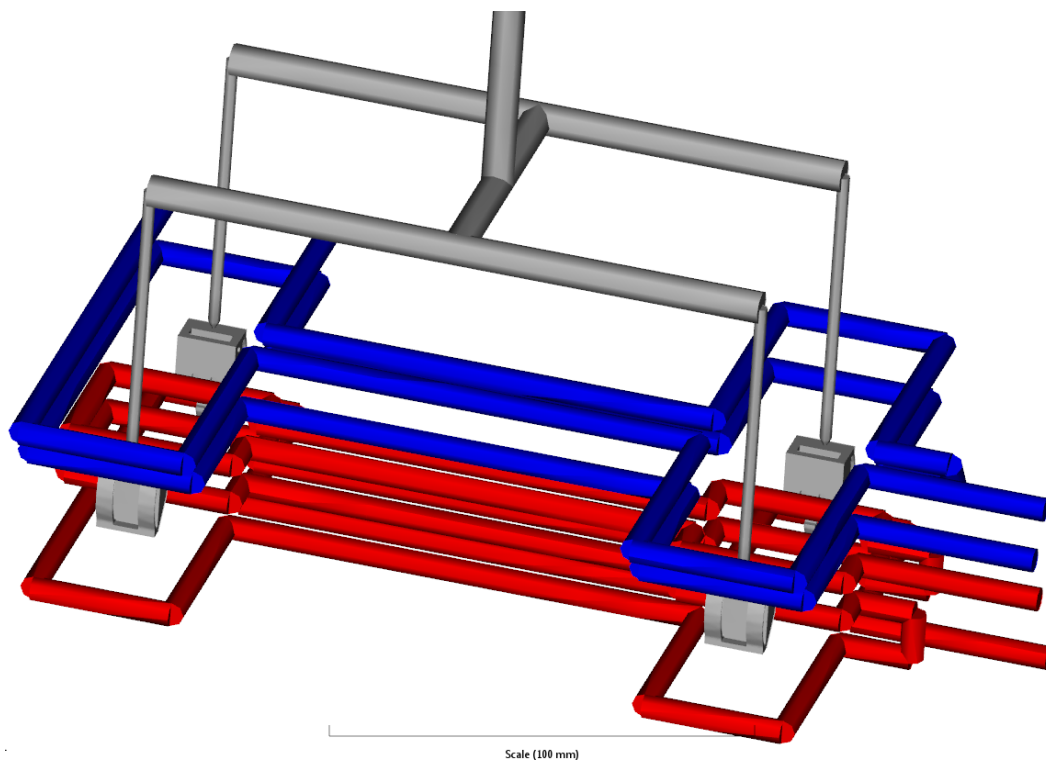
Část formy, jež je odpovědná za vyhození výrobku se skládá z několika částí. Odformování realizuje 24 vyhazovačů. Na vyhození jednoho dílu je zapotřebí jeden vyhazovač obdélníkový o stranách 0,6x2mm, dva vyhazovače o průměru 1mm, jež jsou upravené k dosedání na šikmou plochu a tři vyhazovače o průměru 2mm. Vyhazovače se nachází mezi opěrnou a vyhazovací deskou. Vedení vyhazovacího systému zabezpečují čtyři kolíky a pohyb soustavy zajišťuje táhlo.



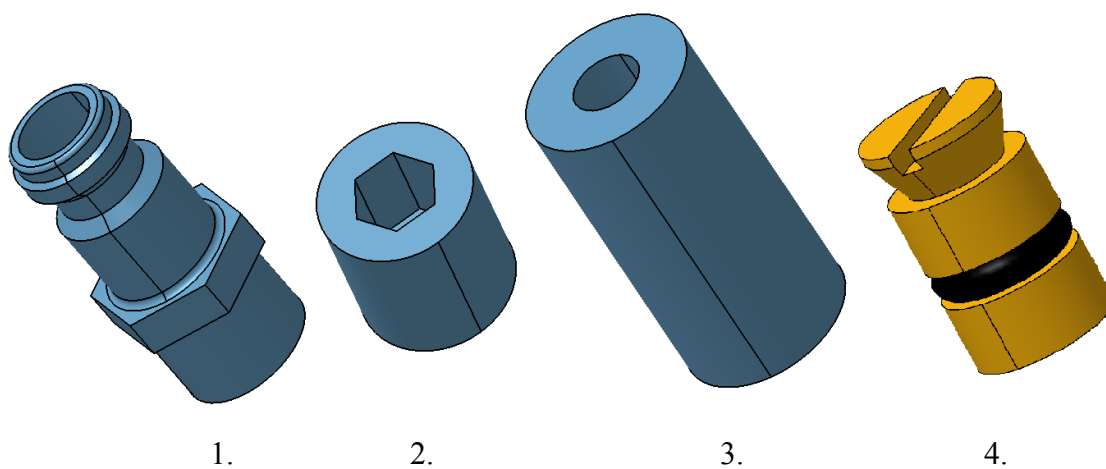
Obr. 36 Vyhozovací systém

7.6 Temperace

Temperaci formy zajišťují dva temperační okruhy. V okruzích cirkuluje voda o teplotě 75°C. Kanálky mají průměr 6 mm. Na začátku vstupuje voda do přípojovacích nátrubek, pokračuje do formy k uzavíracím zátkám, které kapalině vymezují směr. Byly použity, uzavírací zátky dvojího typu, bylo potřeno různých délek uzavíracích zátek. Při ukončení oběhu voda odchází opět přípojovacími nátrubky. Slepé či prázdné kanálky uzavírá uzavírací šroub.



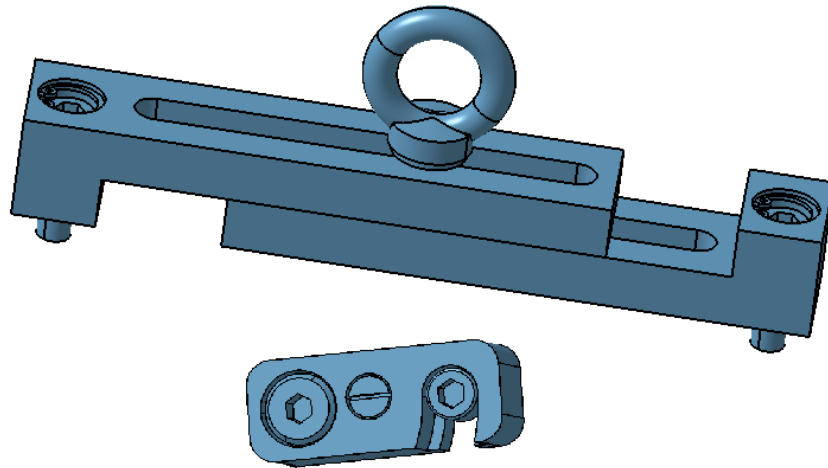
Obr. 37 Temperace pravé (modrá barva) a levé (červená barva) strany formy



Obr. 38 Temperační prvky (katalog Hasco – 1. přípojovací nátrubek, 2. uzavírací šroub, 3. uzavírací zátka, katalog Meusburger – 3. uzavírací zátka)

7.7 Transportní a zajišťovací systémy

Pro zlepšení manipulace při transportu a usazování formy byly na ní umístěny tyto zařízení. Transportní můstek je sešroubován s levou a pravou stranou. Brání pootvření a slouží k usnadnění transportu. Transportní spona je jak již název napovídá na zajištění proti pootvření při transportu. Transportní spony jsou dvě a na pevno umístěny jsou na levé straně formy.



Obr. 39 Transportní můstek a transportní spona

8 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Vstřikovací forma byla navržena a na jejím základě byl zvolen vstřikovací stroj od německé firmy Arburg typ Allrounder 370 S

Při výběru vstřikovacího stroje se orientujeme podle:

- rozteče vodících sloupků vstřikovacího stroje,
- velikost uzavírací síly vstřikovacího stroje,
- plastikačního výkonu vstřikovacího stroje.

Podle těchto podmínek na navržený konstrukční návrh formy byl zvolen vstřikovací stroj.

Parametry určující při vstřikovacího stroje:

- rozměry formy 346x294x329,5
- uzavírací síla 2 tun => 20kN
- dutina formy (objem) $1,259\text{cm}^3 * 4 + 20\% = 5,08 \Rightarrow 5,1\text{cm}^3$



Obr. 40 Vstřikovací stroj typ Allrounder 370 S [25]

Tab. 4 Základní parametry stroje typu Allroundes 370 S [25]

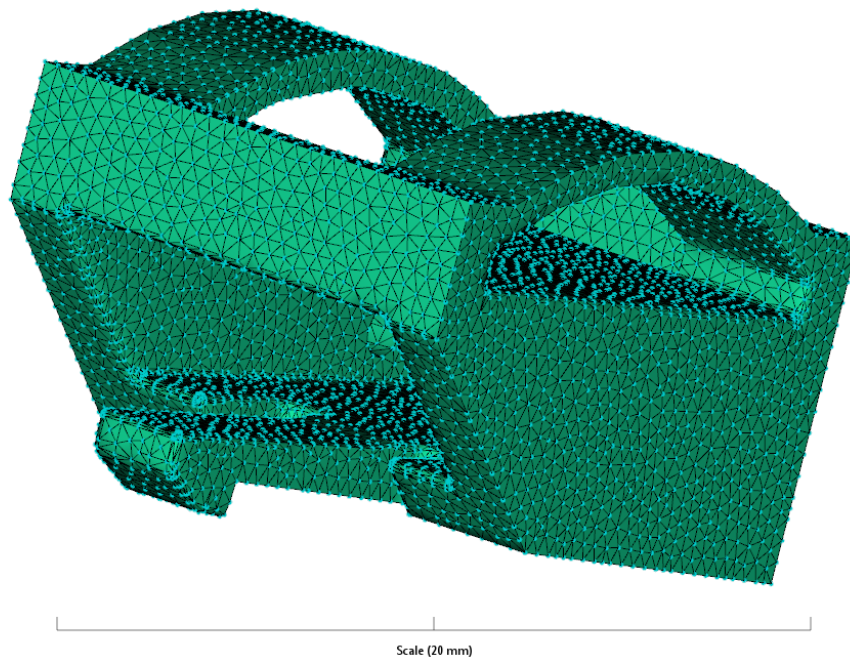
Výrobce	Arburg
Maximální uzavírací síla	500 (kN) – 50 tun
Maximální objem dávky	31 (cm ³)
Zdvih vyhazovačů maximální	125 mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupky	370 x 370 (mm)
Velikost upínací desky	510 x 510 (mm)
Celkový příkon stroje	18,7 (kW)
Průměr šneku	25 (mm)
Maximální vyhazovací síla	30 (kN)

9 SIMULAČNÍ ANALÝZY A VÝSLEDKY

Analýzy vstřikovacího procesu byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Insight 2016. Analýze je podrobena dutina formy, její plnění materiálem a ideální poloha vtoku. Dále byly provedeny analýzy chlazení a deformační. Díky využití tohoto softwaru, se předchází možným vadám, jež by mohly vzniknout. Díky predikci chování polymeru je možno výrazně zefektivnit a zlevnit výrobu.

Jakmile byl do programu vložen model výstřiku, nebyl již nijak konstrukčně upravován. Následně byl model vysít'ování sítí typu Dual Domain. Po vybrání materiálu, přiřazení parametrů, zvolení temperační kapaliny a nastavení procesních podmínek byla zpuštěna analýza Cool-Fill-Pack-Warp. Tato analýza vyžaduje nastavení procesních podmínek, jež byly nastaveny takto:

- | | |
|------------------------------|-------|
| - Počáteční teplota formy | 80°C |
| - Teplota taveniny | 240°C |
| - Čas otevření formy | 3s |
| - Čas vstřikování | 0,5s |
| - Přepnutí na dotlak | 98% |
| - Teplota temperačního média | 75°C |



Obr. 41 Vysít'ovaný díl v Moldflow

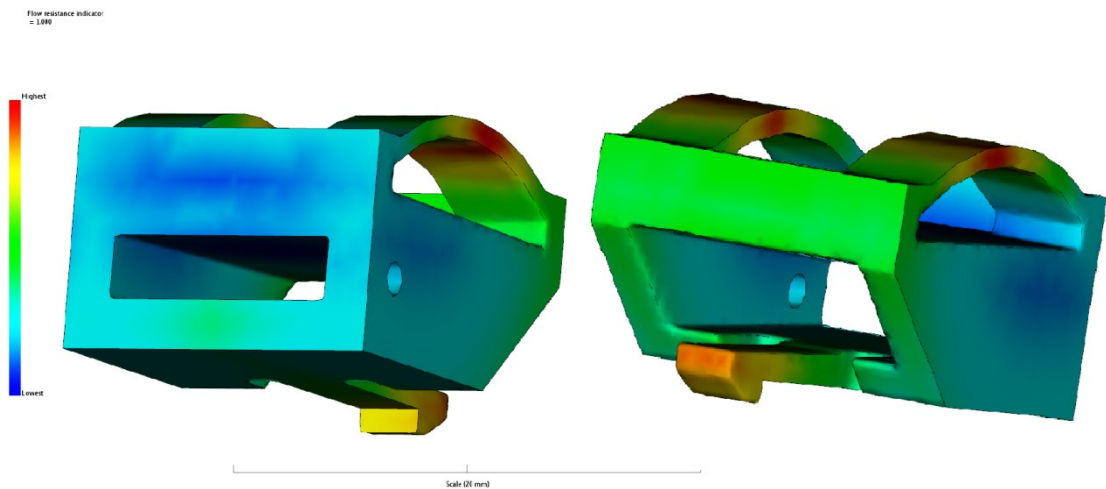
9.1 Analýza umístění vtokového ústí

Analýzy mají účel pomoci najít optimální umístění vtokového ústí na daném výrobku. Provádí se před konstrukcí formy. Výsledky z analýz byly použity při realizaci konstrukčního návrhu formy.

9.1.1 Ukazatel odporu toku taveniny

Výsledkem je zobrazení oblastí, které kladou odpor proti toku taveniny.

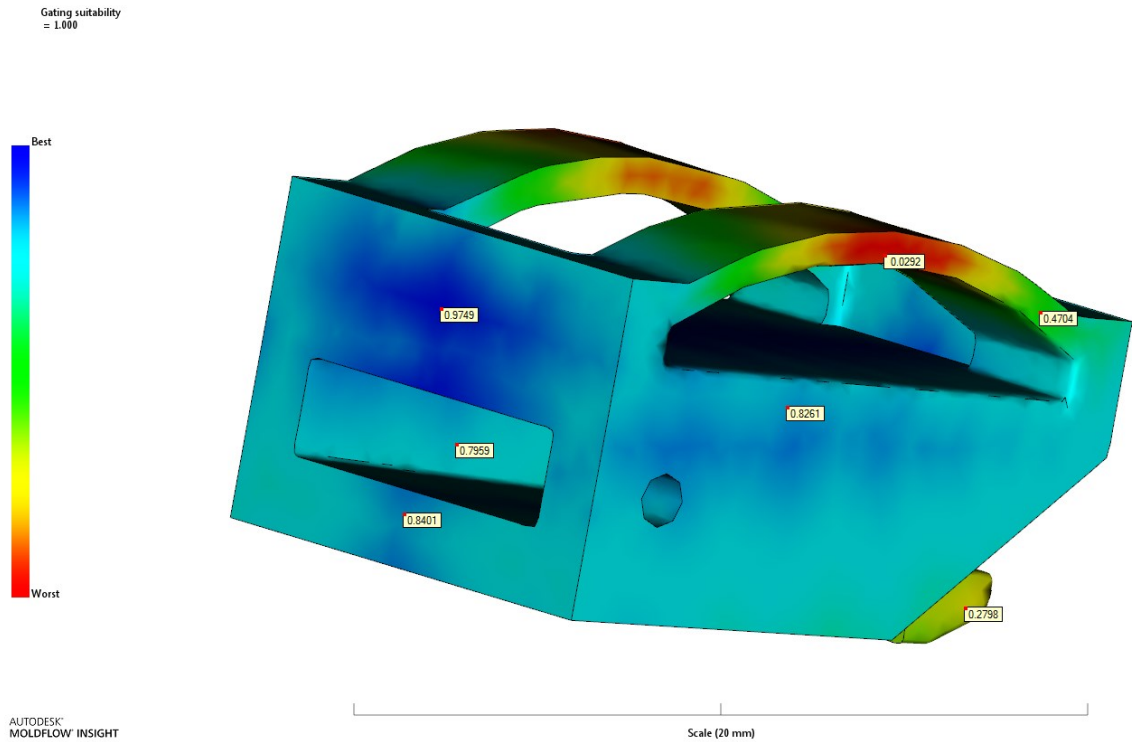
Analýza umožňuje zvolit místo vtoku a typ vtoku. Modrá barva zachycuje místa s nejmenším odporem, červená naopak s největším odporem toku taveniny.



Obr. 42 Analýza odporu taveniny

9.1.2 Ideální poloha vtokového ústí

Analýza dokáže vyhodnotit nejlepší místa pro umístění vtokového ústí. Nejsou však v analýze zahrnuty „vnější“ vlivy, jako například požadavek na pohledovou plochu či nutnost neumístění vtoku z důvodu zvýšení složitosti a prodražení konstrukce. Výsledky jsou brány jako doporučení nikoli jako nutnost vytvoření.



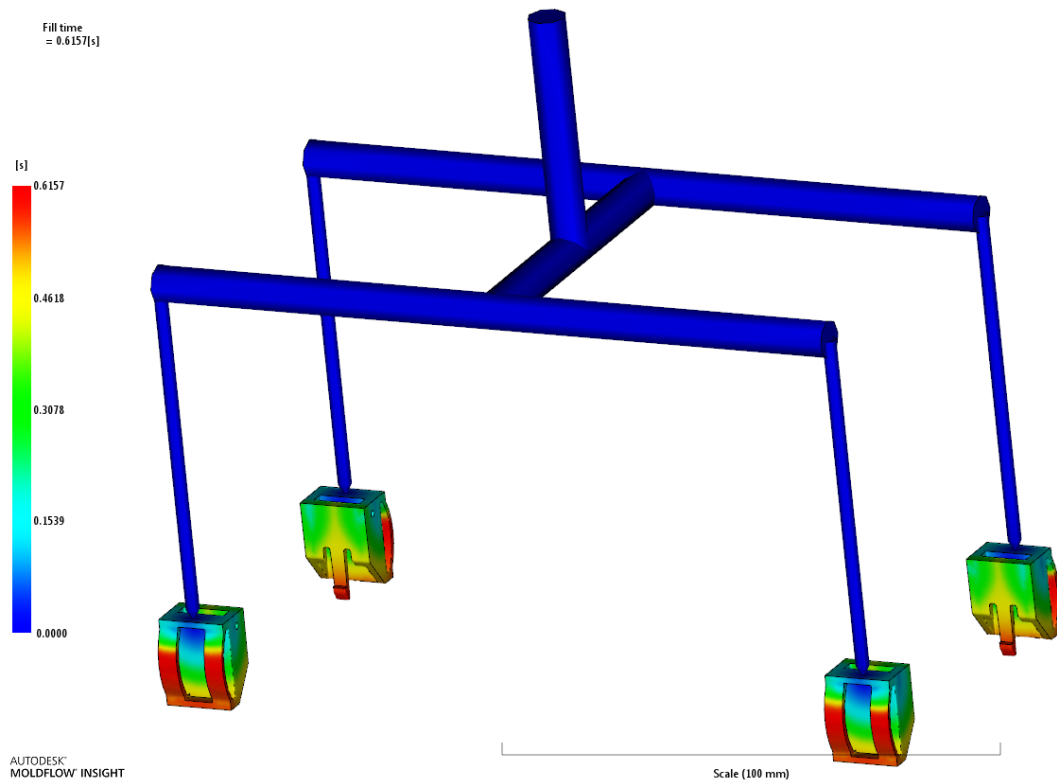
Obr. 43 Ideální poloha vtokového ústí

Na obrázku je vyznačených několik hodnot. Zvolena byla hodnota v levé horní čtvrtině s hodnotou 0,9749. Nejlepší hodnota je 1. Ta je značena modrou barvou, naopak nejhorší místo na umístění polohu vtoku je značeno červenou barvou.

9.2 Výsledky analýz plnění a dotlaku

9.2.1 Čas plnění dutiny formy

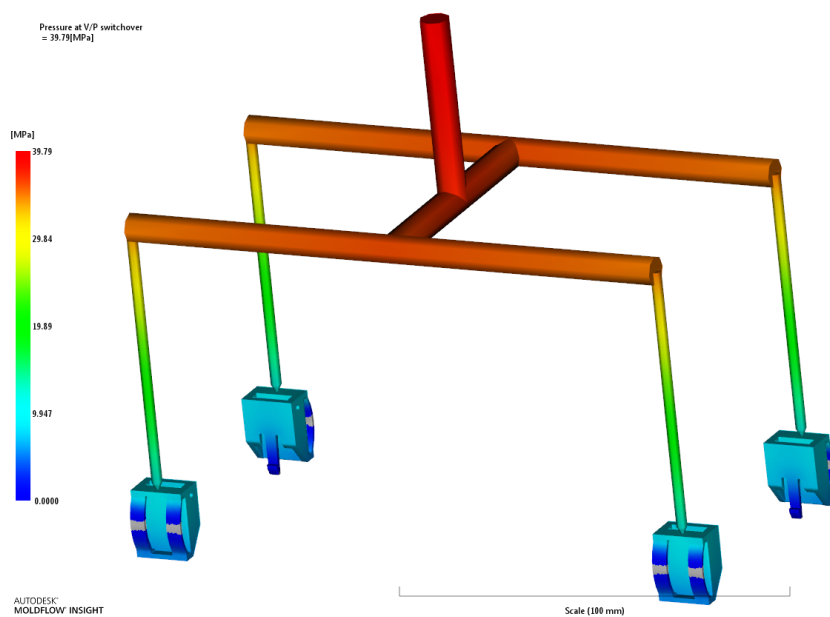
Čas plnění vyjadřuje graficky i časově potřebný čas k zaplnění dutiny formy. Lze vidět na obrázku časový tok. Modrou barvou místa, která se plní nejdříve a červená je zaplňují později. V tomto případě je maximální čas plnění výstřiku za 0,616s.



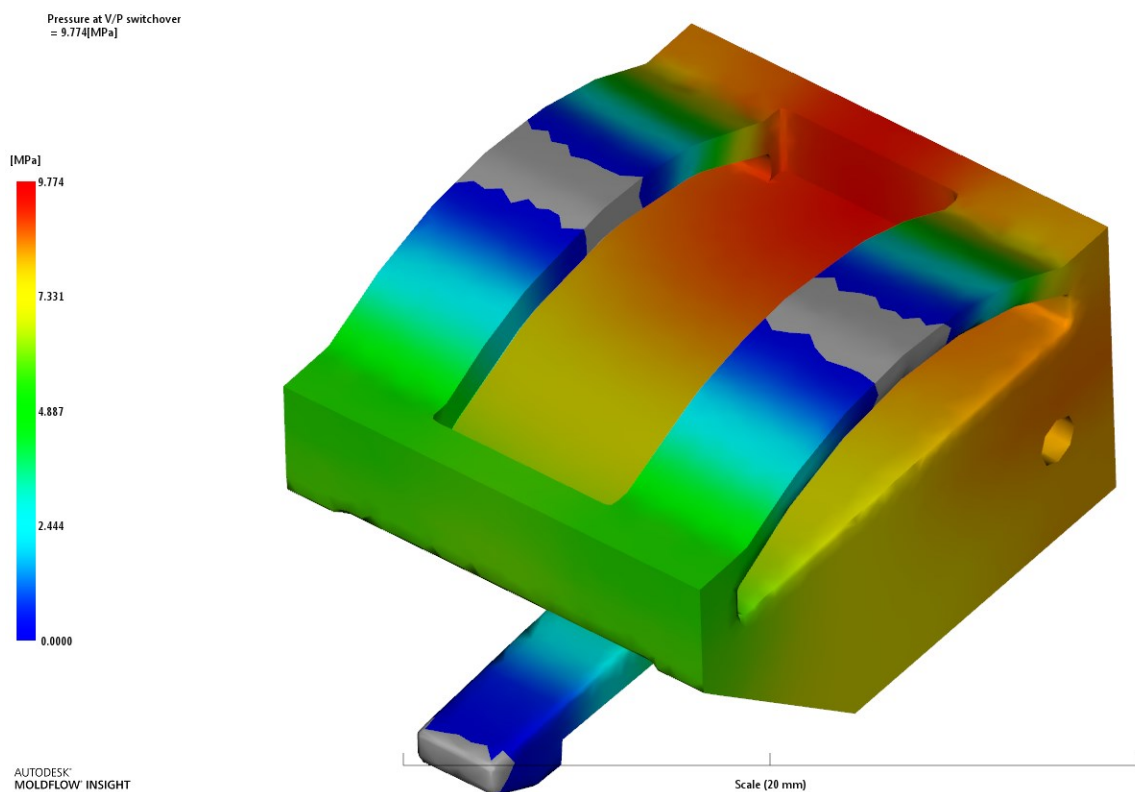
Obr. 44 Čas plnění

9.2.2 Tlak v čase přepnutí na dotlak

V okamžiku kdy je dutina zaplněna 98% taveninou, dojde k přepnutí na dotlak. Kdyby se tak nestalo, vznikla by tlaková špička, kvůli které by mohl vzniknout přetok.



Obr. 45 Přepnutí z tlaku na dotlak



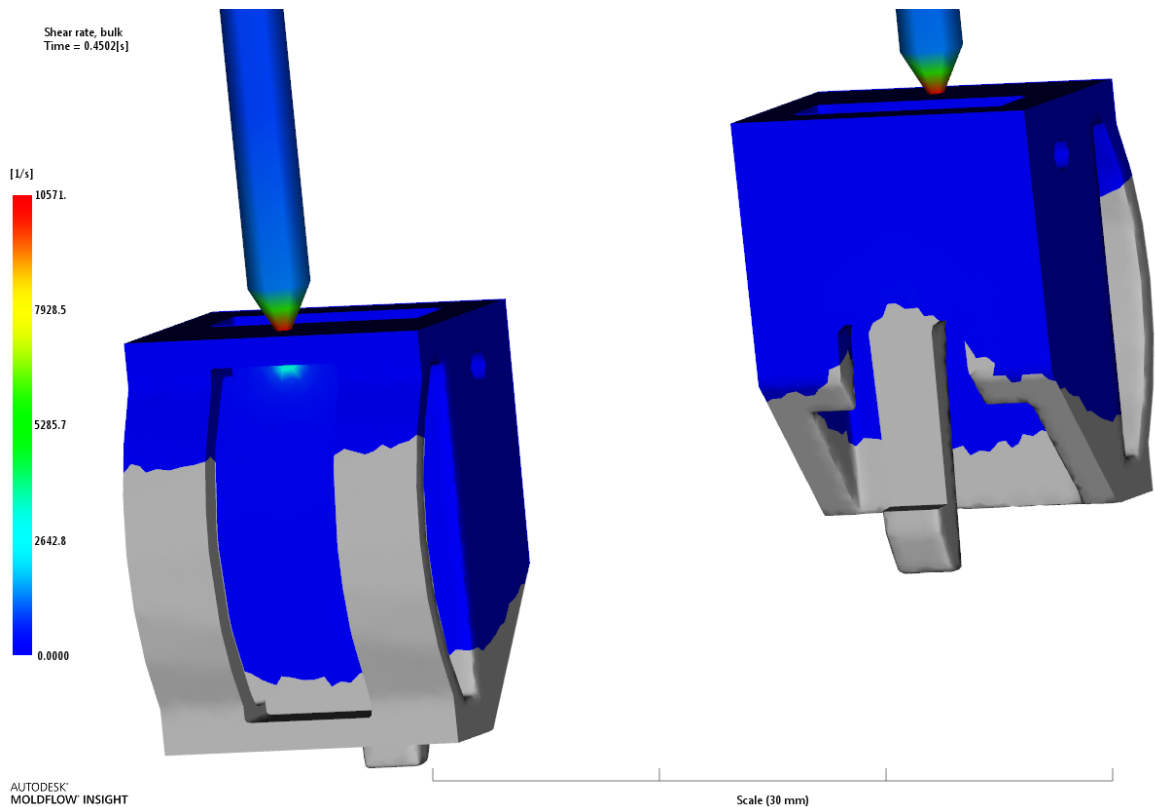
Obr. 46 Přepnutí z tlaku na dotlak detail

Maximálních tlaků dosahuje tavenina v kanálech rozvodného bloku s hodnotou až 37,79 MPa. V nejdálkových místech dutiny od vtokového ústí a dalších místech je tlak nulový. V těchto oblastech lze pozorovat nezaplňená místa, která se zaplní působením dotlaku.

Rozdíl v hodnotách tlaku na obrázcích je způsoben zacílením se jen na dutiny a je zanedbána vtoková soustava. Pro lepší přehlednost byla i upravena barevnost a škála rozsahu tlaku. Smysl a hodnoty jsou však stejné.

9.2.3 Maximální smykové napětí

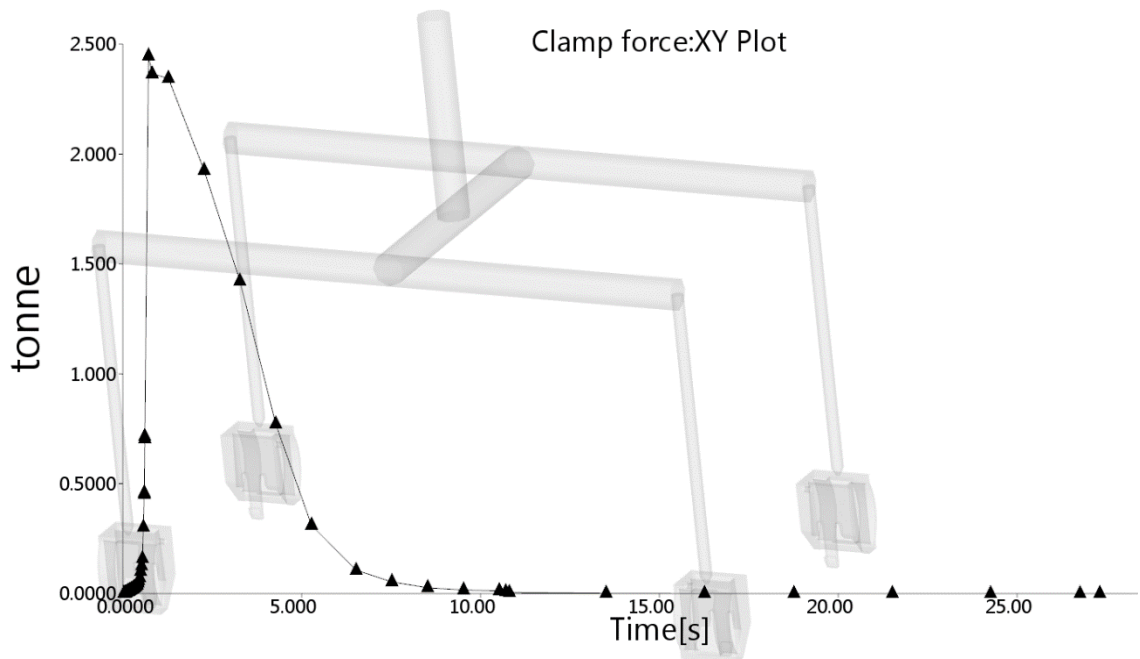
Zde analýza znázorňuje maximální rychlost smykové deformace. Dle materiálového listu z Autodesk Moldflow je maximální rychlost smykové deformace 60 0001/s. Nejvyšší hodnota je ve vtokovém ústí, jedná se o místo, ve kterém tavenina je nejvíce namáhána (smýkána). Jestliže by hodnota byla příliš vysoká a přesahovala by únosnou mez, musel by být upraven vtok, jinak by mohlo k degradaci materiálu a tím i znehodnocení mechanických vlastností celého výstřiku. Maximální hodnota smykové rychlosti je 10 571/s. Nedošlo k překročení mezní hodnoty. Na obrázku je stav v čase plnění 0,575 s.



Obr. 47 Průběh vstřikovacího tlaku

9.2.4 Uzavírací síla

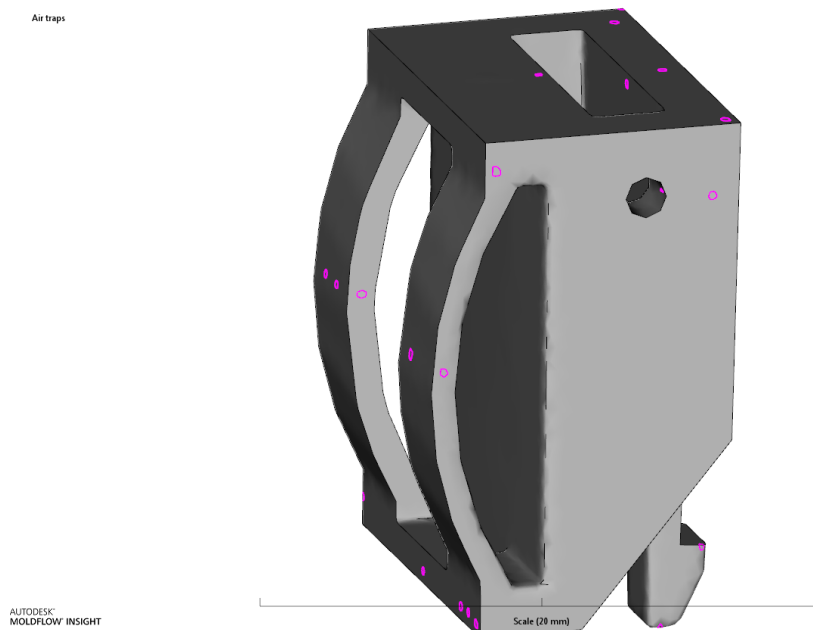
Analýza popisuje v průběhu vstřikovacího cyklu průběh uzavírací síly. Vstřikovaná tavenina má tendenci otevřít formu. Proti této síle působí síla uzavírací. Na základě této uzavírací síly vybíráme vstřikovací stroj. Uzavírací síla v bodě 0,718s je nejvyšší a má hodnotu 2,446 tun (24,46 kN). Stroj, jenž byl vybrán vygeneruje maximální uzavírací sílu 500 kN. Na základě výsledku lze konstatovat, že vstřikovací stroj přetlačí taveninu a udrží formu uzavřenou po celý průběh vstřikovacího cyklu.



Obr. 48 Průběh uzavírací síly

9.2.5 Vzduchové kapsy

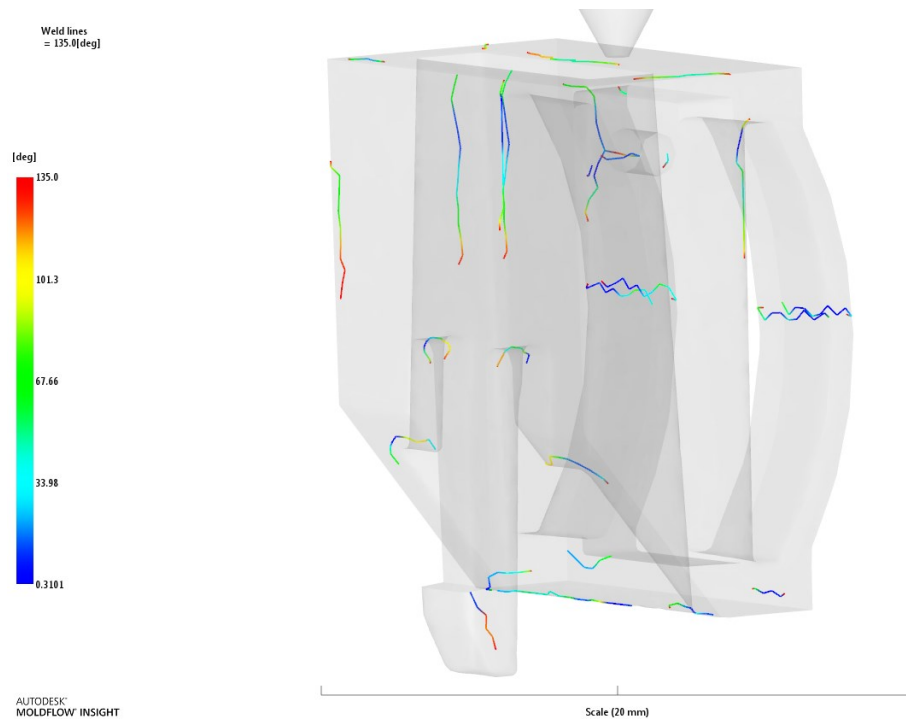
Dle analýzy je výskyt vzduchových kapes pravděpodobný v rozích výrobku a v bodě stýkání se čel tavenin. Je bráno v úvahu, že forma není dokonale těsná a přebytečný vzduch má tedy možnost uniknout z dutiny formy.



Obr. 49 Vzduchové kapsy

9.2.6 Studené spoje

Studené spoje se vytváří v místech styku čel taveniny, které pak mohou mít vliv na mechanické a vzhledové vlastnosti. Studené spoje jsou zapříčiněny stékáním čel tavenin s teplotou, jež je nízká na to, aby se makromolekulární řetězce kvalitně spojily. V tomto případě může být opatřením zvýšení teploty vstřikovací formy či materiálu.



Obr. 50 Vizualizace studených spojů

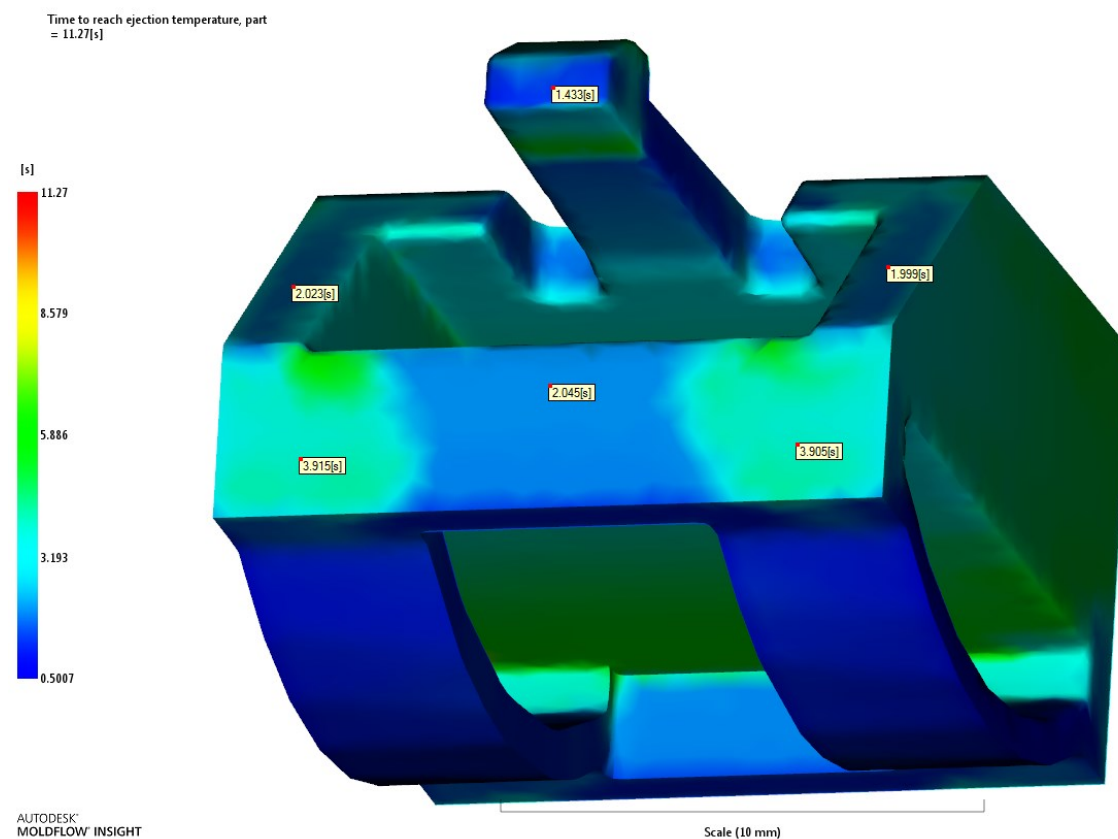
9.3 Analýzy chlazení

Analýzy chlazení jsou optimalizační prostředek k ladění temperačních systémů forem. Posuzují správnost rozmístění chladicích kanálků, můstku atd. Jsou uzpůsobeny k analýzám odvodu tepla z určených míst. Již ale nejsou uzpůsobeny na varování technologického rázu. Konstruktor si musí být vědom, kde mohou a v jaké vzdálenosti vést prostředky temperačního systému (např. vzdálenost od dutin či mezi jednotlivými kanály).

9.3.1 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

V ideálním případě by měly všechny části výstřiku dosáhnout vyhazovací teploty ve stejném čase. Z obrázku je však patrné, že celý výstřik bude ochlazen na vyhazovací teplotu až za 11,3 s. V tomto případě není potřeba čekat, až se celý výstřik ochladí na

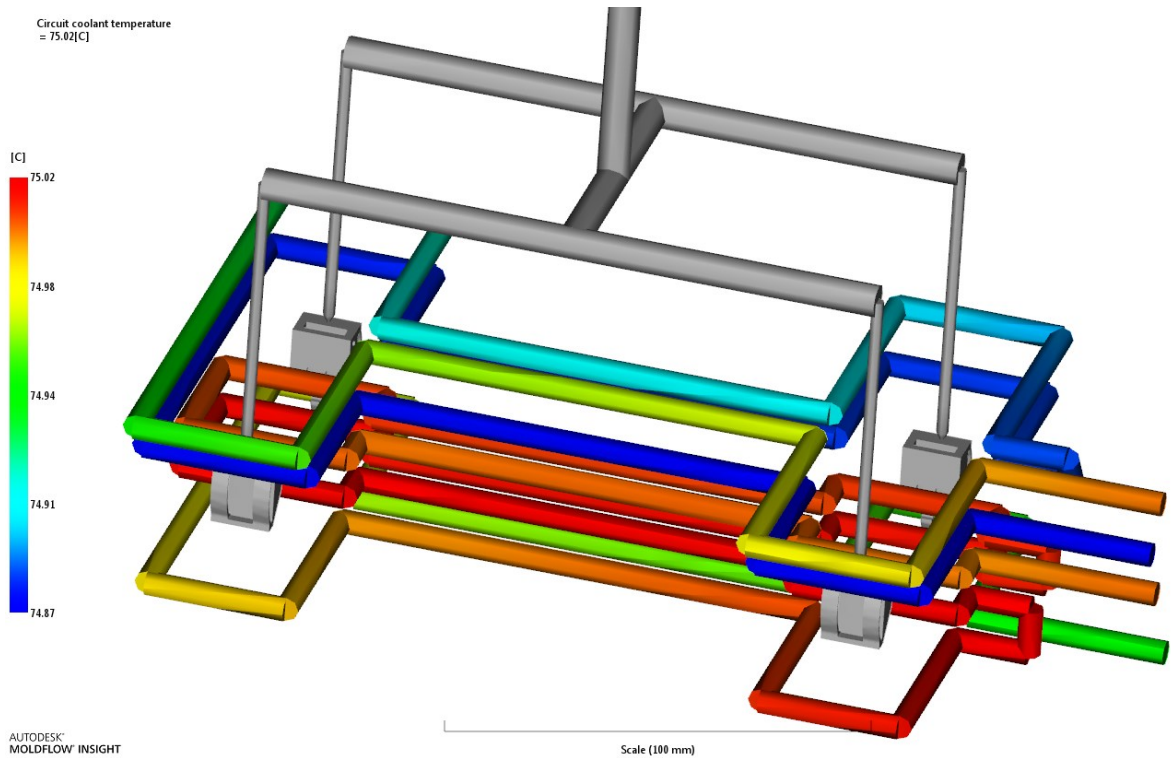
požadovanou teplotu. Zvýrazněné hodnoty jsou umístěny na místech šesti vyhazovačů. V místech, kde vyhazovače působí na výstřik, dojde k ochlazení za 4s. Díky tomu může být výstřik doformován dříve, než dojde k ochlazení celého objemu výrobku na vyhazovací teplotu.



Obr. 51 Čas potřebný k vyhození

9.3.2 Teplota chladicího média

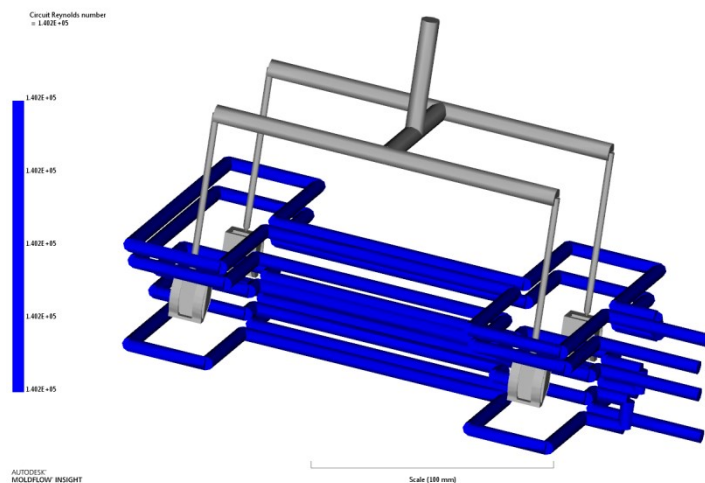
Teplotní rozdíl mezi vstupní teplotou a výstupní teplotou temperančního média by neměl překročit 4°C , aby byla rovnoměrná rozvržena teplota a tak nevznikala vnitřní pnutí a deformace. Tato podmínka je splněná. Médium při vstupu má 75°C a výstupu $74,87^{\circ}\text{C}$. Na obrázku tak jak v celé této kapitole lze vidět dva okruhy.



Obr. 52 Teplota chladicího média

9.3.3 Reynoldsovo číslo

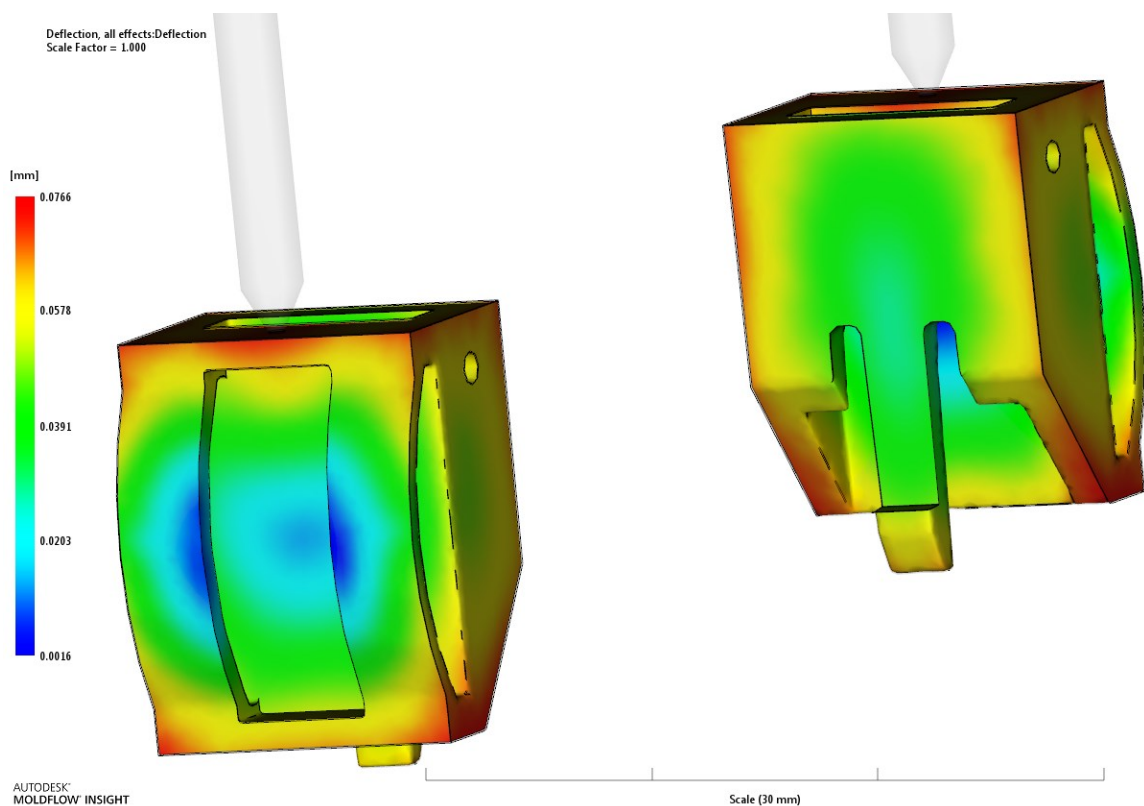
Výsledek analýzy zobrazuje Reynoldsovo číslo. Při užívání formy je nutné zajistit vhodné čerpadlo s dostatečným objemovým průtokem a tlakem. V navrženém případě je hodnota objemových průtoků temperačního média 15 l/min. Reynoldsovo číslo je důležité z hlediska vytvoření turbulentního proudění média, jež je dobré pro správný odvod tepla z dutiny formy. Zaručení turbulentního toku je nad překročení hodnoty Reynoldsova čísla 10 000. Proudění vyšlo nad toto požadovanou hodnotu a to je hodnota 140 200.



Obr. 53 Reynoldsovo číslo

9.4 Analýza celková deformace

Celková deformace zobrazuje velikost vzniklé deformace na výstřiku. Je způsobena různými vlivy. Mezi tyto vlivy můžeme uvést vysokou teplotu formy, nedostatečnou dobu chlazení, špatný výběr materiálu atd. Největší hodnota celkové deformace je nejlépe pozorovatelná na nejdelších stranách (rozměrech) výstřiku. Největší celková deformace má hodnotu 0,076. Vzhledem k rozměru výrobku je deformace zanedbatelná.



Obr. 54 Celková deformace

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Zhotovení diplomové práce bylo provedeno dle požadavků oficiálního zadání.

Diplomová práce byla rozdělena do dvou částí a to na teoretickou a praktickou. První částí, je reprezentována vypracovanou literární studií.

V části druhé, praktické části je probrán samotný konstrukční návrh formy, její jednotlivé díly, popsání specifikací výrobku. Zadaný plastový díl je výrobkem, jenž se používá jako pomocný díl v interiéru automobilu značky Volvo. Díl slouží jako spojovací a propojovací prvek v automobilu a je z materiálu Polyamid 6 plněný 10% skelných vláken.

Pro zadaný díl byly vytvořeny tvarové vložky a boční doformování. Následně byl navržen systém na doformování dílu. Odformování realizuje 24 vyhazovačů na čtyři díly. Dále byly vytvořeny na formě temperační okruhy. V pravé části je okruh kratší nežli v levé části formy. Chladicí médium byla zvolena voda o průtoku 15 l/min. 3D model formy byl kompletně vytvořen v programu CATIA V5 R19. Většina normalizovaných součástí byla vkládaná z digitálního katalogu Hasco a také byl použit digitální katalog od firmy Meusburger. Od firmy Meusburger byly staženy z katalogu dosedky s výškou 4 mm, jež Hasco nemá a také uzavírací zátky. Jako poslední byly na formu dodány kabeláže od vyhřívaného bloku k zásuvce, transportní spony a transportní můstek, které slouží k transportu a zabezpečení uzavření formy.

Dále v praktické části je kapitola, jež se zabývá výběrem vstřikovacího stroje. Vstřikovací stroj byl vybrán typ Allrounder 370 S, který svými vlastnostmi vyhovuje a jehož specifika jsou v příloze.

Forma byla podrobena analýzám Cool-Fill-Pack-Warp. Analýzy vstřikovacího procesu byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Insight 2016. Analýzám byla podrobena dutina formy, její plnění materiálu, ideální poloha vtoku materiálu, odvod tepla realizován temperačním médiem a analýza celkové deformace. Díky využití tohoto softwaru, se předchází možným vadám, jež by mohly vzniknout. Do programu byl vložen model výstřik, který již nebyl nijak konstrukčně upravován. Následně byl model vysítován sítí typu Dual Domain. Vtokový a temperační systémy byly sítovány elementy Beams. Po vybrání materiálu, přiřazení parametrů, zvolení temperační kapaliny a nastavení procesních podmínek mohla být analýza puštěna. Výsledky z analýz nám potvrdily správnost konstrukce vstřikované formy pro zadaný díl.

3D sestava formy byla doplněná o 2D výkresovou dokumentaci, která obsahuje řezy formou, pohledy do dělicích rovina a kusovník.

Výkresová dokumentace je přiložená ve fyzické podobě, dále jsou uloženy na portálu a také jsou uloženy na DVD ROM, které je vloženo ve vazbě v přední kapse.

Konstrukční návrh je z hlediska mechanické funkce a z reologického hlediska podpořen tokovými analýzami.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvořit vstřikovací formu pro zadaný plastový díl a zpracovat literární studii na dané téma.

Prvním byla vypracována část teoretická na dané téma. Tato teoretická část je rozdělena na několik částí, kde je popsána problematika konstrukce forem, vstřikování, možných vad a byl rozdělen materiál do svých základních skupin.

V praktické části bylo cílem vytvořit vstřikovací formu pro daný plastový výrobek, jenž slouží jako spojovací a propojovací prvek v automobilu. Navržená vstřikovací forma byla realizována v konstrukčním programu CATIA V5-R19 s pomocí normálií Hasco a Meusburgru. Ve zmiňovaném konstrukčním programu byla vytvořena také výkresová dokumentace, jež se skládá z řezu formy, pohledů na pravou a levou stranu formy, výstřik a na dalších listech je kusovník. Návrh konstrukční formy byl doplněn tokovými analýzy, které potvrdily správnost konstrukce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, V. *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití*, 2. vyd. Praha: VŠCHT, 2006. 278 str.
- [2] ZEMAN, L. *Vstřikování plastů*, 2. vyd. BEN, 2009. 247 str.
- [3] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl- Vstřikování termoplastů*, 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 str.
- [4] TOMIS, F., *Základy Gumárenské a, plastikářské technologie*. 1. vyd. vyd. VUT Brno 1985. 278 str.
- [5] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení – Gumárenské a, plastikářské stroje II*. 1. vyd. VUT Brno 1990. 199 str.
- [6] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů II. díl- Vstřikování termoplastů*, 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 212 str.
- [7] TOMIS, F., HELŠTYN, J. *Formy a přípravky*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1985. 374 str.
- [8] Kulhánek Jan a kol. *Formy pro tváření plastických hmot*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1966. 224 str.
- [9] LENFELD, P. *Technologie II. - Vstřikování plastů*, Technická univerzita Liberec, Katedra strojírenské technologie. Dostupná na [www](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm):
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [10] STANĚK, M. přednášky T5KO
- [11] www.elmia.sa [online] [2017-04-12] Dostupná na www:
<http://www.ensinger.cz/cz/odlevani-polyamidu/nyrim-technologie-a-vyrobky/technicka-data/>
- [12] www.ensinger.cz [online] [2017-04-22] Dostupná na www:
<http://www.elmia.se/Global/Externa-nyheter/1365/423a79f8-c817-4622-bc29-2c1c6c8daa47.jpg>
- [13] www.matbase.com [online] [2017-04-09] Dostupná na www:
<http://www.matbase.com/material-categories/natural-and-synthetic-polymers/engineering-polymers/material-properties-of-polyamide-6-nylon-6-pa-6.html#mechanical-properties>

- [14] PÖTSCH, G., MICHAELLI, W. *Injection Molding – An Introduction*. Munich: Hanser Publisher, 1995. 195 str. ISBN 1 -56990193
- [15] KREJČA, P., J. *Návrh vstřikovací formy: Díl pro stahovací mechanismus okna*. Zlín: UTB - FT, 2015. 59 str.
- [16] www. publi.cz. Dostupná na www: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [17] ŘEHULKA, Z. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*. 2007. ISBN 978-80-86604-36-7.
- [18] HEDRYCH, J., WEBER, A., DOLEŽAL, J. *Standardizace rámu a součástí forem pro vstřikování termoplastů stroje*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986. 360 str.
- [19] Katalog normálií Hasco. Dostupná na www: <https://hasco.com>
- [20] CATIA FORUM. Dostupná na www: <http://www.catia-forum.cz>
- [21] GASTROW, Hans. *Injection molds: 130 proven designs*. 3. ed. Munich ; Vienna: Hanser, 2002. ISBN 3446214488
- [22] www.plasticsportal.net [online] [2017-05-01] Dostupná na www: https://www.plasticsportal.net/wa/EU~en_GB/Catalog/ePlastics/doc4/BASF/product/ultramid_b3wgm24/.pdf?asset_type=pds/pdf&language=EN&urn=urn:documentum:eCommerce_sol_EU:09007bb28017d685.pdf
- [23] www.matbase.com [online] [2017-05-01] Dostupná na www: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=1ed8b81b4548401586159887465268f2&ckck=1>
- [24] www.cadstudio.com [online] [2017-05-01] Dostupná na www: <http://www.cadstudio.cz/moldflow>
- [25] www.arburg.com [online] [2017-05-01] Dostupná na www: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/bilder/presse_300dpi/arburg_23006-01-370s.jpg
- [26] www.ecom.meusburger.com [online] [2017-05-01] Dostupná na www: <http://ecom.meusburger.com/index/index.asp?rnd=58245>
- [27] SOVA, M.; KREBS, J. a kolektiv. *Termoplasty v praxi*. 2001. ISBN 80-86229-15- 7.
- [28] DYM, J. H. *Injection Molds and Molding: A Practical Manual*. 2nd ed. 1987. ISBN0-442-21785-4.

- [29] www. factoryautomation.cz [online] [2017-03-01] Dostupná na www:
<<https://factoryautomation.cz/vstrikovani-plastu-7-veci-ktere-byste-o-nem-meli-vedet/>>
- [30] BASTL, J. *Technologie vstřikování plastů*, Univerzita v Českých Budějovicích Liberec, Katedra fyziky. [online] [2017-06-01] Dostupná na www:
< http://theses.cz/id/5z3fkg/downloadPraceContent_adipIdno_13923>
- [31] www. mmspektrum.com [online] [2017-04-01] Dostupná na www:
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/vady-vystriku-1-dil-priciny-vzniku-vad-a-studene-spoje.html>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Koeficient vyjadřující podíl vtokového zbytku z hmotnosti výstřiku
CATIA	Computer aided three dimensional interactive application (počítačově graficky tří rozměrová interaktivní aplikace)
F	Uzavírací síla [N]
k	Koeficient využití výrobního času
Kg	Vyjádření hmotnosti.
m	Hmotnost výstřiku [g]
M	Vstřikovací kapacita [g]
mm	Vyjádření délky
Mp	Plastikační výkon [kg/hod]
MPa	Vyjádření tlaku.
m/s	Jednotka rychlosti průtoku média
N	Celková produkce [ks]
n1	Násobnost formy
n2	Násobnost formy dle vstřikovací kapacity
N2	Násobnost formy dle velikosti uzavírací síly
n3	Násobnost formy dle plastikačního výkonu
n4	Násobnost formy dle plastikačního výkonu
Obr.	Obrázek
PA6	Označení Polyamidu
pf	Vnitřní vstřikovací tlak [MPa]
Pi1	Tlak v dutině nástroje – u vtoku [MPa]
Pi2	Tlak v dutině nástroje – dál od vtoku [MPa]
ps	Systémový (hydraulický) tlak [MPa]
pv	Tlak před čelem šneku [MPa]

p_{vs}	Vnější vstřikovací tlak [MPa]
p_z	Zbytkový tlak [MPa]
R	Rádus [mm]
R_a	Parametr vyjádření drsnosti, jde o střední aritmetickou úchylku profilu.
Re	Reynoldsovo číslo
S	Průmět ploch dutin a kanálků do dělicí roviny [m^2]
t	Vyjádření času [sekundy]
t_c	Doba cyklu [s]
t_d	Doba dotlaku [sekundy]
T_f	Teplota toku [$^{\circ}C$]
T_g	Teplota skelného přechodu [$^{\circ}C$]
t_{ch}	Doba chlazení [sekundy]
t_m	Čas potřebný k doplňkovým činnostem u otevřené formy např. vložení zástříků [sekundy]
T_m	Teplota tání [$^{\circ}C$]
t_p	Doba produkce [s]
t_{pl}	Časový úsek plastikace nové dávky plastu [sekundy]
t_{s1}	Časový úsek reprezentující uzavření formy [sekundy]
t_{s2}	Časový úsek reprezentující přísun vstřikovací jednotky ke formě [sekundy]
t_{s3}	Čas potřebný k otevření a vyhození výstříku z formy [sekundy]
t_v	Čas vstřikování [sekundy]
Tzn.	To znamená
VVS	Vyhřívané vtokové soustavy
$W/m \cdot K$	Jednotka tepelné vodivosti
'	Sekunda
°	Stupeň

°C Stupeň Celsia

% Procento

2D,3D Zkratky z výrazu dvoudimenzionální a trojdimenzionální rozměru

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Tlaky u technologie vstřikování [16]</i>	14
<i>Obr. 2 Průběh vnitřního tlaku p_i v dutině formy během procesu vstřikování [16]</i>	15
<i>Obr. 3 Schéma vstřikovacího stroje [15]</i>	17
<i>Obr. 4 Typy vstřikovacích jednotek [15]</i>	19
<i>Obr. 5 Druhy uzavíracích jednotek [5]</i>	20
<i>Obr. 6 Schéma hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky [3]</i>	20
<i>Obr. 7 Základní klasifikace polymerů z hlediska jejich chování za běžné a zvýšené teploty [1]</i>	22
<i>Obr. 8 Struktura reaktoplastu [15]</i>	23
<i>Obr. 9 Struktura termoplastu [15]</i>	23
<i>Obr. 10 Řez vstřikovací formou [10]</i>	25
<i>Obr. 11 Vtokový systém formy</i>	33
<i>Obr. 12 Obecné zásady volby vtokového systému [3]</i>	34
<i>Obr. 13 Obecné zásady volby vtokového systému – průřezy vtokových kanálů [3]</i>	35
<i>Obr. 14 Obecné zásady volby vtokových systému – odstupňovaný</i>	35
<i>Obr. 15 Přidržovač vtoku [3]</i>	35
<i>Obr. 16 Zachycení čela proudu taveniny [15]</i>	36
<i>Obr. 17 Větvení toků [15]</i>	36
<i>Obr. 18 Vliv rozmístění temperačních kanálů [6]</i>	38
<i>Obr. 19 Chlazení výstřiku o různé tloušťce stěny [6]</i>	38
<i>Obr. 20 Ukázka konstrukčních řešení temperačních kanálů</i>	40
<i>Obr. 21 Umístění vyhazovacích kolíků [6]</i>	43
<i>Obr. 22 Příklad vyhazovacích kolíků [19]</i>	44
<i>Obr. 23 Konstrukce výstřiku – a) špatně, b) správně</i>	47
<i>Obr. 24 Různá uspořádání žeber</i>	48
<i>Obr. 25 Způsoby korekce propadlin u žeber na výstřiku</i>	48
<i>Obr. 27 Model plastového dílu ve 3D</i>	51
<i>Obr. 28 Pohled na uzavřenou formu</i>	53
<i>Obr. 29 Hlavní dělicí rovina (žlutě) rovina posuvných jader (červeně)</i>	54
<i>Obr. 30 Tvárník a tvárnice</i>	55
<i>Obr. 31 Posuvné tvarové části</i>	56
<i>Obr. 32 Řez formou se zaměřením na posuvná jádra</i>	56

<i>Obr. 33 Detail posuvného jádra (1. Tvárník, 2. Tvárnice, 3. Kolík, 4. Posuvná jádra, 5. Kluzná deska, 6. Zámek, 7. Vodící lišta, 8. Pojistná kulička)</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 34 Horký rozvodný blok</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 35 Pravá strana formy</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 36 Levá strana formy</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 37 Vyhazovací systém</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 38 Temperace pravé (modrá barva) a levé (červená barva) strany formy</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 39 Temperační prvky (katalog Hasco – 1. připojovací nátrubek, 2. uzavírací šroub, 3. uzavírací zátka, katalog Meusburger – 3. uzavírací zátka)</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 40 Transportní můstek a transportní spona</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 41 Vstříkovací stroj typ Allrounder 370 S [25]</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 42 Vysířovaný díl v Moldflow</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 43 Analýza odporu taveniny</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 44 Ideální poloha vtokového ústí</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 45 Čas plnění</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 46 Přepnutí z tlaku na dotlak</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 47 Přepnutí z tlaku na dotlak detail</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 48 Průběh vstříkovacího tlaku</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 49 Průběh uzavírací síly</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 50 Vzduchové kapsy</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 51 Vizualizace studených spojů</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 52 Čas potřebný k vyhození</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 53 Teplota chladicího média</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 54 Reynoldsovo číslo</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 55 Celková deformace</i>	<i>75</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Údaje potřebné pro výrobu a konstrukci forem [14]</i>	26
<i>Tab. 2 Obecné parametry dílu</i>	51
<i>Tab. 3 Vybrané vlastnosti materiálu PA6 [22,23]</i>	52
<i>Tab. 4 Základní parametry stroje typu Allroundes 370 S [25]</i>	64

SEZNAM PŘÍLOH

PI Technická dokumentace vstřikovacího stroje

PII Sestava

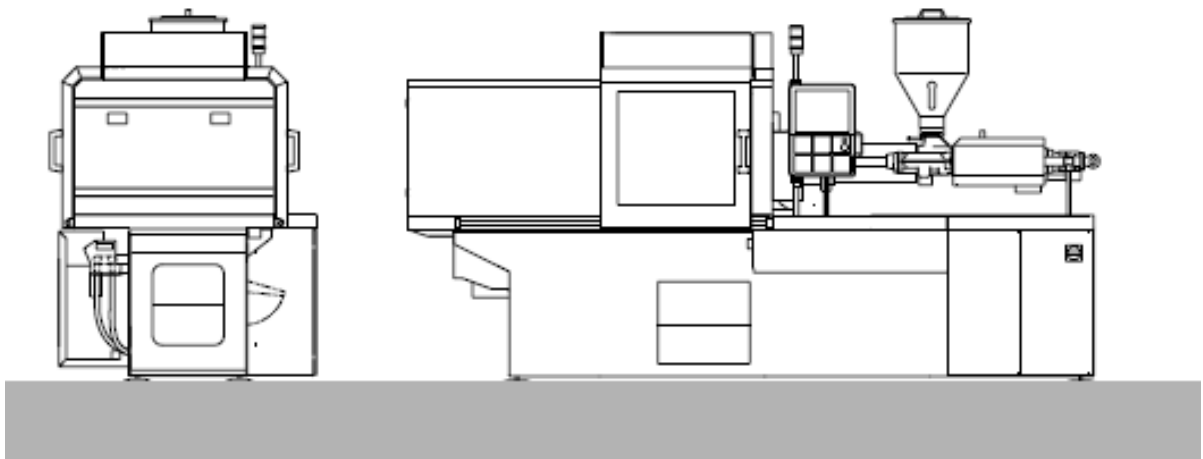
PIII Kusovník

PIV DVD obsahuje:

- 3D model formy
- Výkresová dokumentace
- Diplomová práce

PŘÍLOHA P I: TECHNICKÁ DOKUMENTACE VSTŘIKOVACÍHO

Facts and figures



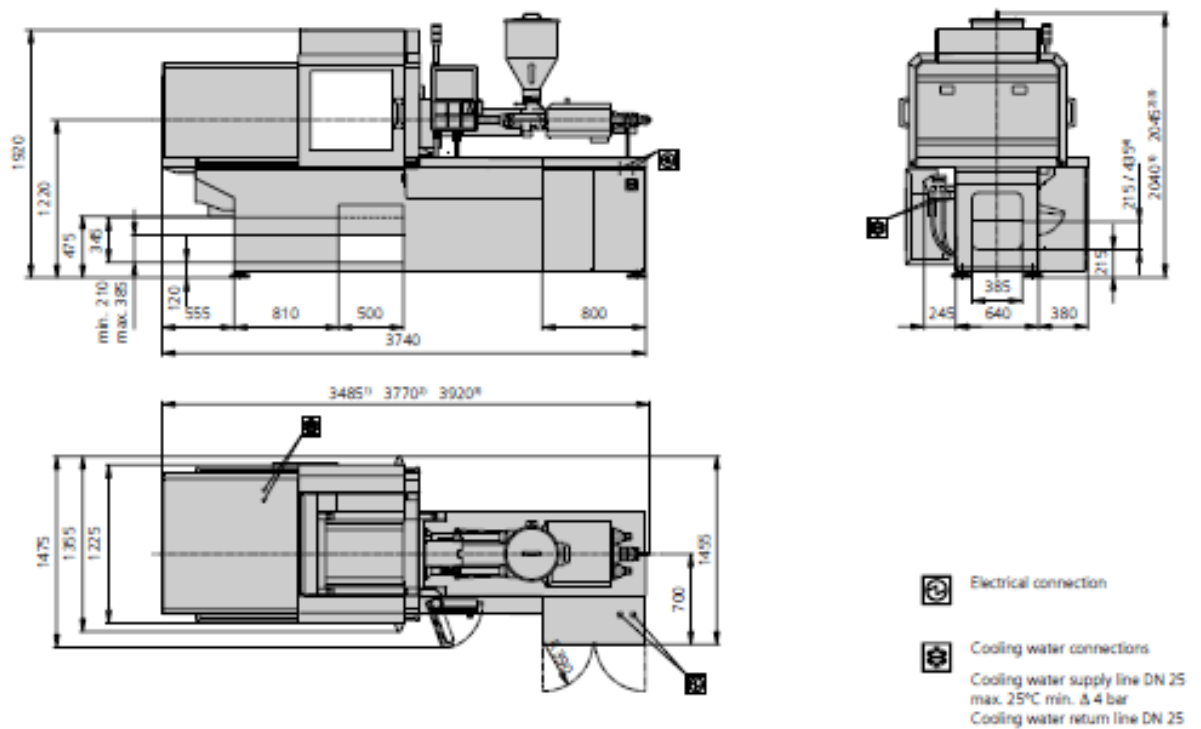
ALLROUNDER 370 S

Tie bar distance: 370 x 370 mm

Clamping force: 500, 600, 700 kN

Injection unit (according to EUROMAP): 100, 170, 290

ARBURG



- 1) Dimension applies to injection unit 100
- 2) Dimension applies to injection unit 170
- 3) Dimension applies to injection unit 290
- 4) Dimension only valid in conjunction with conveyor belt

Machine model		370 S	370 S	370 S
EUROMAP size indication ¹⁾		500-100 600-100 700-100	500-170 600-170 700-170	600-290 700-290
Clamping unit				
Clamping force	max. kN	500 600 700	500 600 700	600 700
Closing force	max. kN	38	38	38
Opening force / increased	max. kN	24 / 160	24 / 160	24 / 160
Opening stroke	max. mm	400	400	400
Mould height	min. mm	200	200	200
Daylight	max. mm	600	600	600
Distance between tie bars	mm	370 x 370	370 x 370	370 x 370
Platen size (hor. x vert.)	mm	510 x 510	510 x 510	510 x 510
Weight of mov. mould half	max. kg	360	360	360
Ejector force	max. kN	30	30	30
Ejector stroke	max. mm	125	125	125
Hydraulics, drive, general				
Drive power of the hydraulic pump	kW	11 15 15	11 15 15	15 15
Dry cycle time for opening stroke ²⁾	s/mm	2,1 (1,2)-259 2,0 (1,2)-259 1,4 (1,3)-259	2,1 (1,2)-259 1,9 (1,2)-259 1,4 (1,3)-259	1,9 (1,2)-259 1,4 (1,3)-259
Total connected load ³⁾	kW	18,4 22,4 22,4	22,9 26,9 26,9	23,9 23,9
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow				
Control cabinet				
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Injection unit				
Screw diameter	mm	20 / 25 / 30	25 / 30 / 35	30 / 35 / 40
Effective screw length	LD	25 / 20 / 16,7	24 / 20 / 17	23,3 / 20 / 17,5
Screw stroke	max. mm	100	120	150
Calculated injection volume	max. cm ³	31 / 49 / 71	59 / 85 / 115	106 / 144 / 188
Shot weight	max. g PS	29 / 45 / 65	54 / 77 / 105	97 / 132 / 172
Material throughput ⁴⁾	max. kg/h PS	5,5 / 8 / 9,5	10 / 13,5 / 16	17 / 20,5 / 24,5
	max. kg/h PA 6.6	2,8 / 4 / 4,9	5 / 7 / 8	8,5 / 10,5 / 12,5
Injection pressure ⁵⁾	max. bar	2500 / 2000 / 1390	2500 / 2000 / 1470	2500 / 2000 / 1530
Injection flow ⁵⁾	max. cm ³ /s	64 / 100 / 146 90 / 142 / 204 90 / 142 / 204	66 / 96 / 132 94 / 136 / 186 94 / 136 / 186	102 / 140 / 182
	max. cm ³ /s	172 / 268 / 388	216 / 312 / 424	316 / 430 / 562
Back pressure positive/negative	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 200
Circumferential screw speed	max. rpm	28 / 35 / 42 39 / 49 / 59 39 / 49 / 59	35 / 42 / 49 49 / 59 / 69 49 / 59 / 69	46 / 54 / 62
Screw torque	max. Nm	120 / 150 / 180	210 / 250 / 290	320 / 380 / 430
Nozzle contact force	max. kN	50	50	60
Nozzle retraction stroke	max. mm	180	210	240
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	4,3 / 4	8,8 / 4	5,8 / 4
Installed nozzle heating power	kW	0,6	0,6	0,6
Material hopper capacity	l	50	50	50
Horizontal injection position	max. mm	125	125	125
Machine dimensions and weights of the basic machine				
Oil capacity	l	135	135	135
Net weight	approx. kg	3200	3250	3300
Electrical connection ⁵⁾	A	63	63 80 80	80

1) 1st figure: clamping force (kN), 2nd figure: max. dosage volume (cm³) x max. injection pressure (kbar)

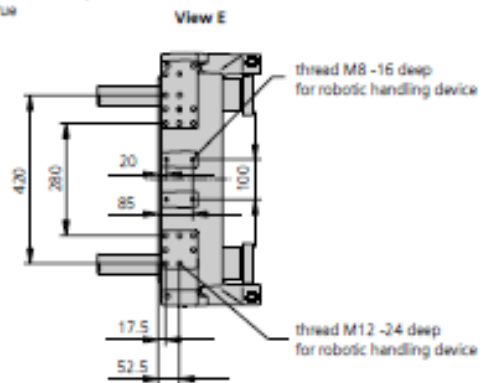
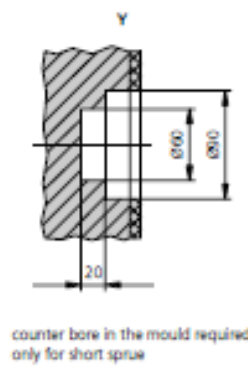
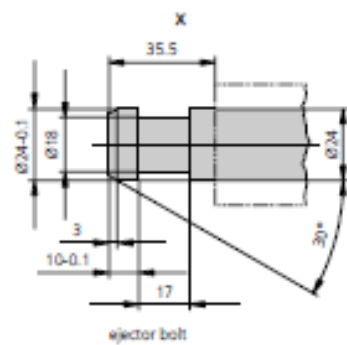
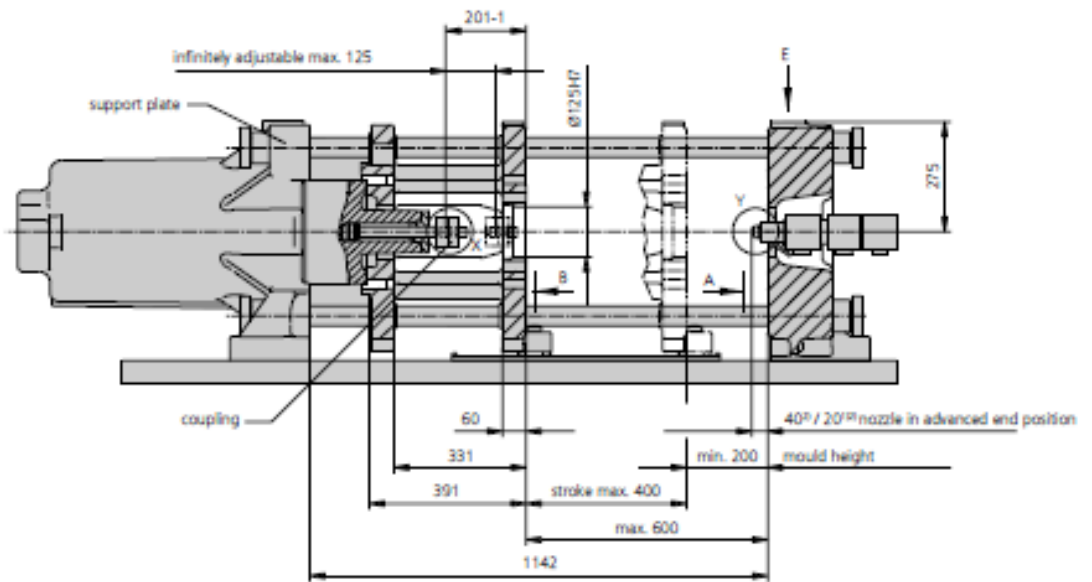
2) Values refer to 400 W50 lb. The load is symmetrically distributed on three phases (observe phase loading when installing new equipment).

3) A combination of max. injection pressure and max injection flow (max. injection capacity) can be mutually exclusive, depending on the equipment-related motor output.

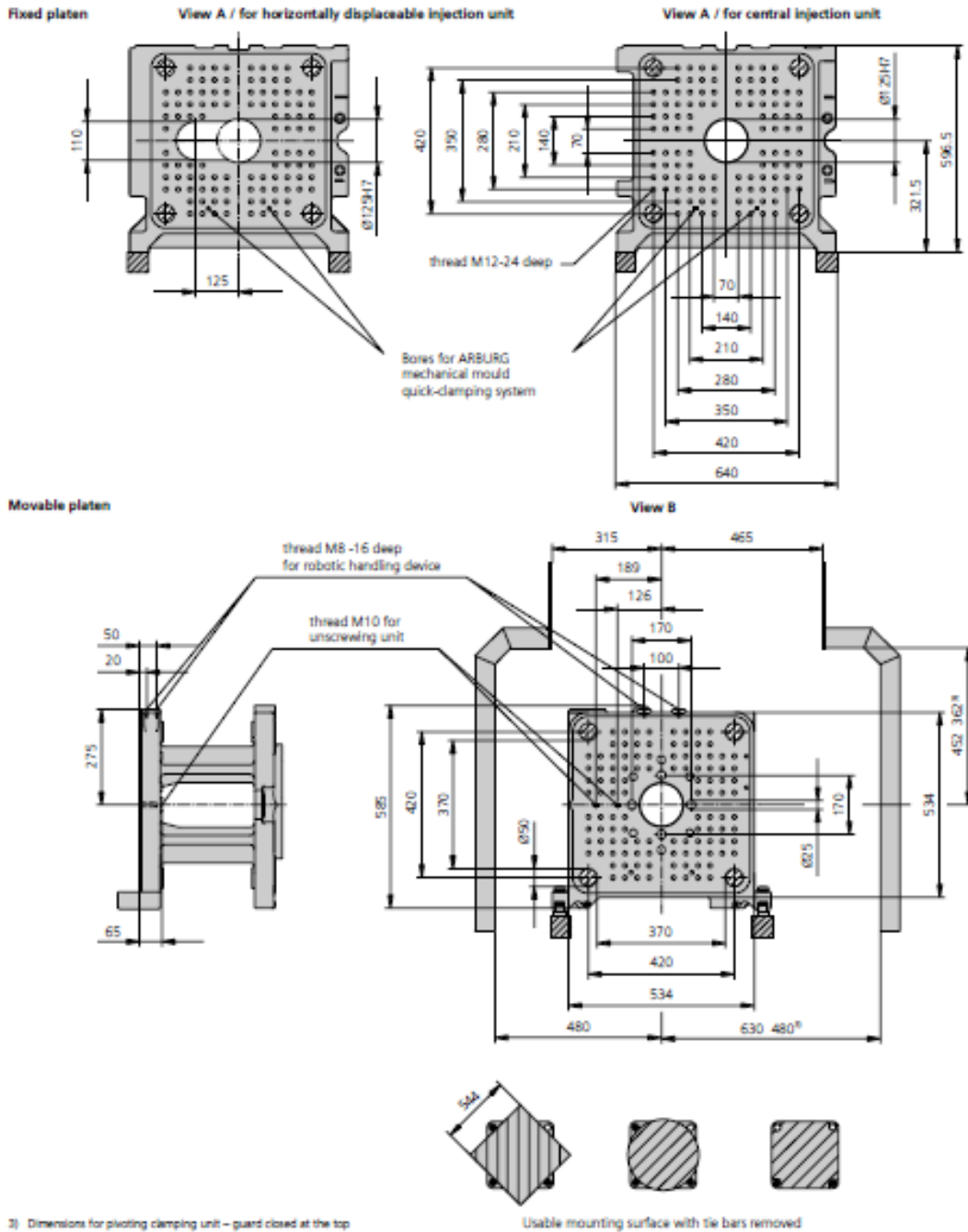
4) According to EUROMAP for the basic machine (values in brackets apply to hydraulic accumulator technology)

5) Deviations are possible depending upon process settings and material type

The shown specifications reflect the state at the time of printing. In the interest of a continuous development of our products, we reserve the right to modify specifications.



1) Dimensions are valid for thermostat moulds
 2) Dimensions for horizontally-displaceable injection unit (WARD principle) reduced by 20 mm
 For parting line device see separate dimension sheet (on request)



Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)										
Injection units according to EUROMAP		100			170			290		
Screw diameter	mm	20	25	30	25	30	35	30	35	40
Polystyrene	PS	29	45	65	54	77	105	97	132	172
Styrene heteropolymerizates	SB	28	44	63	53	76	103	95	129	168
	SAN, ABS ¹⁾	27	43	62	52	74	101	93	126	165
Cellulose acetate	CA ¹⁾	32	50	73	61	87	119	109	148	194
Celluloseacetobutyrate	CAB ¹⁾	30	47	68	56	81	110	101	138	180
Polymethyl methacrylate	PMMA	30	46	67	56	80	109	100	136	178
Polyphenylene ether, mod.	PPE	27	42	60	50	72	98	90	122	160
Polycarbonate	PC	30	47	68	57	81	111	102	139	181
Polysulphone	PSU	31	49	70	58	84	115	105	143	187
Polyamides	PA 6.6, PA 6 ¹⁾	28	44	64	53	77	104	96	131	171
	PA 6.10, PA 11 ¹⁾	26	41	60	50	72	98	90	122	160
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	35	55	80	66	96	130	120	163	213
Polyethylene terephthalate	PET	34	53	77	64	92	126	115	157	205
Polyethylene	PE-LD	22	34	49	41	59	80	73	100	130
	PE-HD	22	35	50	42	60	82	76	103	134
Polypropylene	PP	23	36	51	43	62	84	77	105	137
Fluoropolymerides	PEP, PFA, PCTFE ¹⁾	46	72	103	86	124	169	155	211	276
	ETFE	40	63	91	76	109	148	136	185	242
Polyvinyl chloride	PVC-U	35	54	78	65	94	127	117	159	208
	PVC-P ¹⁾	32	50	72	60	87	118	108	147	192

1) average value

ARBURG GmbH + Co KG

Postfach 11 09 · 72286 Lossburg · Tel.: +49(0)7446 33-0 · Fax: +49(0)7446 33-3365 · www.arburg.com · e-mail: contact@arburg.com

With locations in Europe: Germany, Belgium, Denmark, France, United Kingdom, Italy, Netherlands, Austria, Poland, Switzerland, Slovakia, Spain, Czech Republic, Turkey, Hungary | **Asia:** People's Republic of China, Indonesia, Malaysia, Singapore, Thailand, United Arab Emirates | **America:** Brazil, Mexico, USA
For more information, please go to www.arburg.com.

© 2013 ARBURG GmbH + Co KG

The brochure is protected by copyright. Any utilisation, which is not expressly permitted under copyright legislation, requires the previous approval of ARBURG.

All data and technical information have been compiled with great care. However, we are unable to guarantee its correctness. Individual illustrations and information may deviate from the actual delivery condition of the machine. The relevant valid operating instructions are applicable for the installation and operation of the machine.



ARBURG GmbH + Co KG
DIN EN ISO 9001 + 14001 + 50001 certified

