

NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO VÝROBU TECHNICKÉHO DÍLU

Bc. Václav Janošík

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav Janošík**
Osobní číslo: **T13487**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh vstřikovací formy pro výrobu technického dílu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Navrhněte 3D model plastového dílu s kovovým zástríkem.
3. Provedte konstrukci vstřikovací formy pro zadaný díl.
4. Ověřte návrh pomocí analýz.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

30. ledna 2015

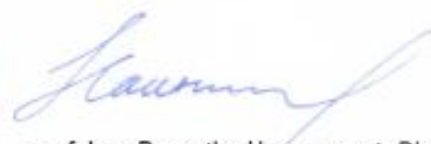
Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2015

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: Janoštilk Václav

Obor: KTZ

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 10.5.2015

Janoštilk Václav

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;

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.

(1) 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.

(2) 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:

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

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

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro zadaný plastový díl. V teoretické části byla zpracována literární rešerše na téma vstřikování, dále pak byly zpracovány požadavky na konstrukci plastových dílů, a také byla rozebrána problematika konstruování forem pro vstřikování. Tato část práce byla zaměřena i na speciální způsoby vstřikování. V praktické části byl vymodelován 3D zadaný díl, dle kterého byly nadimenzovány tvarové vložky a jádra pro vnitřní dutiny. Forma byla navržena jako čtyřnásobná s kruhovou koncepcí. Poté byl vytvořen model v programu Moldflow a byly provedeny tokové analýzy pro formu se studeným vtokovým systémem a také pro alternativní formu s horkým vtokovým systémem. Obě varianty byly mezi sebou porovnány, a také byly vyhodnoceny z ekonomického pohledu.

Klíčová slova: Vstřikování, konstrukce forem, 3D modely, tokové analýzy

ABSTRACT

This diploma work deals with the construction of injection mould for assigned plastic piece. This work is divided into two parts. In the first, theoretical part a literature search was conducted, it was focused on injection issue. Then the requirements for the construction of the plastic piece was discussed and there are presented the questions of injection molds too. There are also mentioned special methods of injection. In the second, practical part was modeled assigned plastic piece in 3D according to which they were dimensioned the shaped inserts and the cores for the inner cavity. The mold was designed as a quadrupole with circular concept. Next, in the program Moldflow the model was created. They were done flow analysis for the mold cold sprue and for the alternative form of mold hot sprue. Both variants were compared to each other and they were analyzed from economic viewpoint.

Keywords: injection molding, molds design, 3D models, flow analysis

Velmi rád bych poděkoval Ústavu výrobního inženýrství za umožněné vzdělání, bez kterého by nemohla tato diplomová práce vzniknout. Dále bych chtěl poděkovat zejména Ing. Michalu Staňkovi, Ph.D. za ochotu a rady poskytnuté při vypracování této diplomové práce.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. Dále prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, 6.5.2015

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD.....	12
I TEORETICKÁ ČÁST.....	13
1 VSTŘIKOVÁNÍ	14
1.1 MATERIÁLY PRO VSTŘIKOVÁNÍ	15
1.2 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ – DLE TEPLOTNÍHO CHOVÁNÍ	15
1.2.1 Termoplasty.....	15
1.2.2 Amorfnní polymery.....	16
1.2.3 Semikrystalické polymery.....	17
1.2.4 Reaktoplasty	18
1.2.5 Elastomery.....	19
1.3 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ – DLE CHEMICKÉHO SLOŽENÍ.....	20
1.4 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	21
1.5 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS V PVT DIAGRAMU	22
2 UVOD DO REOLOGIE POLYMERŮ	24
2.1 REOLOGIE	24
2.2 NEWTONSKÁ KAPALINA	25
2.3 NENEWTONSKÁ KAPALINA	25
2.3.1 Pseudoplastické kapaliny	26
2.3.2 Dilatantní kapaliny	27
2.3.3 Tixotropní kapaliny	27
2.3.4 Reopektické kapaliny	27
2.4 REOLOGIE – VSTŘIKOVÁNÍ	28
2.4.1 Charakteristika vstřikování	28
2.4.2 Fontánový tok.....	29
2.4.3 Studený spoj.....	30
2.4.4 Negativní tok – jetting (tryskový tok).....	31
3 VSTŘÍKOVACÍ STROJ	32
3.1 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA	33
3.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	35
3.3 OVLÁDÁNÍ A ŘÍZENÍ VSTŘIKOVACÍHO STROJE	36
4 SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY VSTŘIKOVÁNÍ.....	37

4.1	GIT – VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ S PODPOROU PLYNU.....	37
4.2	WIT – VSTŘIKOVÁNÍ S PODPOROU VODY.....	39
4.3	VSTŘIKOVÁNÍ SENDVIČŮ.....	40
4.4	VÍCEKOMPONENTNÍ VSTŘIKOVÁNÍ.....	42
4.5	MRAMOROVÉ VSTŘIKOVÁNÍ.....	44
4.6	VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ Z PRÁŠKŮ.....	45
4.7	VSTŘIKOVÁNÍ S DOLISOVÁNÍM.....	46
4.8	TANDEMOVÉ VSTŘIKOVÁNÍ.....	46
4.9	TECHNOLOGIE ZASTŘÍKÁVÁNÍ.....	47
5	VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	49
5.1	ZÁKLADNÍ POPIS VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	50
5.2	KONSTRUKČNÍ POSTUP PŘI NÁVRHU VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	50
5.2.1	Zaformování výstřiku.....	51
5.3	STUDENÉ VTKOVÉ SYSTÉMY.....	51
5.4	VYHŘÍVANÉ VTKOVÉ SOUSTAVY.....	55
5.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	56
5.5.1	Válcové kolíky.....	57
5.5.2	Šikmé kolíky.....	58
5.5.3	Stírací deska.....	59
5.5.4	Trubkové vyhazovače.....	59
5.5.5	Vícestupňové vyhazování.....	60
5.5.6	Vyhazování vtokového zbytku.....	60
5.6	TEMPERACE FOREM.....	61
5.6.1	Aktivní prostředky.....	61
5.6.2	Pasivní prostředky.....	62
5.7	ODVZDUŠNĚNÍ FOREM.....	63
II	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	64
III	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	66
6	POUŽITÉ PROGRAMY.....	67
6.1	CATIA v5.....	67
6.2	AUTODESK MOLDFLOW INSIGHT 2015.....	67
6.3	AUTODESK INVENTOR 2011.....	67
6.4	HASCO 3D UNIVERSAL MODUL.....	67
7	SPECIFIKACE ZADANÉHO DÍLŮ.....	68
7.1	VOLBA HLAVNÍ DĚLÍCÍ ROVINY A VEDLEJŠÍCH DĚLÍCÍCH ROVIN.....	68
7.2	DIMENZOVÁNÍ TVAROVÝCH VLOŽEK.....	69
7.3	UCHYCENÍ A POJIŠTĚNÍ KOVOVÉHO ZÁSTŘIKU.....	70
7.4	KONCEPCE TVAROVÝCH VLOŽEK.....	71
7.5	NÁSOBNOST FORMY.....	73
8	VSTŘIKOVACÍ FORMA.....	74

8.1	PRAVÁ STRANA FORMY (STRANA TRYSKY).....	75
8.2	LEVÁ STRANA FORMY (STRANA VYHAZOVAČE).....	76
8.3	VYHAZOVACÍ SYSTÉM (VÁLCOVÉ VYHAZOVAČE).....	79
8.4	FUNKCE ŠIKMÉHO ČEPU (ŠOUPÁTKA)	80
8.5	FUNKCE VYHAZOVACÍHO SYSTÉMU.....	81
8.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	82
8.7	VTOKOVÝ SYSTÉM	84
8.7.1	Studeným vtokovým systémem (reálný).....	84
8.7.2	Horký rozvodný systém (alternativní)	84
9	VOLBA MATERIÁLU	85
10	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	86
10.1	ROZMĚRY MEZI VODÍCÍMI SLOUPY	86
10.2	KAPACITA PLASTIKAČNÍ JEDNOTKY	86
10.3	VELIKOST UZAVÍRACÍ SÍLY	87
10.4	ZVOLENÝ VSTŘIKOVACÍ STROJ	87
11	TOKOVÉ ANALÝZY	89
11.1	ANALÝZA STUDENÉHO VTOKOVÉHO SYSTÉMU	89
11.1.1	Vhodnost plnění (Best gate location).....	89
11.1.2	Čas plnění (Fill time)	90
11.1.3	Průběh vstřikovacího tlaku ve vtoku (Pressure at injection).....	90
11.1.4	Uzavírací síla (Clam force)	91
11.1.5	Vzduchové kapsy (Air traps)	92
11.1.6	Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover).....	92
11.1.7	Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)	93
11.1.8	Studené spoje (Weld lines).....	94
11.1.9	Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)	95
11.1.10	Čas vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature).....	95
11.1.11	Teplota kovového zástřiku při vyhození (Temperature, part insert).....	96
11.1.12	Celková deformace (Deflection, all effects: deflection)	96
11.2	ANALÝZA HORKÉHO ROZVODNÉHO SYSTÉMU	97
11.2.1	Čas plnění (Fill time)	97
11.3	PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO TLAKU (PRESSURE AT INJECTION LOCATION).....	97
11.3.1	Uzavírací síla (Clam force)	98
11.3.2	Čas vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature).....	99
11.3.3	Celková deformace (Deflection, all effects: deflection)	99
11.4	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ	100
11.5	DISKUZE VÝSLEDKU	100
12	EKONOMICKÝ ROZBOR.....	101
12.1	VZOROVÝ PŘÍKLAD VYPOČTU.....	101
12.1.1	Vypočet celkového počtu hodin pro SVS pro dané množství.....	101
12.1.2	Výpočet spotřeby materiálu pro dané množství.....	102
12.1.3	Výpočet hmotnosti odpadu	102
12.1.4	Výpočet nákladu na materiál pro výrobu	102
12.1.5	Pro výpočet VVS se použilo totožných vztahů + energetická náročnost... 102	

12.2	Ekonomický rozbor – porovnání výsledků	103
12.3	Porovnání výsledků	104
13	Závěr	105
	Seznam obrázků	110
	Seznam tabulek.....	113
	Seznam příloh.....	114

ÚVOD

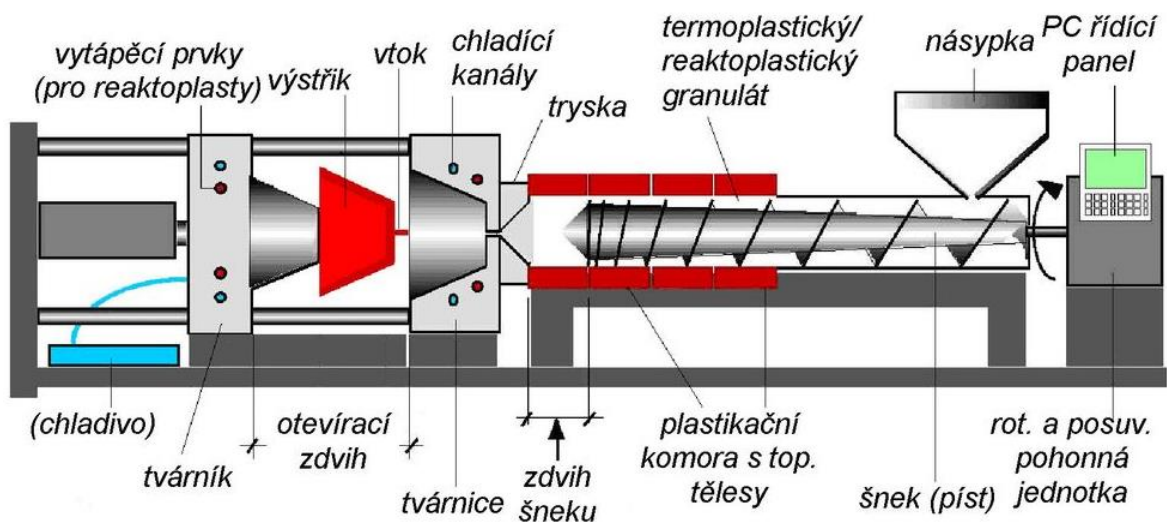
Polymerní materiály zaujímají v současné době nenahraditelné místo v mnoha různých směrech průmyslového odvětví. Nahrazují tradiční materiály, kterými jsou například dřevo, sklo, ocel, bavlna. Polymerní materiály nahrazují tradiční materiály zejména proto, že jim konkurují nízkou cenou, možnostmi zpracování a zejména mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Polymerní materiály je možno zpracovávat mnoha různými způsoby tváření. Teoretická část byla zaměřena na metodu vstřikování úvodu do reologie polymerů a konstrukce vstřikovacích forem. Vstřikování je jedna z nejvíce rozšířených a užívaných metod tváření polymerů, umožňuje rychlou výrobu řádově v desítkách sekund, možnost výroby tvarově složitých součástí, které jsou tradičními metodami jen těžko realizovatelné. Tavenina se vstřikuje velkou rychlostí do dutiny formy (tvořené tvárním a tvárnici, také tvarovými jádry), která má negativní tvar požadovaného výrobku. Samotná forma je nákladná část, a proto se o vstřikování uvažuje pro velké série řádově desítek až tisíců kusů (výstřiku).

V současné době se pro konstrukci vstřikovacích forem, a analýz využívá CAD programů jako je například Solid Edge, Catia, Inventor, NX, Solid Works, z důvodu zamezení chyb při návrhu, urychlení konstrukce forem a možnosti tokových analýz.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VSTŘIKOVANÍ

Vstřikování je termodynamický cyklický proces tváření polymerních materiálů, při kterém se nejprve materiál z pevné fáze ve formě granulí, převede do plastického stavu za působení tepelné a mechanické (disipační) energie. Poté se materiál v plastickém stavu (ve stavu taveniny) plní vysokou rychlostí (vstříkuje) do uzavřené dutiny formy, která je temperována, u vstřikování termoplastu na výrazně nižší teplotu než je teplota taveniny. Materiál se plastikuje v plastikační jednotce, jejímž základem bývá většinou válec a šnek, a je součástí vstřikovacího stroje. Plastikací rozumíme proces převádění materiálu do plastického stavu (, zpravidla účinkem tepelné a mechanické energie. [1]



Obr.1 Schéma vstřikovacího stroje [3] B

Síla, která působí na plastikovaný materiál při vstřikování se nazývá vstřikovací síla. Vstřikovací síla vztahovaná na plochu pístu, trn šneku, se nazývá vstřikovací tlak. Účinkem vstřikovacího tlaku teče plastikovaný materiál vstřikovací tryskou a vtokovými kanály do dutiny formy. Vstřikovací tryska zabezpečuje dočasné těsnění spojení plastifikační jednotky s formou. Vstřikovací trysky se mění podle druhu zpracovávaného materiálu [1]

Teplota vstřikovací trysky se často označuje jako teplota vstřikování. Teplota vstřikovaného materiálu se k ní může více nebo méně blížit. Forma je temperována, účelem temperování je dosáhnout rovnoměrného tepelného pole a uzavíraná uzavírací silou vyvinutou hydraulickým, mechanickým, elektrickým nebo hybridním mechanismem. Během fáze vstřikování a fáze dotlaku je forma přidržována uzavírací silou, která musí zabezpečit její

těsnost, uzavírací síla musí být větší než síla vstřikovací, která vzniká tlakem taveniny působícím na plochu dutin formy. [1]

Teplota formy při vstřikování termoplastu je vždy nižší než teplota vstřikování (teplota taveniny) dochází zde k fyzikálnímu zafixování tvaru (ochlazením), při vstřikování reaktoplastů a elastomerů je tomu přesně naopak dochází zde k zafixování tvaru chemickými změnami a to vytvrzování a vulkanizací.[1] V dutině formy působí tlak, který je vždy menší než vstřikovací tlak, nazývá se také tvářecí tlak. Rozdíl je způsoben tlakovými ztrátami v plastikační jednotce i ve vlastní dutině formy dopravou polymeru.[1]

1.1 Materiály pro vstřikování

Polymery – látky z makromolekul, které obsahují atomy C, H, O často N, Cl a jiné prvky. V určitém stádiu zpracování se polymery nacházejí v plastickém stavu i ve stavu taveniny, který umožňuje tyto materiály tvářet a udělit jim tvar budoucího výrobku za zvýšené teploty a tlaku.[4]

Vstřikovat lze jak termoplasty, tak i reaktoplasty a elastomerní směsi. Zatímco u termoplastů je interval pro tvářeni teoreticky neomezený, u reaktoplastů je tento interval omezený probíhajícími síťováním a u elastomeru je omezen probíhající vulkanizací. S rostoucí teplotou tvářeni, se tvářecí interval zkracuje.[1]

1.2 Rozdělení polymerů – Dle teplotního chování

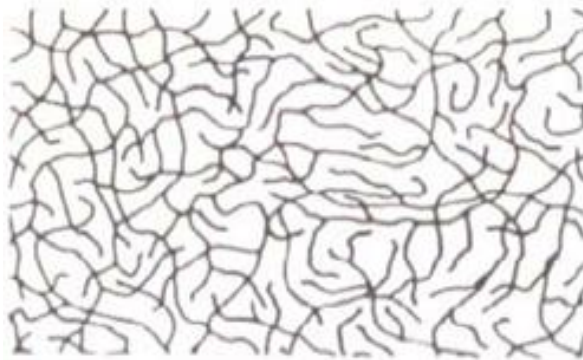
1.2.1 Termoplasty

Jsou to polymerní materiály, které při zvyšování teploty přecházejí do plastického stavu tj. do stavu vysoce viskózních neneutronovských kapalin (pseudoplastických), kde je možnost snadného tvářeni a zpracovávání různými technologiemi. K zafixování tvaru dochází pouze fyzikální změnou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku T_f (amorfní plasty). Protože při zvyšování teploty nad T_m nebo T_g nedochází ke změnám chemické struktury, lze proces měknutí a následného tuhnutí cyklicky opakovat teoreticky bez omezení. [5],[6]

Z hlediska vstřikovacího procesu a následného použití daného výrobku je velmi důležité rozdělit termoplasty podle nadmolekulární struktury (morfologie) na amorfní a

semikristalické, neboť chování při zahřívání a následném vstřikování je pro obě cílové skupiny odlišné a projeví se také ve vlastnostech finálního výstřiku. [20]

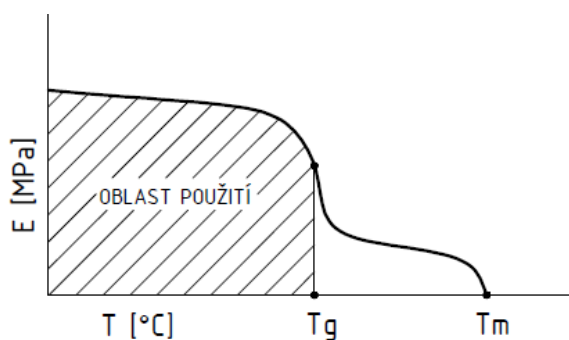
1.2.2 Amorfní polymery



Obr.2 Struktura amorfního polymeru [3]

Řetězce amorfních polymerů jsou nepravidelně prostorově uspořádány. Jejich charakteristickými mechanickými vlastnostmi je, tvrdost, křehkost, vysokou pevnost, modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu (1,4 až 1,6) transparentní, resp. dle propustnosti světla čiré (92 % propustnosti světla), transparentní anebo průhledné (60 % propustnosti světla). Součinitel teplotní roztažnosti je nižší než u semikristalických polymerů. [5],[6]

Také se vyznačují relativně malým smrštěním proti dutině formy (1%), což je velkou výhodou při výrobě rozměrově přesných dílů a součástí. Pro amorfní polymery je dominantní teplota T_g (skelného přechodu). Tato teplota limituje použitelnost výrobku v teplotním intervalu. (A)



Amorfní polymery	T_g [°C]
PS	100
ABS	105-115
SAN	115
PVC	85
PMMA	100
PPO	120-140
PC	144
PSU	187

Obr.3 Zpracovatelská oblast amorfních polymerů [5]

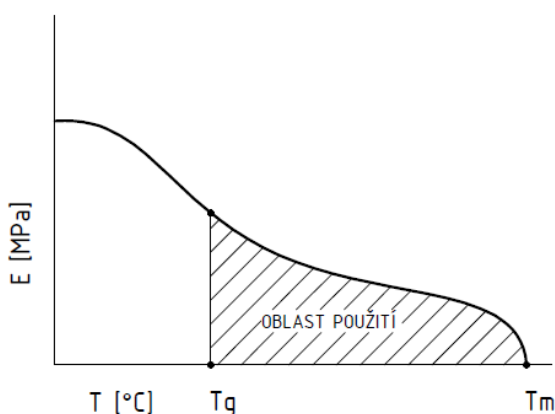
1.2.3 Semikrystalické polymery



Obr.4 Struktura semikrystalického polymeru [3]

Semikrystalické polymery, mají podstatnou část řetězců pravidelně a těsně uspořádaná a tvoří krystalické útvary. Zbylá část řetězců má amorfnní uspořádání. Podíl mezi krystalickou a amorfnní částí se vyjadřuje jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %). Semikrystalický polymer nemůže nikdy dosáhnout 100 % krystalizace, proto se krystalické polymery označují jako semikrystalické. Patří sem např. PE, PP, PA, PTFE, POM. Díky krystalické části řetězců bývají zpravidla mléčně zakalené, index lomu je větší a jsou charakterizovány větší houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Semikrystalické polymery se používají do teploty tání T_m . [5] [6]

Skutečnost tvorby semikrystalické struktury má za následek větší smrštění výstřiků proti dutině formy, které se pohybuje od 1 do 2,5 %. Výstřiky ze standardních semikrystalických polymerů v důsledku tvorby sférolitické struktury nemohou být transparentní jako polymery amorfnní.



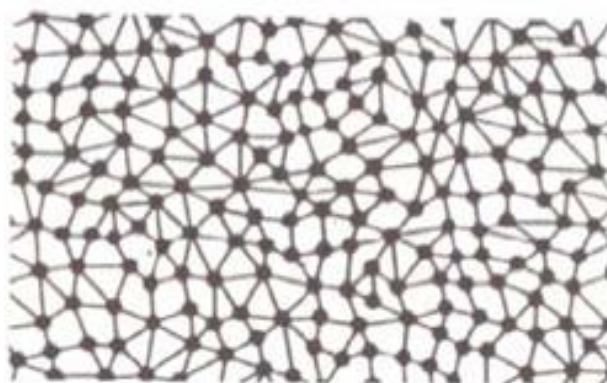
Semikrystalické plasty	T_g [°C]
PE	-80
PP	-20
POM	-113
EVA	-80
PBT	+60
PA 6	+45

Obr.5 Zpracovatelská oblast semikrystalických polymerů [5]

Tab.1 Zpracovatelské vlastnosti některých polymerů [6]

	Teplota vstřikování [°C]	Vstřikovací tlak [MPa]	Teplota formy [°C]	smrštění [%]
PS	150 - 240	60 - 150	40 - 65	0,3 - 0,5
hPS	180 - 260	60 - 150	50 - 70	0,3 - 0,5
ABS	180 - 220	100 - 150	60 - 80	0,4 - 0,6
PE	220 - 300	80 - 150	25 - 80	1,0 - 3
neměkčené PVC	170 - 180	100 - 150	30 - 40	0,5 - 1
houževnaté PVC	170 - 180	100 - 150	30 - 40	0,5 - 1
měkčené PVC	160 - 180	80 - 100	30 - 40	0,5 - 1
PA6, PA66	230 - 320	70 - 100	40 - 50	0,5 - 2
PUR	180 - 200	70 - 100	60 - 90	1,0 - 1,5
PPO	250 - 300	60 - 140	80 - 100	0,5 - 0,7
POM	180 - 230	80 - 140	70 - 120	1,5 - 3,0
PMMA	180 - 240	45 - 100	40 - 100	0,3 - 0,8
PC	280 - 320	80 - 120	90 - 110	0,7 - 0,8

1.2.4 Reaktoplasty

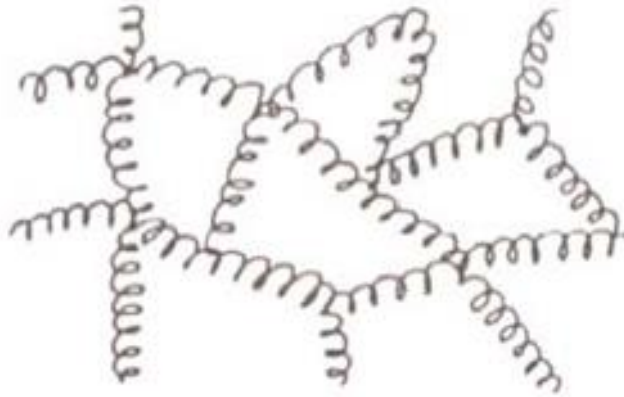


Obr.6 Struktura reaktoplastu [3]

Reaktoplasty jsou polymery, které se dříve nazývali termosety, rovněž v první fázi zahřívání měknou podobně jako termoplasty a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, k tzv. vytvrzování. Výstřik je možno považovat za jednu velkou makromolekulu. Ochlazování výrobku z reaktoplastů probíhá mimo dutinu formy, neboť zajištění rychlého ohřevu formy pro vytvrzení a následné rychlé ochlazení materiálu, by bylo obtížné. Vytvrzování je děj je nevratný a vytvrzené polymery nelze opakovaně tvářet, dalším zahříváním dochází

pouze k degradaci materiálu. Mezi reaktopláty patří zejména fenolformaldehydové hmoty, epoxidové pryskyřice, polyesterové pryskyřice, apod.[6]

1.2.5 Elastomery



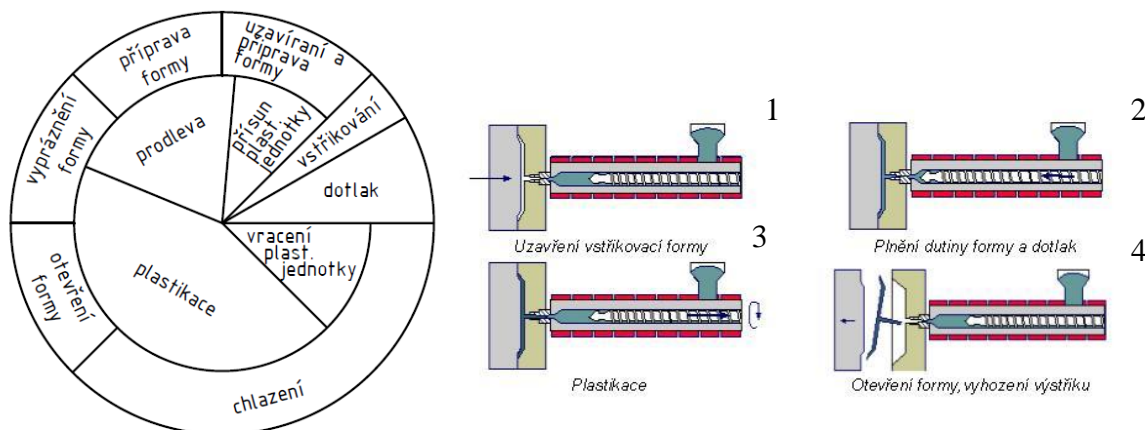
Obr.7 Struktura elastomeru [3]

Elastomery jsou polymerní materiály, které rovněž v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zasíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj. [5],[6]

1.3 Rozdělení polymerů – dle chemického složení

Polymery	Přírodní	Přírodní kaučuk	<i>cis</i> -1,4-polyisopren, NR	
		Polysacharidy	celulosa	
			škrob	
	bílkoviny			
	Syntetické	Termoplasty	Polyolefiny	Polyethylen, PE
				Kopolymery PE, EVA
				Polypropylen, PP
				Polybuten, PB
			Vinylové polymery	Polyvinylchlorid, PVC
				Kopolymery PVC
				Polyvinylacetát, PVAC
				Polyvinylalkohol, PVAL
			Styrénové polymery	Polystyren, PS
				Kopolymery styrénu
			Akrylové polymery	Polymethylmetakrylát, PMMA
				Akrylové polymery
		Polyestery a polyethery	polyethylentereftalát, PET	
			Polykarbonát, PC	
			Polyethery	
		Polyamidy a polyuretany	Polyamidy, PA	
			Polyuretany PUR	
		Reaktoplasty	Fenolplasty	Novolaky
				Rezoly
			Aminoplasty	formaldehydové pryskyřice UF
			Epoxidové pryskyřice EP	
			Polyesterové pryskyřice UP	
		Silikonové pryskyřice		
		Kaučuky	Kaučuky - všeobecné použití	Izoprenové, IR
Butadienstyrenové, SBR				
Butadienové, BR				
Butylkaučuky, IIR				
Olejuvzdorné kaučuky	Chloroprenové, CR			
	Butadienakrylonitrilové, NBR			
	Akryletové, BR			
	Polysulfidové, OT			
Teplovzdorné kaučuky	Silikonové, MQ			
	Fluoruhlíkové FPM			

1.4 Vstřikovací cyklus



Obr. 8 Vstřikovací cyklus [1]

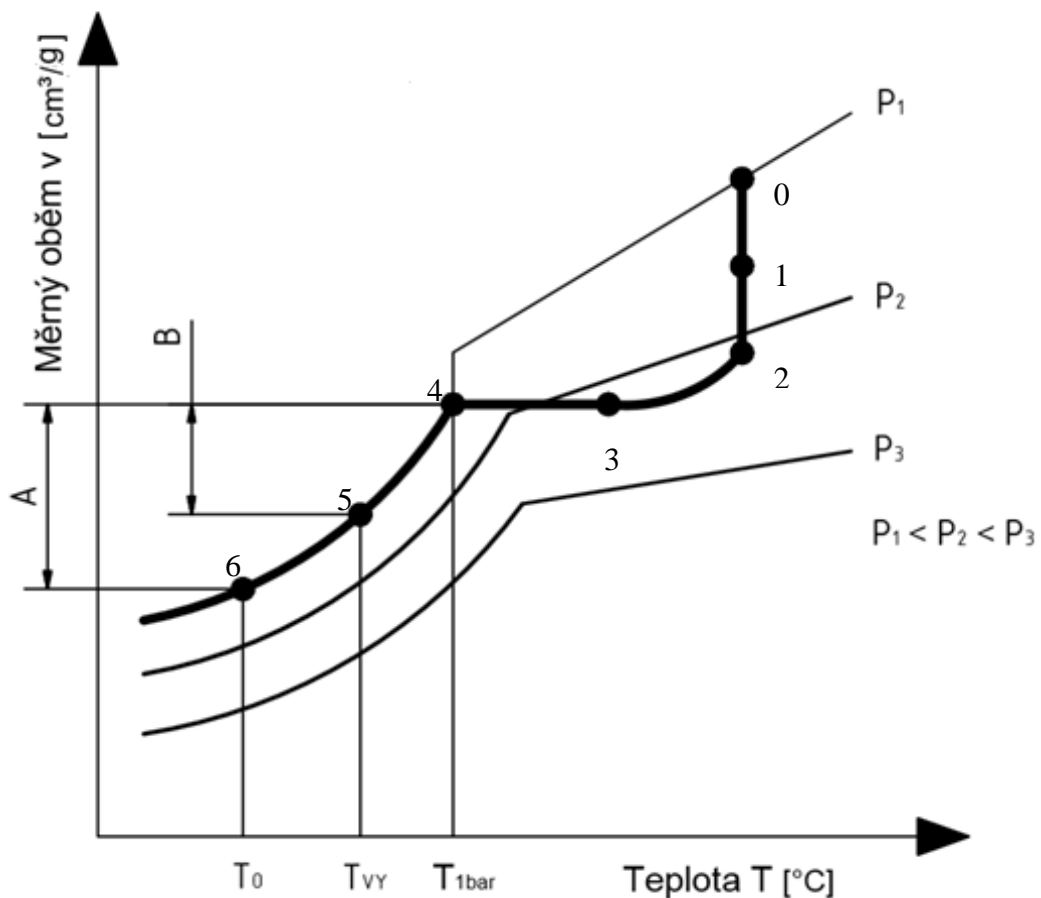
Vstřikovací cyklus začíná přísuvem plastikační jednotky k uzavřené dutině formy, ze které je polymer v plastickém stavu dopravován vysokou rychlostí do dutiny formy (vstříkuje). Čas, který je potřebný k zaplnění dutiny formy taveninou se označuje jako doba plnění. Po zaplnění dutiny formy se na materiál dále působí tlakem, který má za účel eliminovat smrštění výrobku, tato fáze cyklu se nazývá dotlak. Velikost dotlaku bývá stejná, nebo nižší než velikost vstřikovacího tlaku.

Čas, trvání dotlakové fáze, se označuje jako doba doplnění. Dotlak má částečně vyrovnat vliv smrštění a zabraňovat unikání materiálu z dutiny formy. Doba doplňování je omezena zatuhnutím materiálu ve vtokovém systému. Po zamrznutí vtokového systému nemá již její další prodlužování vliv na tlakové poměry v dutině formy. Dotlak nemá význam u tenkostěnných výstřiků u metody GIT a WIT. U tlustostěnných výstřiků má vliv na výskyt závad, jako bubliny, propadliny, staženiny apod. Dotlakem lze také ovlivnit zbytková (zamrznutá) pnutí ve výstřiku. [1]

Chlazení výstřiku probíhá z části ve formě, z části mimo ni; větší přesnosti se dosáhne na chladicích přípravcích. Při otvírání a vyhození výstřiku z dutiny formy lze také oddělit vtokový systém od finálního výrobku, odšroubovat vložku, vysunout jádra apod. Časová prodleva před zahájením nového cyklu slouží k přípravě formy, uložení zastřikovaných dílů, případě k úpravě líce formy. U plně automatizovaných procesů tato prodleva prakticky odpadá. Během vstřikovacího cyklu lze vykonávat další operace, jako např. třídění výstřiků, drcení vtokových zbytků a zmetků apod. Jsou to operace, které mohou probíhat souběžně

bez přímého vlivu na vlastním cyklu. Při vstřikování reaktoplastů je vstřikovací cyklus obdobný pouze s tím rozdílem, že místo chlazení probíhá ve formě tvrzení. Analogicky při vstřikování kaučukových směsí probíhá vulkanizace. V obou případech se výstřiky chladí mimo formu. [1]

1.5 Vstřikovací cyklus v PvT diagramu



Obr.9 Diagram pvT vstřikovací cyklus [4]

bod {0} – šnek v plastikační komoře vstřikovacího stroje stlačí taveninu o příslušné teplotě, tím vyvolá vstřikovací tlak před čelem šneku v dávce taveniny takový, který při požadované vstřikovací rychlosti dopraví taveninu přes odpory vtokového systému až k ústí dutiny;

bod {0;1} – probíhá objemové naplnění tvarové dutiny formy taveninou, v bodě 1 je dutina plně naplněná;

bod {1;2} – tavenina v dutině formy je komprimována, v bodě 2 dosahuje tlak maxima;

bod {2} – přepnutí stroje z režimu vstřikovacího tlaku do režimu dotlaku;

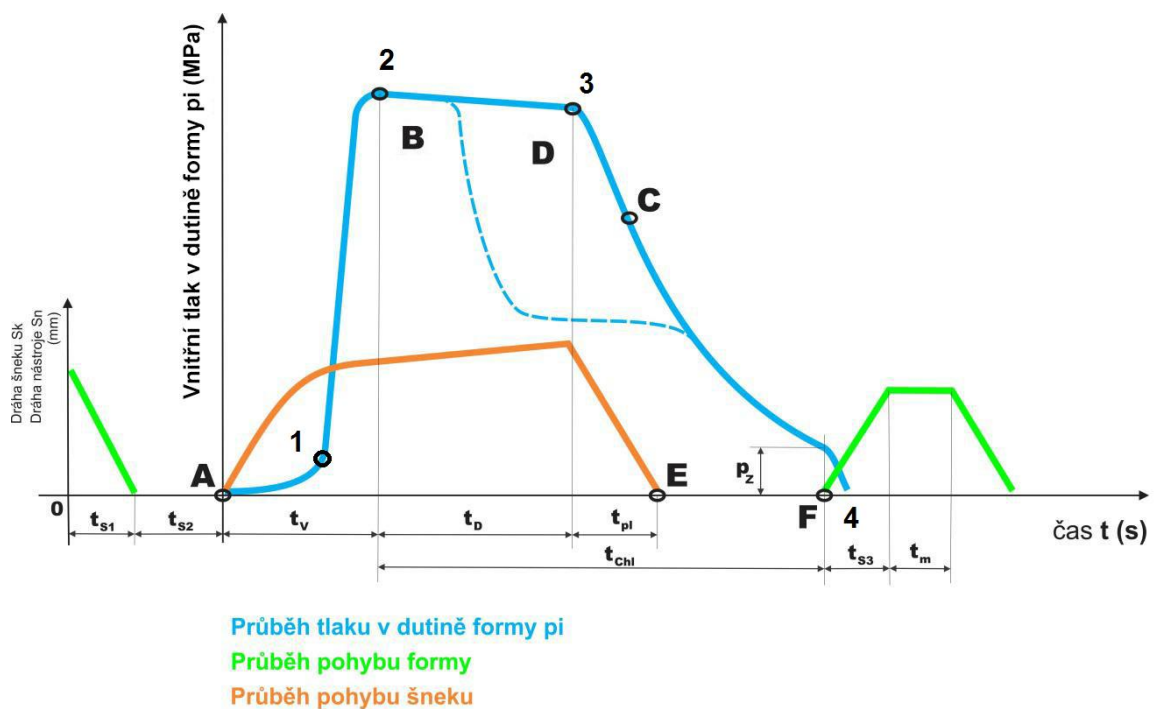
bod {2;3} – dotlaková fáze: probíhá chlazení taveniny a snížení tlaku umožní objemovou kontrakci, přičemž zároveň dotlak doplňuje do systému novou taveninu a tak kompenzuje objemovou ztrátu;

bod {3} – vtokové ústí zamrzlo: další působení dotlaku je neúčinné, taveninu již není možné do tvarové dutiny dodávat;

bod {3;4} – tlakový pokles při konstantním objemu výstřiku v počáteční fázi: v bodě 4 tlak v dutině formy dosáhl hodnoty atmosférického tlaku, povrch výstřiku se v důsledku smrštění separuje od stěn formy;

bod {4;5} – probíhá chlazení výstřiku za konstantního tlaku: v bodě 5 je výstřik z formy vyhozen při vyhazovací teplotě;

bod {5;6} – dochlazení výstřiku mimo formu. [4]



Obr. 10 Diagram tlaku během vstřikovacího cyklu [4]

2 UVOD DO REOLOGIE POLYMERŮ

2.1 Reologie

Reologie je nauka o deformaci a toku látek. Byla odvozena z klasické mechaniky, která se zabývá pohybem hmotného bodu a soustavy hmotných bodů. [15]

Reologie hraje velice důležitou roli především ve zpracování polymerů a s její znalostí je možno optimalizovat řadu výrobních procesů. Znalost základních reologických charakteristik (smyková viskozita, elongační viskozita, elasticita, elastický a ztrátový modul) je potřebná nejen k charakterizování surovin (produktů), ale i k navrhování výrobních zařízení (vytlačovací hlavy, vytlačovací stroje, vstřikovací formy atd.) a také k optimalizaci zpracovatelských procesů. [15]

Každá látka teče, zaleží jen na době pozorování, a proto je nutné při posuzování deformačního chování materiálu rozhodnutí, zda se daná se na danou problematiku má nahlížet jako na pevnou látku (SOLID – elastické chování), a nebo na látku kapalnou (FLUID – viskózní chování), což není úplně jednoznačné, protože všechny materiály se za určitých podmínek chovají jako tekutina, abychom měli jistotu jak danou problematiku řešit byla zavedeno kritérium Debořina čísla. [15]

$$De = \frac{\lambda}{\Theta} \quad (1)$$

λ – makroskopický relaxační čas (vyjadřuje schopnost molekulárního přeskupení z jednoho rovnovážného stavu do druhého)

Θ – doba pozorování

$$\lim_{\Theta \rightarrow \infty} De = 0 \quad \rightarrow \text{fluid}$$

$$\lim_{\Theta \rightarrow \infty} De = \infty \quad \rightarrow \text{solid}$$

$$\lambda_{\text{vody}} = 10^{-12} \text{ s}$$

$$\lambda_{\text{skla}} = 10^2 \text{ let}$$

$$\lambda_{\text{polymerní taveniny}} = (10^{-2} \div 10^2) \text{ s}$$

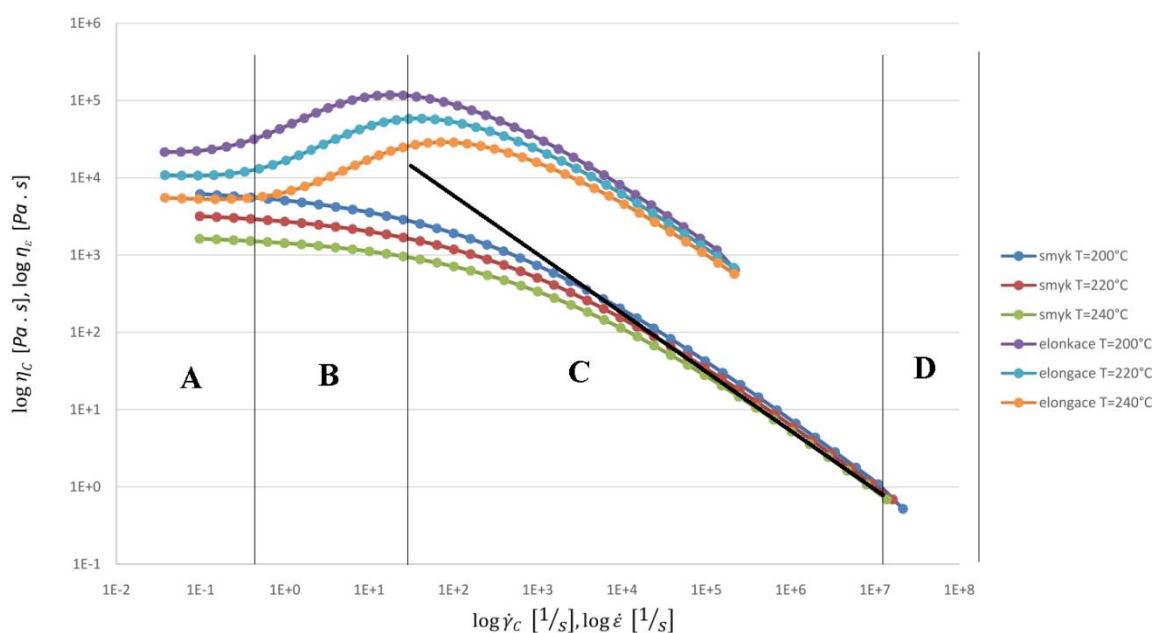
Polymerní tavenina patří mezi látky viskoelastické, které se chovají jako kapalina při pomalém namáhání, a naopak při rychlém namáhání se chovají jako pevná látka.

2.2 Newtonská kapalina

Newtonská kapalina je charakterizována Newtonovým zákonem o viskozitě. Viskozita je míra úměrnosti mezi napětím a rychlostí smykové deformace a má rozměr Pa.s. Pro newtonské kapaliny je viskozita materiálovou konstantou, a je nezávislá na čase a rychlosti smykové deformace. Viskozita se ovšem mění s teplotou, tlakem a závisí na molekulárních parametrech (především na molekulární hmotnosti a její distribuci) zkoumané látky. [18], [17]

2.3 Nenevtonská kapalina

Většina polymerních tavenin se během toku chová newtonsky jen při velmi nízkých rychlostech smykové deformace oblast A, tzv. první newtonské plató). Zvyšováním rychlosti smykové deformace přestává být na této proměnné viskozita nezávislá. Buď klesá, což je typické chování pro polymerní taveniny nebo stoupá. Přičemž v tzv. přechodové oblasti (oblast B) se směrnice závislosti mění, postupně se ale ustaluje do konstantní hodnoty, která určuje stupeň nenevtonského chování (oblast C). Popis tokové křivky uzavírá poslední oblast (oblast D), tzv. druhé newtonské plató, které je charakterizováno opětovným ustálením viskozity nezávisle na stále se zvyšující rychlosti smykové deformace (takto vysoké rychlosti smykových deformací jsou ovšem velmi obtížně měřitelné). [18], [17]



Obr.11 Toková křivka polyethylenu (závislost rychlosti smykové deformace na viskozitě, a závislost rychlosti elongační deformace na elongační viskozitě)

Reologie má za úkol matematicky popsat kompletní závislost tokové křivky. zřejmé, že oblast A dobře vystihuje Newtonův zákon o viskozitě:

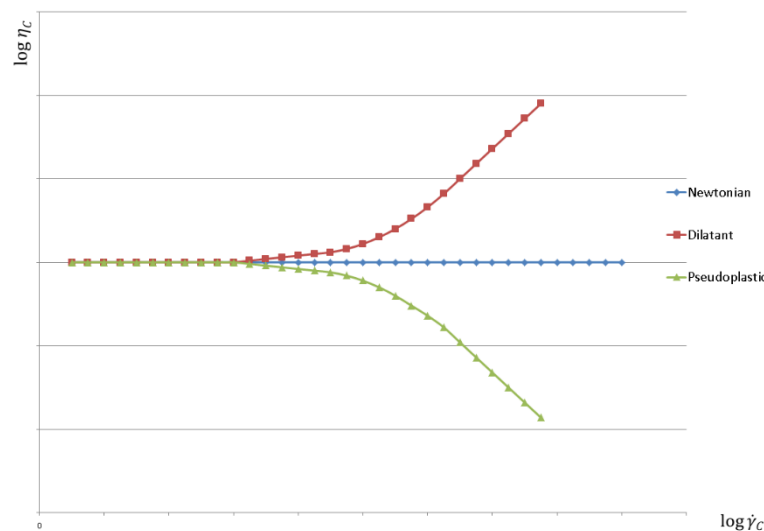
$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2)$$

kde τ_{xy} je smykové napětí, η je smyková viskozita a $\dot{\gamma}$ je rychlost smykové deformace.

Oblast C je nejčastěji charakterizována tzv. mocninovým zákonem:

$$\tau = m \cdot \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

kde m je index konzistence ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$) vyjadřující fluiditu materiálu (vysoká hodnota m znamená vysokou viskozitu), n je index neneutonského chování ($n > 1$ dilatantní; $n < 1$ pseudoplastické – což je většina polymerních tavenin; $n = 1$ newtonské).



Obr. 12 Závislost rychlosti smykové deformace na viskozitě

2.3.1 Pseudoplastické kapaliny

Pseudoplastické kapaliny jsou charakteristické poklesem smykové viskozity s rostoucí rychlostí smykové deformace. Mezi pseudoplastické tekutiny patří především polymerní taveniny a polymerní roztoky, ale také třeba jogurt, kečup nebo krev R1 [12]. Pseudoplasticita je ze zpracovatelského hlediska vítanou vlastností, protože snižuje energetickou náročnost při proudění kapalin v potrubí nebo při míchání kapalin. Důvod, proč k pseudoplasticitě s rostoucí rychlostí smykové deformace dochází je ustalování rovnováhy mezi nesoúměrnými částicemi nebo molekulami. V klidovém režimu jsou částice náhodně promíchány, kdežto při pohybu se pozvolna orientují hlavními osami do směru pohybu. Viskozita

s rostoucí rychlostí smykové deformace stále klesá až do určité hodnoty, kdy již není možné dokonalejší uspořádání částic. Od této hodnoty je již viskozita konstantní. [18], [17]

2.3.2 Dilatantní kapaliny

Reciprokým jevem k pseudoplasticitě je dilatantní chování charakterizované růstem viskozity se vzrůstající rychlostí smykové deformace. Patří sem především suspenze (pevná látka v kapalné fázi) např. kukuřičný škrob rozpuštěný ve vodě. Důvod k dilatantnímu chování je následující. Za klidu je objem dutin mezi částicemi minimální a kapalina právě dostahuje k vyplnění těchto mezer. Jakmile se začne taková suspenze pohybovat nízkou rychlostí smykové deformace, kapalina působí jako mazivo mezi částicemi a napětí jsou nízká. Při zvýšených rychlostech smykové deformace se těsné uspořádání částic změní ve vrstvitost, suspenze se mírně protáhne – dilatuje – a mezerovitost (objem dutin) vzroste. V tomto případě nastává nedostatek „mazací kapaliny“ a smykové napětí tedy vzrůstá. Dilatace suspenze způsobuje rychlý vzrůst viskozity s rostoucí rychlostí smykové deformace. O výskytu dilatantních tekutin v technické praxi se říká, že je sporadický. [18]

2.3.3 Tixotropní kapaliny

Smyková viskozita nemusí být závislostí jen rychlosti smykové deformace, ale též času. V případě, že se u dané kapaliny viskozita v čase při konstantním namáhání (např. míchání) snižuje, jedná se o tzv. tixotropní kapaliny. V okamžiku, kdy skončí mechanické namáhání, dojde k obnovení původní struktury kapaliny a viskozita se vrátí na původní hodnotu. Tixotropie se uplatňuje především v průmyslu nátěrových barev. Je totiž velmi žádoucí, aby barva při natírání (smykové namáhání) snižovala viskozitu a po rozetření svou viskozitu opět zvýšila. [18]

2.3.4 Reopektické kapaliny

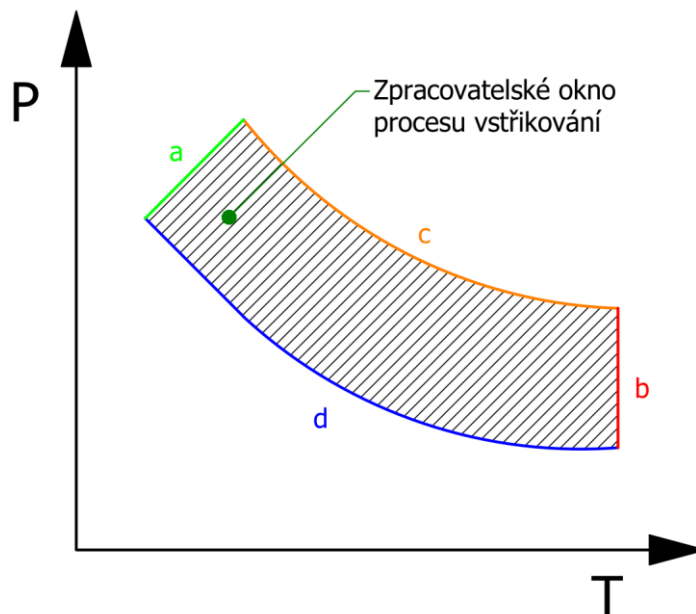
Opakem tixotropní kapalin jsou kapaliny reopektické, které jsou charakteristické tím, že svoji viskozitu při konstantním namáhání v čase zvyšují. Typickými reopektickými kapalinami jsou např. lubrikanty, sádra, beton nebo inkousty. [18]

2.4 Reologie – vstříkování

Při vstříkování výrobků z polymerů jsou z reologického pohledu kladeny důrazy na dopravu taveniny z plastikační jednotky do dutiny formy s minimálním tlakovým spádem a množstvím materiálu, také se při vstříkování nesmí generovat velký odpor a proto je snaha používat krátké divergující kanály. Dále musí být vtokové ústí navrženo tak, aby se zde generovalo nízké smykové napětí. [15,10]

2.4.1 Charakteristika vstříkování

Proces vstříkování se dá charakterizovat diagramem MAD (Moulding Area Diagram). Což je v podstatě diagram, který definuje zpracovatelské okno pro zhotovení daného výrobku. Diagram se stanovuje experimentálně, ovšem analýzy vstříkování mohou významně pomoci. [15,10]

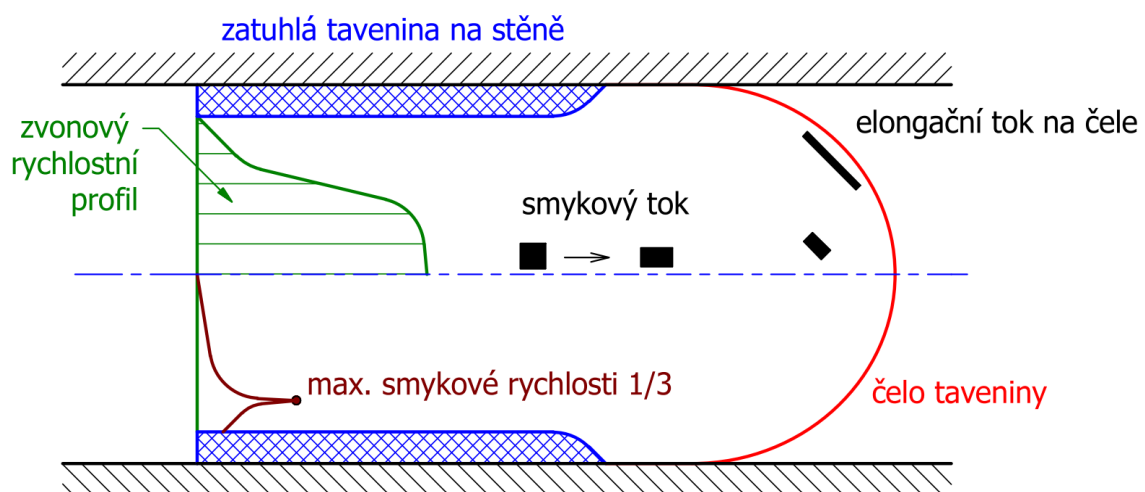


Ob. 13 Pracovní diagram vstříkovacího stroje

úsečka a – charakterizuje zpracovatelské podmínky při kterých je nízká teplota a dochází rychlému ztuhnutí, úsečka b – charakterizuje zpracovatelské podmínky při nichž je již vysoká teplota a dochází k degradaci materiálu, úsečka c – charakterizuje zpracovatelské podmínky při kterých je již tlak příliš vysoký a dochází k otevření formy, úsečka d - charakterizuje podmínky při nichž nedochází k zatečení taveniny do dutiny formy.

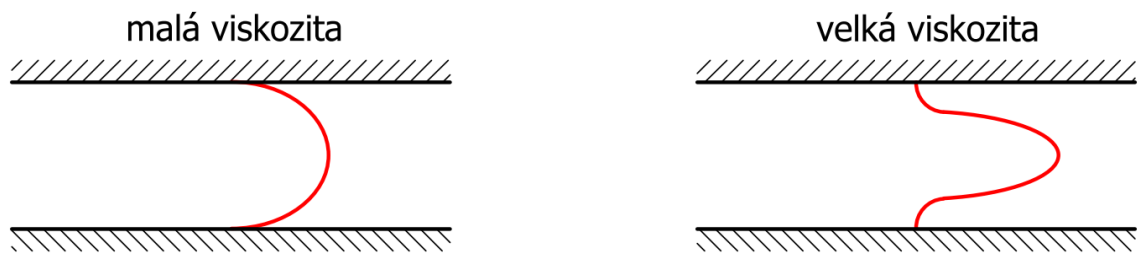
2.4.2 Fontánový tok

Pro vstřikování je typický fontánový tok, který je způsoben absencí skluzu mezi taveninou a stěnou. Nelze modelovat jako tok mezi dvěma deskami nutno použít složitější modely. Rychlostní profil při vstřikování není parabolický, ale zvonovitý, mění se zde křivka z konkávní na konvexní (obr. 14) rychlost smykové deformace je maximální v 1/3 od stěny směrem k ose toku. Struktura vlákna se zde v každé vrstvě od kraje mění, v zamrznuté vrstvě se tvoří nahodilá orientace v 1/3 se nahodilá orientace mění na radiální orientaci vláken (orientace paralelně se směrem toku v důsledku smykového toku), pod touto vrstvou se nachází vrstva s orientací vláken v obvodovém směru (dominantní je zde tangenciální složka rychlosti) což je nutno brát v úvahu zejména při vstřikování materiálu s plnivý vzniká tak anizotropní struktura, kterou se dá částečně ovlivnit rychlostí vstřikování a významně polymerní matricí, důležitým faktorem je zde index newtonského chování n . Růst pseudoplastického chování taveniny s klesajícím n klesá což způsobuje hladší rychlostní profil, tudíž je užší oblast vysokého smýkání a tak vzniká menší tloušťka vrstev orientovaných paralelně ke směru toku. [15,10]



Obr. 14 Charakter fontánového toku

Na proces vstřikování má velmi významný vliv elongační viskozita. Velká elongační viskozita vstřikovací taveniny snižuje zatékavost do dutiny formy. V dutině formy převažuje elongační tok, čím je elongační viskozita větší tím je nutnější větší tlak na vyplnění dutiny formy. Dalším faktorem ovlivňujícím proces vstřikování je smyková viskozita, která má vliv na tvar čela taveniny



Obr. 15 Vliv viskozity na tvar čela proudu taveniny

2.4.3 Studený spoj

Studené spoje vytvářejí pevnostní abnormality uvnitř struktury výstřiku a také jsou mnohdy doprovázeny vzhledovými vadami napovrchu výrobku. Studené spoje vznikají vždy, při rozdělení hlavního proudu taveniny na více proudů tvarovými prvky, jádry, a nebo pokud dochází k plnění dutiny formy více vtoky a dochází k následnému spojení proudů, buď to čelně, nebo tangenciálně. Čelní spojení dvou ochlazených čel je z pevnostního hlediska vždy nebezpečnější [15,10]

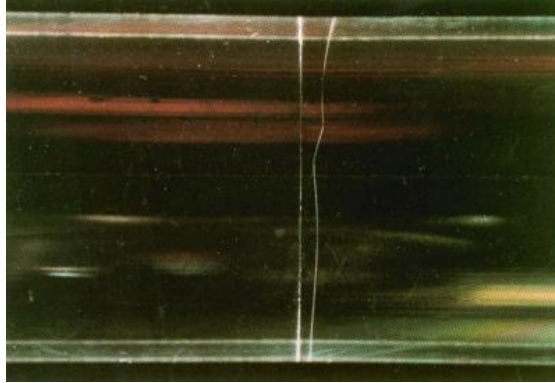
Studené spoje jsou důsledkem pomalého difuzního procesu, který je řízen tepelným pohybem částic.

Důležitým faktorem je Reentanglement Time (čas znovuoobnovení zapletenin), jedná se o čas kdy studené spoje dosahují přibližně stejné pevnosti jako homogenní materiál. Po dobu tohoto času by se měl materiál udržet na vstřikovací teplotě. Reentanglement Time PS = 10s. Přibližná hodnota tohoto času se dá určit jako:

$$\tau_{ry} = 100 \cdot \lambda \quad (4)$$

Kde λ představuje makroskopický relaxační čas taveniny, tudíž čas který je potřebný k přechodu z jednoho rovnovážného stavu do druhého.

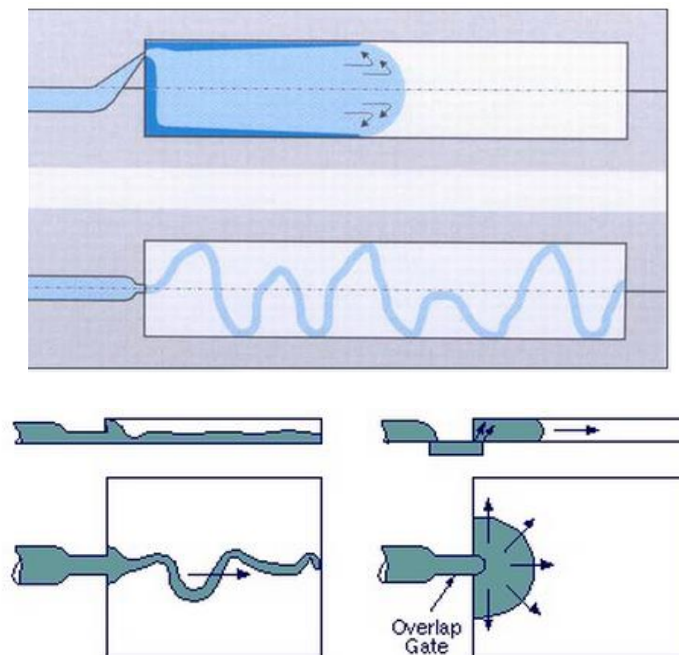
Vznik studených spojů jsme schopni částečně ovlivnit výběrem materiálu, obecně platí, že materiály které jsou méně elastické, mají menší relaxační čas [19]



Obr. 16 Viditelná stopa studeného spoje na transparentním materiálu [19]

2.4.4 Negativní tok – jetting (tryskový tok)

Tavenina vykazuje nedostatečné narůstání k vytvoření kontaktu se stěnou formy. Výsledkem je nekvalitní „zig - zag“ povrch který je doprovázen vytvoření několikanásobného počtu studených spojů, což vede ke snížení mechanické únosnosti a nedostatečné povrchové estetice výrobku. Jetting je typický pro vysoce plněné materiály, neboť mají sníženou elasticitu a tudíž vykazují menší stupeň narůstání. [15,10]



Obr. 17 fontánový tok vs. Jetting

3 VSTŘÍKOVACÍ STROJ

Proces vstřikování je zajištěn pomocí vstřikovacího stroje. Ve většině případu se jedná o univerzální konstrukci, kterou je umožněno použití různých typů a velikostí vstřikovacích forem. V případě moderních vstřikovacích strojů je možné proces plně automatizovat a zvýšit tak produktivitu výroby. Pořizovací náklady na vstřikovací stroj i vstřikovací formu jsou značné, proto je tato technologie vhodná zejména pro hromadnou a velkosériovou výrobu. Vstřikovací stroj je výrobní zařízení, kterým je umožněno roztavení, plastikace a homogenizaci zpracovávané polymerní směsi, která je následně vstříknuta pod vysokým tlakem a teplotou do uzavřené a temperované dutiny vstřikovací formy, kde je tavenina vytvářena a ochlazená. Materiál je do stroje dodáván nejčastěji ve formě granulátu. [8][5]

Vstřikovací stroje lze dělit podle:

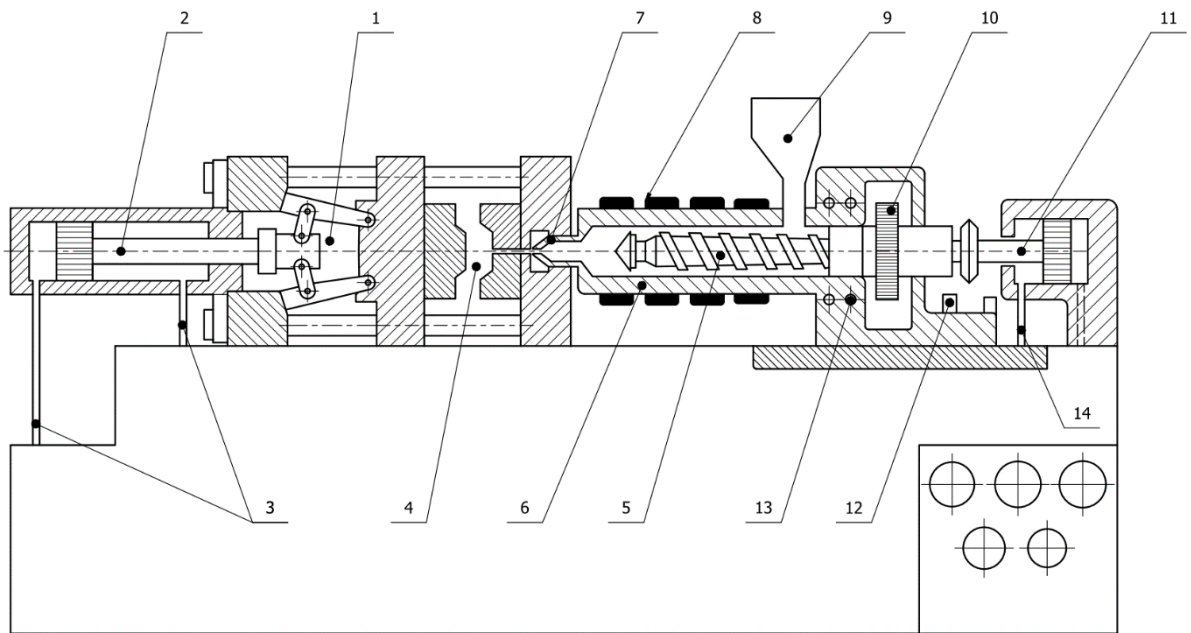
- typu využití energie (hydraulické, elektrické a kombinované),
- principu (šnekově, pístové),
- orientace (horizontální, vertikální),
- počtu šneku (jednošnekové, vícešnekové),
- rychlosti chodu (pomaluběžné, rychloběžné)
- typu zpracovaného materiálu (termoplasty, reaktoplasty a elastomery),
- typu plastikace (bez předplastikace, s předplastikací). [8][5]

Vstřikovací stroj se dělí na tři základní části;

- vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka,
- ovládací a řídicí jednotka stroje

V současné době jsou v průmyslu využívány především hydraulické, hydraulicko-mechanické a elektro-mechanické stroje, stavebnicového uspořádání s různým stupněm elektronického řízení. [5] Pro přesné výrobky je od vstřikovacího stroje vyžadována:

- tuhost a pevnost,
- přesnost nastavení, časování a řízení (tlaku, rychlosti, teploty a ostatní parametrů),
- reprodukovatelnost technologických parametrů. [5]



Obr.18 Schéma vstřikovacího stroje [9]

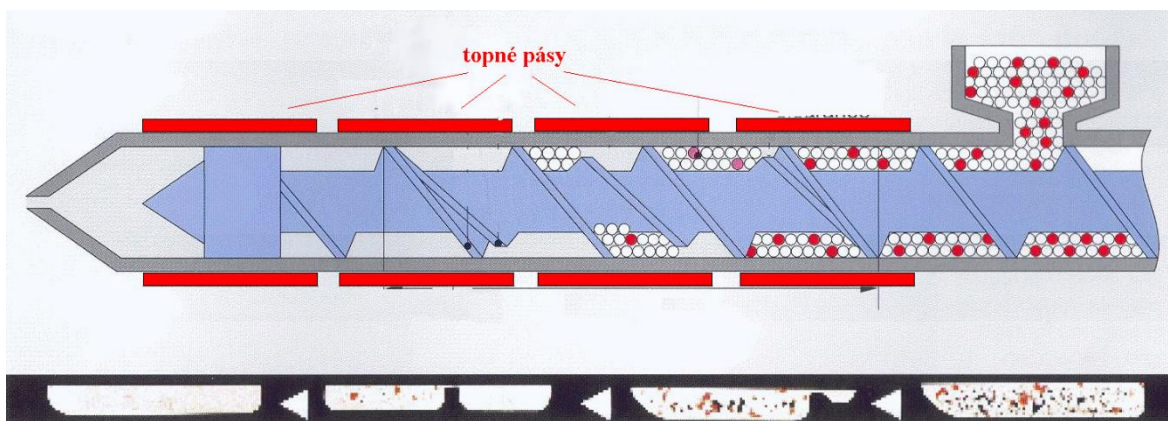
1 – kloubový mechanismus, 2 – hydraulický válec s pístem, 3 – přívod a odvod tlakové kapaliny, 4 – forma, 5 – šnek, 6 – tavný válec, 7 – tryska, 8 – odporové topení, 9 – násypka, 10 – hydromotor, 11 – hydraulický válec s pístem pro axiální pohyb šneku, 12 – koncové spínače, 13 – chladicí kanály, 14 – přívod a odvod hydraulické kapaliny

3.1 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka je složena z násypky, pracovního válce se šnekem, trysky a topných pásů. Její funkcí je příprava a doprava požadovaný objem taveniny v rámci nastavených technologických parametrů do dutiny vstřikovací formy. Vystřikovaný objem polymeru musí být nižší, než je kapacita vstřikovací jednotky během jednomu zdvihu. S ohledem na výrobu korektního výstřiku je nutné zajistit dostatečnou rezervu polymerní taveniny v pracovním válci stroje, pro případné doplnění úbytku materiálu vlivem objemové kontrakce při chlazení. Objem vstřikovaného polymeru v jedné dávce by neměl překročit 90% kapacity vstřikovací jednotky. [8][5]

Polymerní materiál je, nejčastěji ve formě granulátu, gravitačně odebírán z násypky nebo zásobníku a předáván na vstupní část rotujícího šneku. Následně je transportován, plastikován a homogenizován pomocí homogenizačních elementů na obvodu šneku přes vstupní, přechodové a výstupní pásy až k jeho špičce. Aby zde mohla být tavenina akumulována je

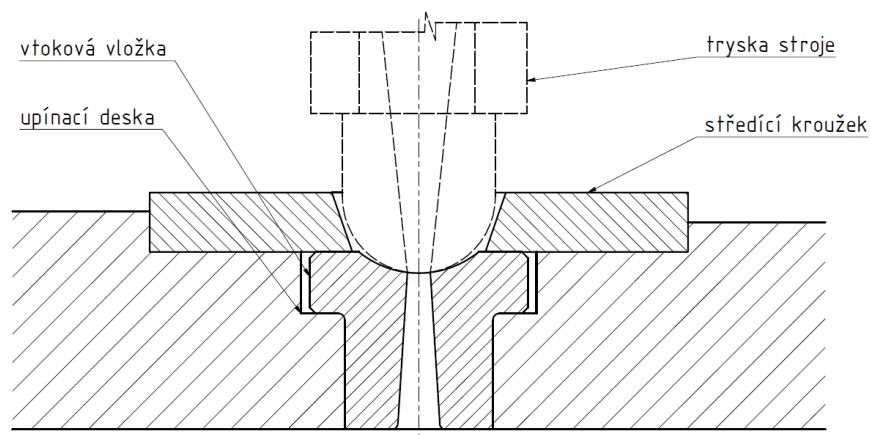
nutné vyvodit zpětný axiální pohyb šneku. V okamžiku vstřikování je připravená dávka taveniny pod vysokým tlakem vstříknuta přes trysku plastikační jednotky do dutiny vstřikovací formy. Pro zamezení zpětného toku taveniny šnekem, vlivem odporu soustavy vstřikovací trysky a vtokového systému formy, je zde využito zpětných ventilů. Vytápění pracovního válce je rozděleno do několika zón odlišným nastavením teploty a je realizováno pomocí topných patron v podobě měděných pásu umístěných po vnějším obvodu válce. Část tepelné energie je do systému zavedena vlivem disipace v polymerního materiálu. [8][5]



Obr. 19 Plastikační jednotka s bariérovou šroubovicí (Maileferův šnek) [20]

Tavná komora je zakončena vyhřívanou tryskou, kterou je spojena vstřikovací jednotka s formou. Bezpečné a přesné dosednutí trysky do sedla vtokové vložky formy je zajištěno jejím kulovým zakončením. V zájmu zajištění nižšího přestupu tepla z trysky na vstřikovací formu je možné celou vstřikovací jednotku odsunout. [8][5]

Vstřikovací trysky mohou být otevřené a uzavíratelné. Otevřené trysky jsou využívány nejčastěji pro vstřikování polymeru s vyšší viskozitou. Použitím uzavíratelných trysek lze zabránit samovolnému výtoku materiálu při jeho plastikaci. Otevření uzavíratelné trysky nastane odjištěním jehlového uzávěru po jejím dosednutí do sedla vtokové vložky. [2, 5]



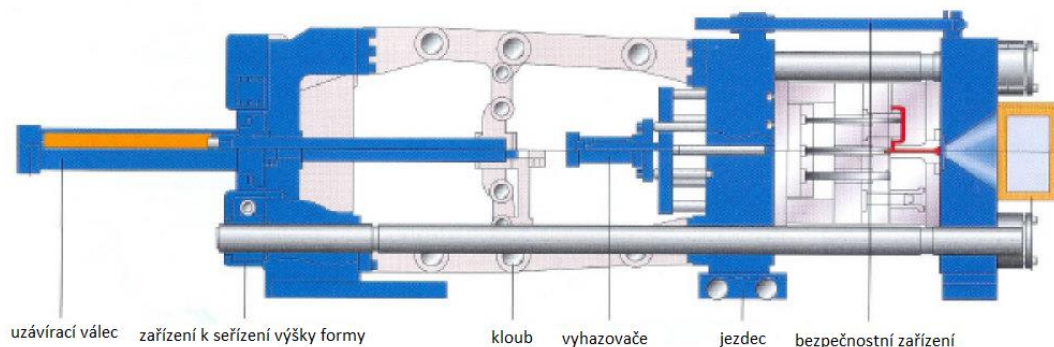
Obr.20 Dosednutí trysky stroje na trysku formy [5]

3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka ovládá pohyby formy a zajišťuje její dokonalé uzavření, utěsnění, otevření i případné vyprázdnění. Velikost uzavíracího tlaku je stavitelná a je přímo závislá na velikosti vstřikovacího tlaku, ploše dutiny a vtoků v dělicí rovině. [5]

Hlavní části uzavírací jednotky;

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



Obr. 21 Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje

Výhodou hydraulických jednotek je nastavení libovolné hloubky otevření nástroje. Hydraulicko-mechanická jednotka je nejčastěji používá se u menších strojů. Zaručuje vyšší rychlost uzavírání, potřebné zpomalení před uzavřením formy a dostatečnou tuhost. Bývají

konstrukčně uspořádány jako kloubový mechanismus, který je ovládán hydraulickým válcem. Formu proti otevření při vstřikování zajistí hydraulický válec velkého průřezu, který je pevně spojen s upínací deskou. [5]

3.3 Ovládání a řízení vstřikovacího stroje

Vysoká schopnost řízení a snadná obsluha stroje je charakteristickým znakem jeho kvality. Stejně jako stálá reprodukovatelnost technologických parametrů výroby. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na přesnosti a kvalitě výroby výstřiku. Řízení stroje tak musí být zajištěno vhodnými regulačními prvky. [5]

V současnosti jsou vstřikovací stroje řízeny přidruženou elektronickou jednotkou s procesorem. Na místo obvyklé stroje textové formy nastavení technologických parametrů je využíváno nejrůznějších grafických nadstaveb a embedded systémů, které jsou zobrazovány LCD displejem přímo na informačním displeji vstřikovacího stroje. V mnoha případech jsou tyto stroje propojeny rozhraním se stolním počítačem s vyspělým operačním systémem a připojením k lokální počítačové síti, nebo tento počítač mají integrovány přímo ve svém těle. Obsluha tedy není nucena k zjištění podrobných informací o výstřiku přecházet k jinému terminálu. [5, 8]

Přesnost a jakost výstřiků je tedy také dána kvalitním systémem řízení stroje, vybraná nastavení vstřikovacího procesu jsou detekčními čidly v reálném čase zpětně verifikovány a případně dynamicky upravovány v závislosti na vnějších podmínkách. Jedná se např. o řízení teploty jednotlivých pásem tavné komory nebo kontrolu výše i doby působení vstřikovacího tlaku a dotlaku. [5, 8]



Obr. 22 řídicí jednotka vstřikovacího stroje [13]

4 SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY VSTŘIKOVÁNÍ

Kromě klasické technologie vstřikování plastů, která byla popsána v předchozích částech, existuje mnoho dalších způsobů vstřikování, které se řadí mezi speciální způsoby. Liší se v parametrech procesu, v konstrukci nástroje, v kombinaci materiálů, apod. [20]

4.1 GIT – Vstřikování plastů s podporou plynu

GIT (Gas Injection Technologie) je vstřikovací technologie za podpory plynu, u které se jedná o ekvivalent vstřikování termoplastů, vyvinutý v osmdesátých letech s možností vyrábět díly s uzavřenými dutinami, které jsou vytvořeny vzduchovými kapsami, kdy se do určitých míst výstřiku za účelem vytvoření dutiny přivádí plyn, většinou dusík, čímž se vytvoří vístřík o zdánlivě velkém průřezu, přičemž odpadne nutnost chladit velké množství roztavené plastické hmoty. Jako plynu je použito vysoce čistého dusíku (čistota min. 99,8 %) s možností jeho stlačování v rozsahu 10 až 30 MPa. [20]

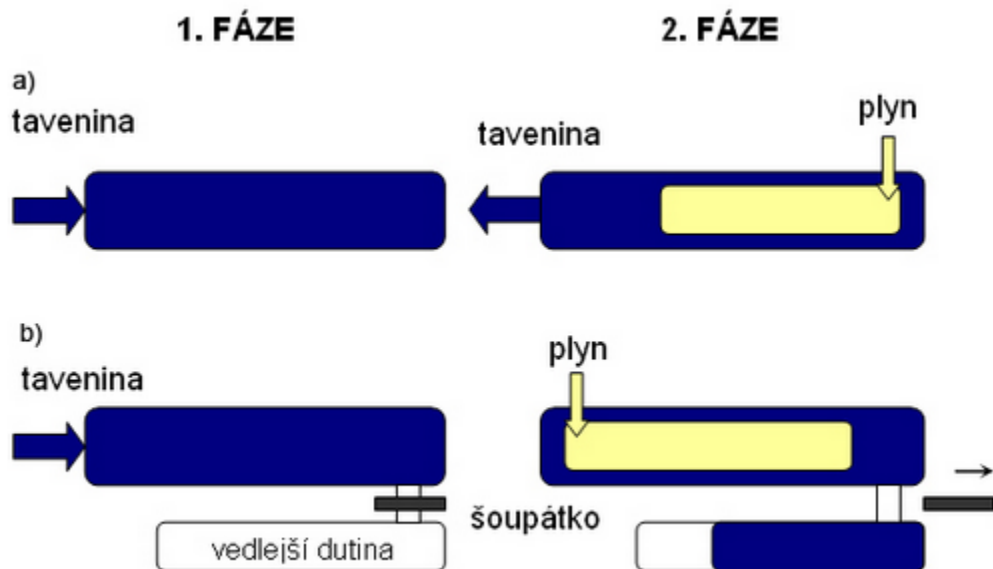
Z hlediska technologie jsou možné dvě techniky tvorby dutiny. První je tzv. krátký vstřík, dofukovací způsob, kdy je dutina formy naplněna jen částečně (objem taveniny je 50 až 90 %) a následně je tlakem plynu zcela vytvarována dutina formy (viz. obr. 23). Největším problémem je zde objem dávky taveniny plastu. Druhý způsob je tzv. dlouhý vstřík, vyfukovací způsob, při kterém se plyn vstříkuje do dutiny formy až po té, co plast úplně vyplní tvarovou dutinu a tavenina je vytlačována buď zpět před čelo šneku a nebo do pomocné dutiny. U krátkého vstřiku klesá tloušťka stěny se vzdáleností dráhy plynu, u dlouhého vstřiku je rovnoměrnější po délce kanálu. [20]



Obr. 23 metoda GIT – krátký vstřík

Výhodou této technologie je snížení uzavíracích sil, snížení smrštění, eliminace do-tlakové fáze cyklu, zkrácení délky cyklu (zkrácení doby chlazení vlivem zmenšení tloušťky stěny při zachování chladicí plochy nástroje), snížení hmotnosti výrobku, nízká deformace

ploch výrobků, vysoký stupeň tuhosti u dílů s žebry a zachování požadovaných mechanických vlastností a minimalizace deformací výstřiku, vzniku staženin a snížení spotřeby plastů včetně zlepšení poměru hmotnost – tuhost při zachování vysoké kvality povrchu. Dochází k redukci hmotnosti až o 50 % a ke zkrácení doby cyklu také až o 50 %. Je možné počítat s poklesem výrobních nákladů o 30 [20]



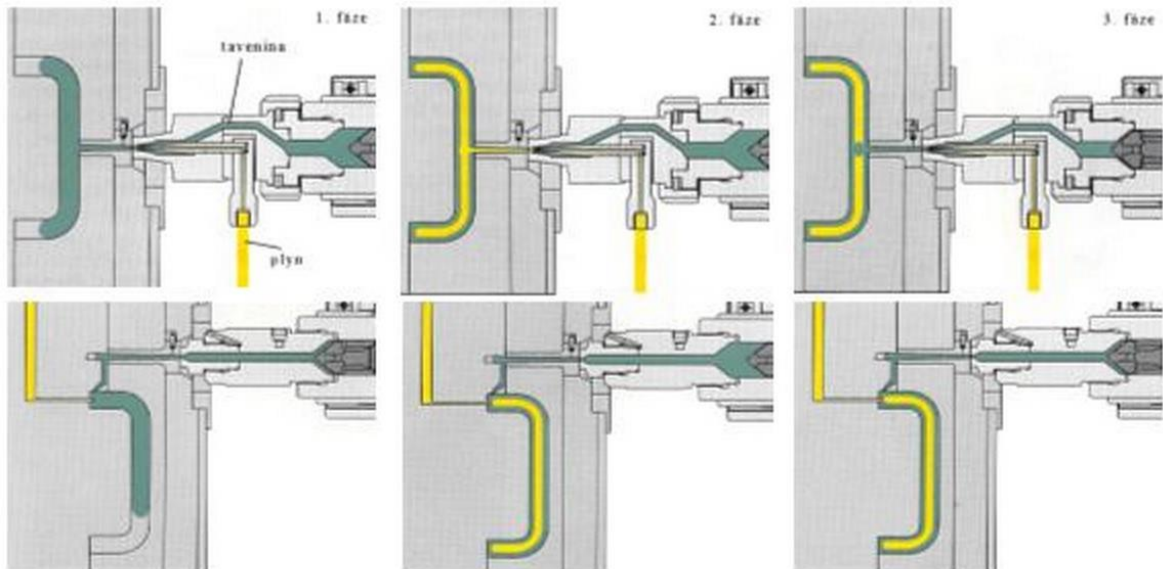
Obr. 24 metoda GIT – dlouhá vstřík

a) se zpětným odtokem taveniny zpět před čelo šneku, b) s vedlejší pomocnou dutinou

Vlastní proces vstřikování je obdobný jako u klasické technologie vstřikování, tedy zavření formy, vstřík, dotlak, chlazení, otevření formy a vyhození výrobku. Tlak plynu zde však přebírá funkci dotlaku, je však nutné pomocí konstrukce tvaru (geometrická opatření) kontrolovat směr pohybu plynu. Žebra a rozdílné tloušťky stěn potom slouží k vedení plynu.

Při vstřikování s podporou plynu je nejdříve vstříknut plast (nejlépe s pomocí horkých vtoků pro ideální homogenitu a teplotu taveniny) a teprve potom plyn, protože při současném vstřikování by se plyn dostal na povrch výstřiku. S ohledem na velký rozdíl mezi viskozitou taveniny a plynu, vytváří se zcela jiný typ proudění, než je klasické proudění taveniny plastu. Plyn musí být přiveden do určeného místa výstřiku v přesně stanovený okamžik, kdy plast ještě nestačil ztuhnout vlivem dotyku se stěnou formy (důsledek chlazení), a nebo do míst, kde není tavenina plastu v nečinnosti. To klade vysoké nároky na konstrukci formy. Z počátku se přivádí plyn o nižším tlaku, aby nedošlo ke vzniku povrchových vad (vytvoření dutiny). Po úplném naplnění tvarové dutiny formy se tlak plynu zvýší, aby se

dosáhlo přesného dotvarování dílu. Kontrolu tlaku plynu provádí tlaková jednotka, která je součástí vstřikovacího stroje, a může být řízena jednak z hlediska kontroly objemu nebo tlaku. V zásadě však platí, že pro tekutější hmoty je potřeba nižší tlak a naopak. [20]

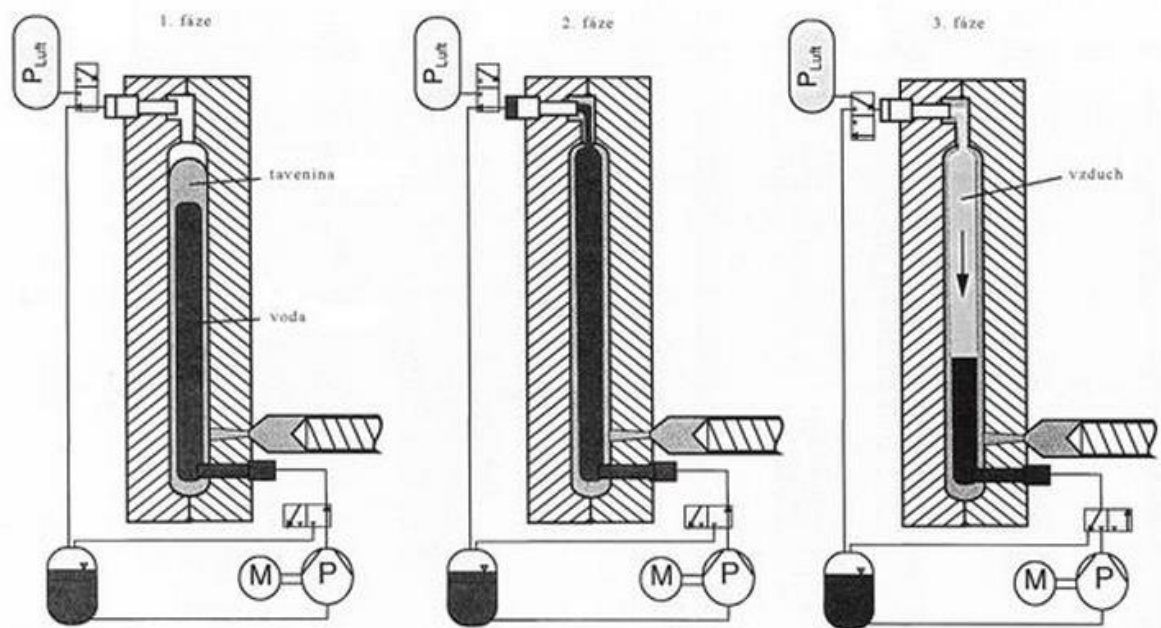


Obr. 25 Varianty přívodu plynu a) přívod tryskou, b) přívod jehlou injektoru

Možnosti přívodu plynu za účelem vytvoření dutiny jsou v podstatě dvě, tryskou nebo injektorem s průměrem jehly 3 až 5 mm. U injektoru je nebezpečí ucpání jehly zbytky tavenin termoplastů při zpětném odsávání plynu. [20]

4.2 WIT – vstřikování s podporou vody

Kromě technologie vstřikování plastů s podporou plynu (dusíku) se v dnešní době začíná prosazovat technologie vstřikování, kdy k výrobě dutých těles se nepoužívá plyn, ale voda. Mluvíme o technologii vstřikování s podporou vody – WIT (water injection technology). Voda je vstřikována jednou nebo více pumpami do tekuté taveniny za účelem vytvoření dutiny. Vstřikování vody se provede tak, aby se voda neodpařovala. Tedy teplota přivezené vody musí být volena podle zpracovávaného plastu. Čelo vody pak působí na plastické jádro jako vtlačovaný píst. Účinek je navíc podpořen tím, že v oblasti (na čele) přechodu vody a taveniny ztuhne tenká plastová membrána. Nakonec může být voda vytlačena z dílce tlakovým vzduchem, nebo odsáta zpět, a nebo se vylévá mimo formu a přes zásobník se vrací zpátky do oběhu. Vstříknutí vody se musí provést dostatečně rychle, aby se zabránilo hydrolytickému rozkladu plastu. Technologické principy vstřikování vody jsou obdobné jako u vstřikování plynu. [20]



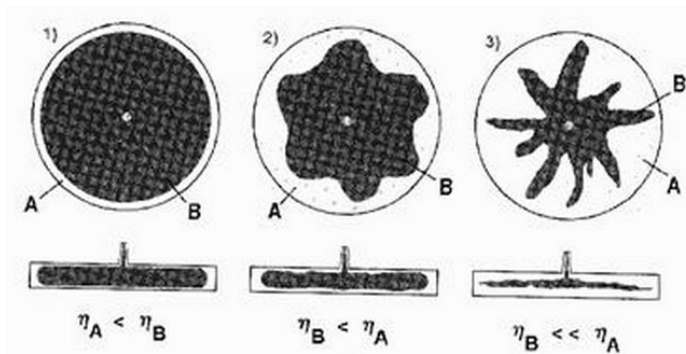
Obr. 26 Princip WIT technologie – krátký vstřík

V důsledku většího chladicího účinku vody oproti plynu se zkrátí doba chlazení i doba celého cyklu přibližně na 10 až 20 % doby u klasické technologie vstřikování. Výhody technologie WIT jsou srovnatelné s výhodami technologie GIT a technologii WIT lze použít i na výrobu dílců, které metodou GIT nelze realizovat. Zároveň mají vnitřní stěny výrobků velmi hladký povrch. Na druhé straně je technologie WIT použitelná jen u určitých tvarů plastových dílů. [20]

4.3 Vstřikování sendvičů

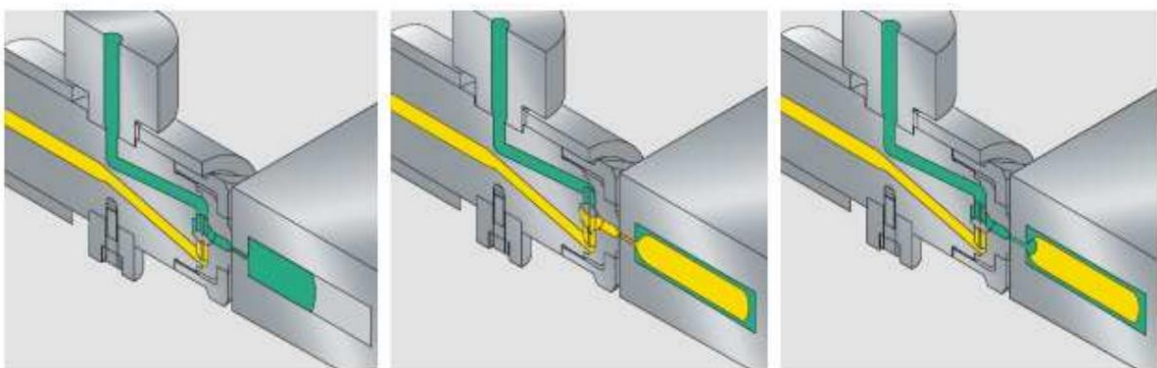
Vývojem a zavedením sendvičového vstřikování bylo možno zpracovávat recyklované materiály jako jádra vstřikovaných dílů. Sendvičové vstřikování dostalo název podle struktury vyráběných dílů - vnější stěny jsou z jednoho (prvního) materiálu a představují „slupku“, zatímco vnitřek dílu se skládá z druhého materiálu a představuje jádro. Tato struktura se vytváří v důsledku procesů proudění, při kterých se využívá laminárního proudění taveniny v dutině formy (technologie pomalého laminárního toku). Povrchová vrstva materiálu po prvním vstřiku se po ochlazení dotykem se stěnou formy již neposunuje a tím je v podstatě uzavřen materiál jádra do materiálu povrchu. Plasty jsou však ještě dostatečně plastické na to, aby došlo ke spojení [20]

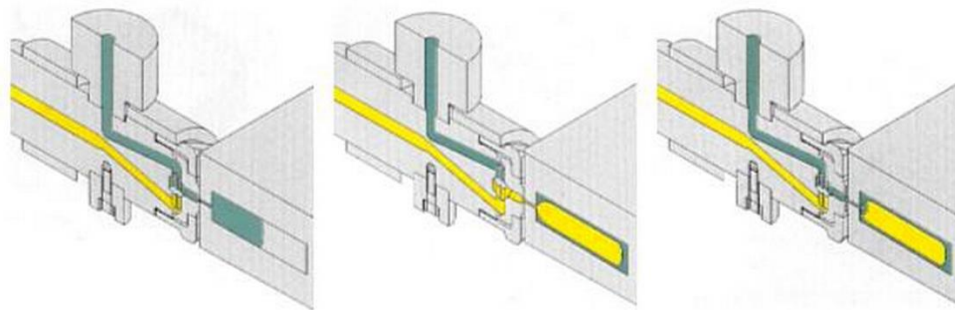
Povrchový materiál může být rozdílný od materiálu jádra, ale musí být vzájemně mísitelný. Při sendvičovém vstřikování se používají stroje se dvěma vstřikovacími jednotkami. Přitom technolog musí mít rozsáhlé znalosti o vstřikovacím procesu, aby nastavil vstřikovací proces tak, že se dosáhne stálého a postupného plnění formy. Proces z hlediska jednotlivých kroků je shodný se standardním vstřikováním. Výsledný tvar komponentu (jádra a povrchu) závisí hlavně na tokových vlastnostech materiálu, na geometrii výrobku a na umístění vtokového systému. [20]



Obr. 27 Vliv viskozity materiálu a jádra na zapouzdření složek

Sendvičové díly jsou zásadně srovnatelné se standardními výstřiky. Většina dnes realizovaných dílů původně byla standardními díly. Změna sendvičové techniky na standardní je zpětně bezproblémová, ale zpravidla z technických nebo ekonomických důvodů není účelná. Sendvičové produkty mohou být tenko i tlustostěnné. Tlustá stěna však ještě neznamená větší podíl jádrové složky, např. regenerátu. Technologií vstřikování sendvičů se vyrábějí hlavně výrobky, u kterých je možné použít recyklátu nebo vyztužit výrobek. Velký počet dnes realizovaných aplikací je založen na kombinaci technických vlastností rozdílných plastů, např. jádro obsahuje skleněná vlákna a povrch je z kvalitního nevyztuženého plastu. Jiným příkladem je elektricky vodivá povrchová slupka ve spojení s levným standardním materiálem v jádru, apod. [20]



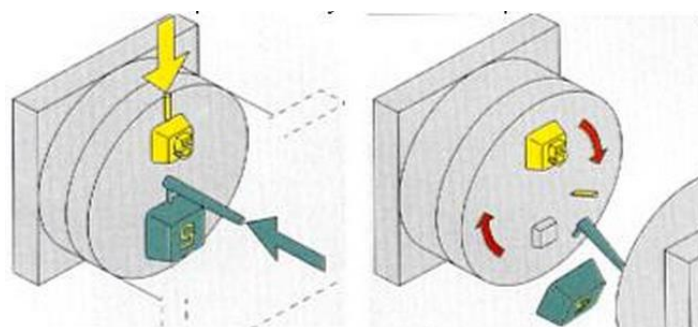


Obr. 28 Princip sendvičového vstřikování – třístupňový proces

Vše je řízeno speciální tryskou stroje, která spojuje dvě vstřikovací komory a dávkuje taveninu plastu do dutiny formy pomocí nucených (hydraulicky) nebo tlakově řízených mechanismů, které ovládají jehlu trysky v závislosti na tlakových poměrech. Při výrobě sendvičového dílu je vždy důležité nalézt správný okamžik, kdy se přepíná složka, tvořící slupku, na složku, tvořící jádro. [20]

4.4 Vícekomponentní vstřikování

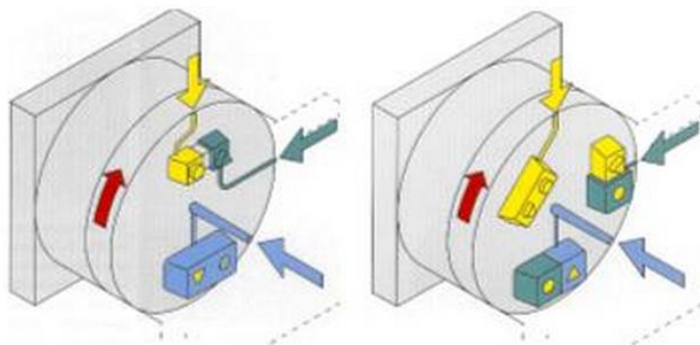
Technologie vícekomponentního nebo vícebarevného vstřikování umožňují na jednom výlisku kombinovat buď dva nebo více materiálů nebo dvě nebo více barev od jednoho druhu plastu. Tato technologie se rozvíjela postupně nejdříve od vstřikování více barev až po dnešní vstřikování dvou nebo více druhů polymerů, a to i nemísitelných. V případě nedostatečné adheze se musí provést úprava geometrie dílu tak, aby došlo „k zastříknutí“ spojovaných částí (závisí to na geometrii dílů). U těchto technologií nepřijímá funkci dotlaku plyn, voda nebo vnitřní materiál, ale dotlak je shodný s klasickou technologií vstřikování. Technologie vícekomponentního vstřikování se liší od klasického vstřikování pouze tím, že ke vstřikovací formě jsou připojeny dvě (dvoukomponentní vstřikování) nebo tři (tříkomponentní vstřikování) resp. čtyři (čtyřkomponentní vstřikování) vstřikovací jednotky. [20]



Obr. 29 princip dvoukomponentního vstřikování

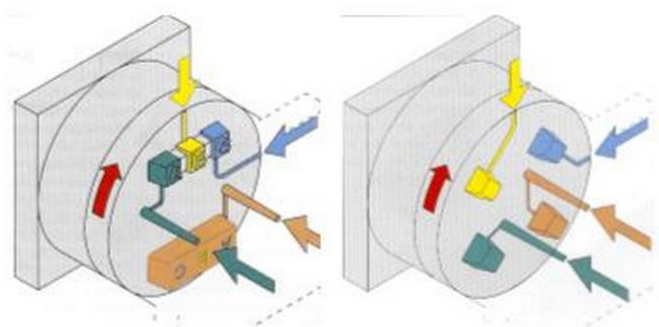
Nejčastější uspořádání vstřikovacích jednotek je jedna horizontální a druhá vertikální. Mohou být však uspořádány i paralelně.

Tříkomponentní nebo tříbarevné výstřiky jsou zhotovovány ve vícepolohových formách, přičemž úhel pootočení záleží pouze na tom, kolik pracovních pozic má vstřikovací forma (dvoukomponentní forma má dvě – pootočení o 180° , tříkomponentní má dvě – pootočení o 180° nebo tři - pootočení o 120° a čtyřkomponentní dvě - pootočení o 180° , tři - pootočení o 120° nebo čtyři pozice - pootočení o 90°). Tomu potom odpovídá i počet otevření vstřikovací formy během celkového cyklu. [20]



Obr. 30 Princip tříkomponentního vstřikování

Obdobně jako u tříkomponentního vstřikování lze i u čtyřkomponentního vstřikování nejenom provést vlastní sekvenci výroby, ale i uspořádání vstřikovacích jednotek. Tímto způsobem lze vyrábět např. vrstvené plastové díly, zpracovávat regranulát, vytvářet odolné vrstvy, apod. [20]



Obr. 31 Princip čtyřkomponentního vstřikování

Vlevo- dvoupolohová forma, vpravo – čtyřpolohová forma

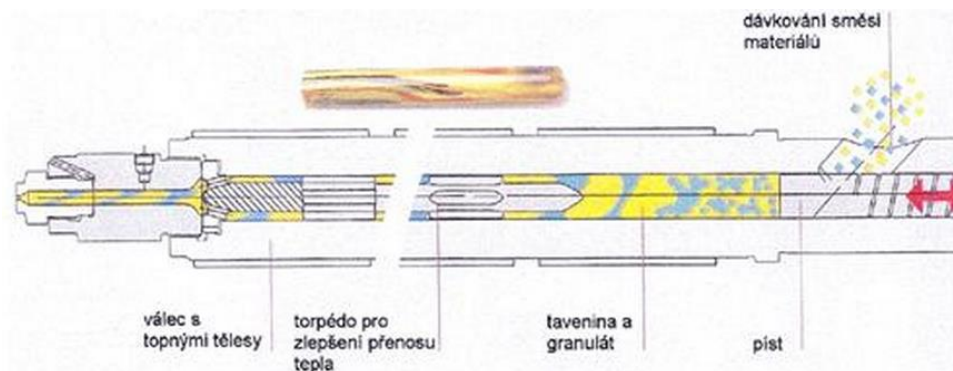
Vstřikovací jednotky pro všechny výše uvedené principy mají samostatně ovládané nejenom vytápění, ale i dávkování a technologické parametry. Umístění vstřikovacích jednotek je konstrukčně odlišné podle druhu a počtu komponentů. Nejrozšířenější je tzv. „L“ pozice, ale vstřikovací jednotky mohou být i pod rozdílnými úhly, než 90°. [20]

Mezi nejdůležitější činnosti u technologie vícebarevného nebo vícekomponentního vstřikování patří překládání vylisků z jedné pozice do další. Všechny procesy (vstřik, transport, vyhazování, atd.) jsou zajišťovány automaticky během pracovního cyklu. Z hlediska transportu (překládání) vylisků se mohou použít následující způsoby:

- rotace kompletní poloviny formy kolem vodorovné osy,
- rotace kompletní poloviny formy kolem vertikální osy,
- rotace části formy (vločky, indexové desky) kolem vodorovné osy,
- použití šoupátka,
- použití robotu.

4.5 Mramorové vstřikování

Mramorování je výroba multikomponentních nebo multibarevných výrobků nehomogenním mísením polymerů. Namísto klasické šnekové plastikace je zde použit speciální hmětací člen, který má částečně tvar pístu, částečně tvar šneku. Plastikace je dosaženo postupným posouváním materiálu vpřed v tavící komoře bez intenzivního promíchání. Kvůli nehomogenitě jednotlivých tavenin se na výrobku objevují různě intenzivní barevné oblasti. Nejčastěji se používá více barev od jednoho druhu polymeru. [20]



Obr. 32 Koncepce vstřikovací jednotky u mramorového vstřikování

4.6 Vstřikování plastů z prášků

Vstřikování plastů s prášky - PIM (powder injection moulding) na bázi kovů, skla nebo keramiky, apod. se používá k výrobě vysoce přesných dílů s výbornou kvalitou povrchu, kdy polymer se používá pouze jako nosné pojivo - „lepidlo“ v prvních fázích vstřikovacího procesu. Touto technologií se vyrábějí díly pro automobilový a textilní průmysl, elektrotechniku, zdravotnictví, apod. [20]



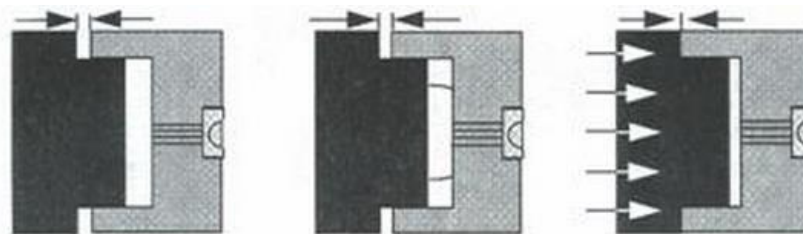
Obr. 33 příklady výrobku použití technologie PIM

Základním materiálem (plnivem) pro technologii vstřikování plastů s prášky jsou tvrdé kovy, oceli, karbidy křemíku, oxidy hliníku, porcelán, ale i měď, atd. Tyto prášky se musí smíchat s plastem – pojivem, což je první fáze výroby daného dílu, která končí spékáním. [20]

Jednotlivé fáze procesu jsou následující: míchání prášku a pojiva, granulace, vstřikování (výsledkem je tzv. zelený výrobek), odstranění plastu (výsledkem je tzv. hnědý produkt), spékání a korekce povrchu. V první fázi procesu se tedy musí smíchat a zhomogenizovat potřebný prášek s plastem a následně se této směsi musí předat tvar v míchací a granulární jednotce. Objem plastu je v rozsahu 35 až 50 %. Tato směs je následně zplastikována v tavicí komoře vstřikovacího stroje a vstříknuta pod vysokým tlakem a při vysoké teplotě do tvarové dutiny vstřikovací formy. Po ochlazení je výrobek, zelený produkt, vyjmut a přenesen do pece k vypálení polymeru. Vypálení polymeru se provádí v pecích při teplotě zhruba 450°C a výsledkem je výrobek, hnědý produkt, s minimálním objemem plastu. Následuje spékání kovového nebo keramického prášku v pecích při teplotách (do 2000°C), odpovídajících použitému druhu prášku. Výsledné díly jsou homogenní a vykazují izotropní smrštění, které je výrazně vyšší, než u klasické technologie vstřikování. [20]

4.7 Vstřikování s dolisováním

Vstřikování s dolisováním – CIM (compress injection moulding) je technologie, u které je tavenina vstřikována do pootevřené vstřikovací formy a následně je materiál dotvárován, dotlačen, vyvozením programově řízené uzavírací síly. V první fázi proces začíná otevřením formy do předem stanovené pozice. Ve druhé fázi probíhá vlastní vstřikování a potom následuje po naplnění formy stanoveným objemem dotlaková fáze, a to vyvozením plné uzavírací síly. Uzavírací systém přejímá funkci dotlaku. Tato technologie má poměrně dost alternativ a používá se např. k výrobě CD nebo DVD. Technologie vstřikování s dolisováním umožňuje dosáhnout vysokých přesností rozměrů, nízkých hodnot smrštění, deformací a vnitřních pnutí, protože tlak působí přímo na materiál a to v celém objemu najednou.

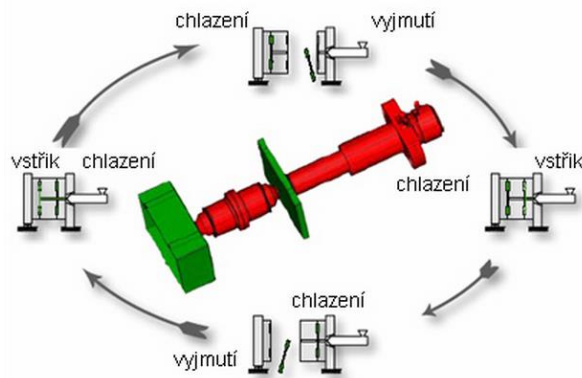


Obr. 34 princip metody CIM

4.8 Tandémové vstřikování

Princip tandémového vstřikování spočívá v tom, že ve vstřikovací formě jsou dvě protilehlé dutiny s výrobky, které jsou v přesně stanovených cyklech plněny, dotlačovány a

chlazeny, stejně jako u klasického vstřikování, ale pomocí samostatných vstřikovacích jednotek. Princip je tedy založen na tom, že zatímco v jedné dutině probíhá proces otevření, vyhození výrobku a zavření formy, plnění a dotlaku, tak ve druhé dutině probíhá proces chlazení. Vstříkovat můžeme výrobky stejného objemu, ale i objemu rozdílného. [20]



Obr. 35 Princip tandemového vstřikování

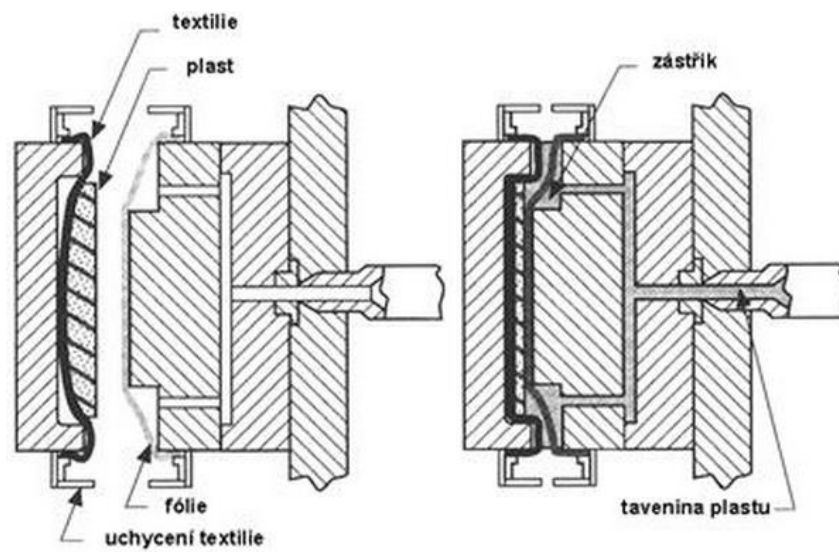
4.9 Technologie zastříkávání

Principem hybridních technologií (in-mould technology) je ta skutečnost, že tavenina plastu je nastříknuta na jiný materiál (kov, textilie, aj.) a dojde ke spojení těchto dvou materiálů a ke vzniku jednoho výrobku s lepšími vlastnostmi. Zároveň dojde k úspoře hmotnosti materiálu plastu, ke zlepšení korozní odolnosti, vzhledu, apod. Technologie je založena na vkládání různých materiálů ve formě polotovaru nebo předtvarovaného dílu do dělicí roviny vstřikovací formy pro zlepšení vzhledových vlastností výrobku nebo pro výrobu dílů s vysokou kvalitou povrchu. [20]

Rozeznáváme několik technologických postupů vytváření povrchů:

založení fólie, filmu, textilie do dělicí roviny vstřikovací formy a zastříknutí taveninou plastu. Textilie a tkaniny z různých materiálů jsou do formy umístěny předem, proto se dá velice dobře řídit orientace vláken a jejich hustota ve výsledném dílu. Procentový obsah vláken musí být vysoký, aby se zabránilo tomu, aby polymer odplavil vyztužující vlákna mimo původní umístění. Vstříknutím plastu změni svou polohu asi 30 % vláken. Výroba probíhá v současnosti dvěma způsoby. Prvním z nich je použití rozsekaných vláken v kapalném pojivu, které se nanášejí na povrch formy a následně se zastříknou plastem nebo se plast vstříkne na souvislou tkaninu. Prvním technologickým postupem se dají dosáhnout složitější tvary, avšak je zde menší možnost řízení orientace vláken a tento postup je velice pracný,

zatímco druhý postup je mnohem lépe automatizovatelný, ale může vést k nepříjemným změnám hustoty v různých místech vyráběného dílu. U fólií tento problém odpadá. [20]



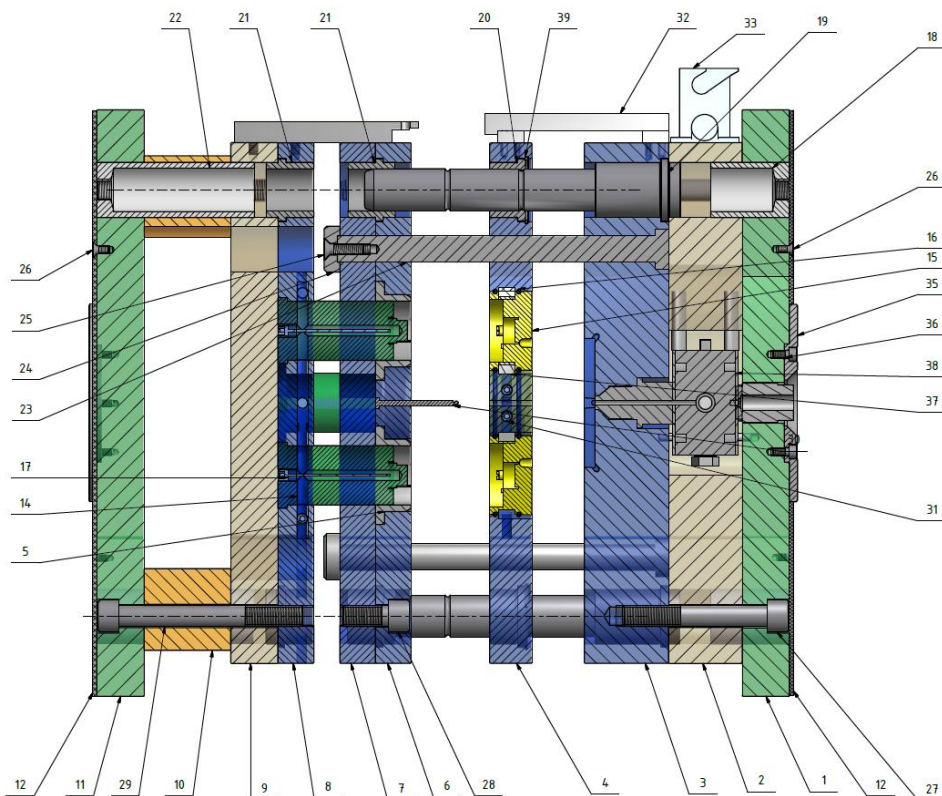
Obr. 36 Princip zastřikávání textilií

5 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací nástroj, jinými slovy vstřikovací forma, je zařízení, pomocí kterého lze zhotovit výrobek z plastů. Lze ji popsat jako stavebnici, kde se pomocí určitých normálií a jednotlivých konstrukčních prvků zajistí výroba daného výrobku. Z tohoto hlediska vyplývá, že více či méně je každá navržená vstřikovací forma jedinečná. Pro zajištění adekvátní kvality výroby a samotného výrobku je potřeba aby byly vhodně nastaveny procesní podmínky (parametry) stroje a nástroje. [15,17]

Vhodně navržená vstřikovací forma musí uplatňovat tyto aspekty [15, 17]:

- tvarová dutina, která udává tvar finálního výrobku musí mít vysokou přesnost a jakost funkčních ploch a jejich podpůrných částí
- maximální dosažitelná tuhost a pevnost jednotlivých součástí formy jako takové
- vhodně navržené systémy formy (vstřikovací systém, temperační systém) vstřikovací systém distribuce taveniny. Temperační systém chlazení taveniny
- dosažení optimální životnosti vstřikovací formy, která je dána konstrukcí, materiálem i výrobou
- bezproblémové odformování výstřiku, aby nedošlo k jeho deformaci. či porušení



Obr. 37 Řez vstřikovací formou

5.1 Základní popis vstřikovací formy

Z celkového pohledu lze vstřikovací formu rozdělit do tří oddílů, kde každý z těchto oddílů plní přesně svou definovanou funkci [17]:

- Pravá část formy (nepohyblivá strana vstřikovací formy).
- Levá část formy (pohyblivá strana vstřikovací formy).
- Vyhazovací systém.

5.2 Konstrukční postup při návrhu vstřikovací formy

Při konstrukčním návrhu vstřikovací formy musí její konstruktér zohledňovat několik hledisek, které musí brát v úvahu při samotném konstrukčním řešení vstřikovací formy. Proto je nutné, aby takový člověk byl vzdělaný v dané problematice. Při konstrukčním návrhu vstřikovací formy je možno definovat sled operací, které je nutno brát v úvahu.

- Posouzení výkresové dokumentace součásti z tvarového rozměrového a tvářecího hlediska.
- Zvolení případné upravení dělicích rovin výstřiku, zaformování výrobku s ohledem na funkční a vzhledové hledisko.
- Dimenzování tvarových dutin a volba rozmístění ve formě. Zvolení vhodné vtokové soustavy včetně typu a tvarů a délek hlavních i rozvodných kanálů a také vtokových ústí.
- Stanovení vhodného vyhazovacího, temperančního a odvzdušňovacího systému formy.
- Volba rámu formy s ohledem na danou koncepci.
- Vhodné uspořádání středících prvků a upínání formy na rám stroje.
- Zkontrolování funkčních parametrů formy, hmotnost výstřiku, jeho průmětnou plochu vstřikovací a uzavírací tlaky.

Celá koncepce konstrukce vstřikovací formy musí směřovat k možné a snadné výrobní technologii dle stanovených požadavků. Je vhodné s objednavatelem návrh formy konzultovat. U externích zákazníků předložit objednateli případné návrhy a doplňky výkresu součástí i návrhu konstrukčního řešení formy ke schválení [5]

5.2.1 Zaformování výstřiku

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

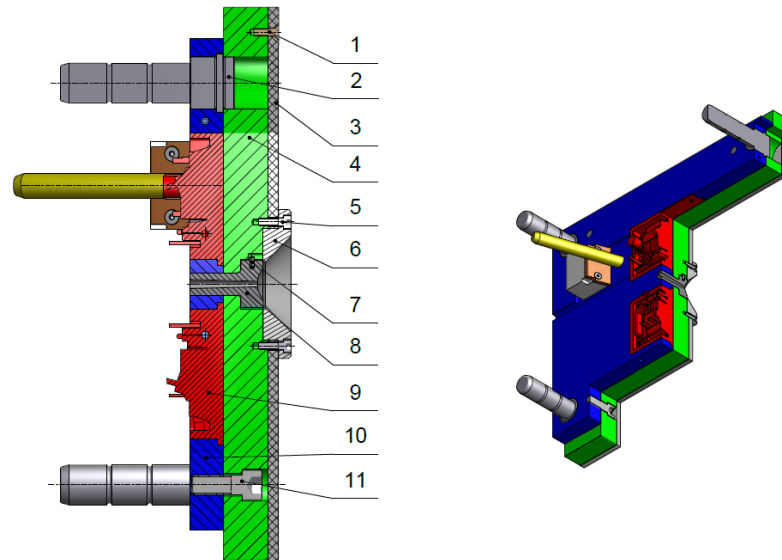
Dělicí rovina bývá zpravidla jako rovina rovnoběžná s upínáním formy. Může však být i šikmá nebo různě tvarovaná, případně vytváří u výstřiků s bočními otvory hlavní a vedlejší dělicí roviny. Taková koncepce způsobuje obtížnější výrobu formy. Je snaha se takovým tvarům vyhnout. Nepřesnost v dělicí rovině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

- umožnila snadné vyjímání výstřiku z formy,
- byla pravidelná, jednoduchého geometrického tvaru, snadno vyrobitelná a dobře slícovatelná,
- probíhala v hranách výrobku,
- byla umístěna tak, aby splňovala požadavek výroby přesných rozměrů, směr technologických úkosů a sousost výstřiků, pokud je v obou polovinách formy,
- stopa po dělicí rovině nesmí být příčinou funkčních nebo vzhledových závad,
- u více dělicích rovin volit koncepci s ohledem na jejich nejmenší počet.

Pozitivní úlohu hraje dělicí rovina při odvzdušňování dutin formy, i k tomu je třeba přihlídnout. [5]

5.3 Studené vtokové systémy

Vtokový systém formy zajišťuje při vstřikování vedení proudu roztaveného polymeru od vstřikovací jednotky do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny termicky homogenní taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory. [5] [11]



Obr.38 Pravá strana formy se studeným vtokovým systémem

1 – šroub A, 2 – vodící čep A, 3 – izolační deska, 4 – upínací deska,
 5 – šroub B, 6 – středící kroužek, 7 – válcový čep, 8 – vtoková objímka,
 9 – tvárník, 10 – kotevní deska pravá, 11 – šroub C

Proud taveniny vtokovým systémem je provázen složitými tepelně-hydraulickými poměry. Tvar a rozměry vtoku spolu s umístěním jejího ústí ovlivňují;

- rozměry, vzhled i vlastnosti výstřiku,
- spotřebu materiálu plastu,
- náročnost opracování na začištění výstřiku,
- energetická náročnost výroby.

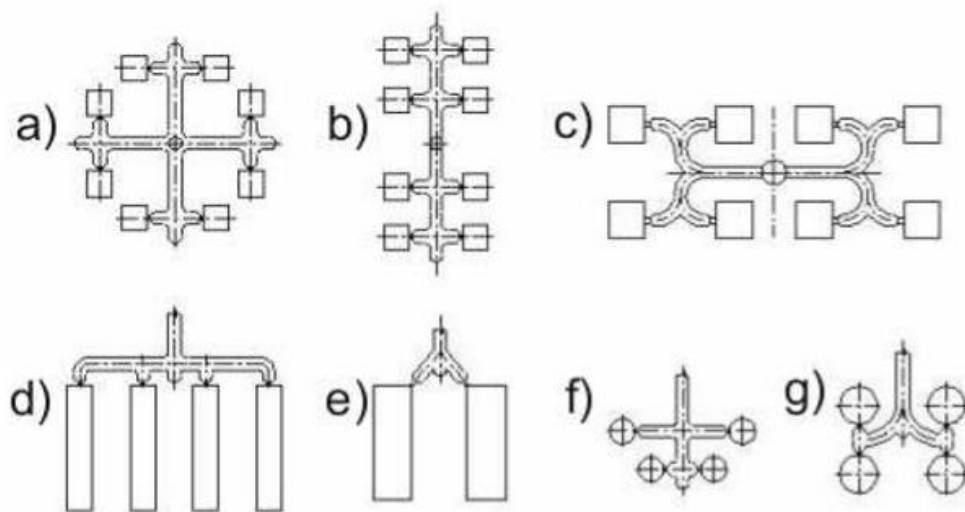
Zásadní rozdíly v celkovém uspořádání vtokového systému jsou dány především konstrukcí vstřikovací formy a její násobností. U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoku za stejného tlaku a současně (vyvážený vtok)

Při volbě určitého vtokového systému se vychází z toho, že tavenina se vstřikuje 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 – 200MPa).

Ztuhlá povrchová vrstva taveniny vytváří tepelnou izolaci vnitřnímu proudu taveniny. Za tohoto stavu se zaplní celá dutina. V okamžiku zaplnění vzroste prudce odpor a poklesne průtok. V dutině formy nastává postupné tuhnutí taveniny odvodem tepla do stěn

formy. Další doplňování taveniny může nastat jen jejím elastickým stlačením. Ve vtokových ústích ještě v tomto okamžiku dochází k vývinu tepla vlivem tlaku a tím oddálení ztuhnutí taveniny. V případě, že již stroj není schopen překonávat tlakové ztráty, dochází k poklesu rychlosti vstřikování a celkovému ochlazení plastu ve vtokovém systému i v dutině formy.

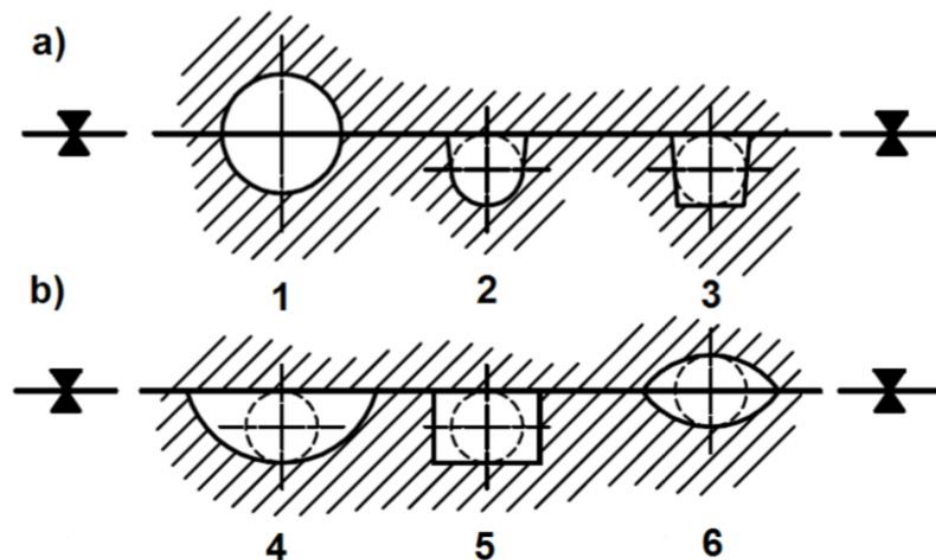
Při proudění taveniny vtokovým systémem dochází také vlivem tření k vývinu tepla, které se koncentruje do míst nejvyššího smykového napětí, tam může dojít k výraznému zvýšení teploty až o 200°C. I když je toto zvýšení krátkodobé, může docházet k degradaci. Tepelná vodivost plastů je nízká, a proto ohřátí formy v těchto místech není velké. [5] [11]



Obr.39 Příklady vyvážených vtokových systému [11]

Funkční vtokový systém má zabezpečit, aby:

- dráha toku od vstřikovacího stroje do dutiny formy byla co nejkratší (bez zbytečných tlakových a tepelných ztrát),
- ke všem tvářecím dutinám byla dráha toku stejná (kvůli rovnoměrnému plnění),
- byl dostatečně velký průřez vtokových kanálů (aby bylo zaručeno, že po naplnění dutiny zůstane jádro taveniny plastické a umožní působení dotlaku). Vtokový kanál má mít minimální povrch, ale současně maximální průřez (kruhový apod.).
- vyústění vtoků do dutiny formy, jeho průřez, poloha a počet zajistily kvalitní spojení a ochlazení proudů taveniny (tyto spoje jsou tzv. studené spoje a mají sníženou pevnost)
- u vícenásobných forem byla zachována stejná rychlost taveniny (odstupňovaný průřez kanálů). [11]



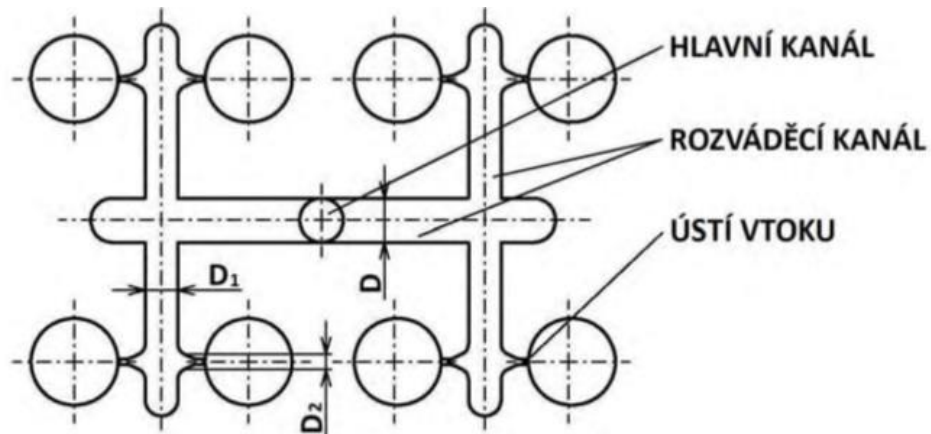
Obr. 40 Průřez vtokových kanálů [11]

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| a) funkčně vhodné | 1,6 – výrobně nevýhodné |
| b) funkčně nevhodné | 2,3,4,5 – výrobně vhodné |

Hlavní vtokový kanál navazující na trysku vstřikovacího stroje se konstruuje jako kuželový s rozšířeným ústím do rozváděcího kanálu nebo přímo do výstřiku. Vtoková část bývá o 0,5 až 1 mm větší než průměr trysky. Jeho velikost se určuje empiricky podle hmotnosti výstřiku. Kužel má úkos 1,5°. [11]

Průměr rozváděcího kanálu se volí buď nepatrně větší, nebo stejný jako ústí vtokového kanálu. V místě spojení je nutné vytvořit jímku chladného čela taveniny jako tahače vtoku. Jímka tak umožní snadnější vyhození vtokového zbytku. [11]

Vtokové ústí je zúžená část rozváděcího kanálu. Jen ve výjimečných případech, jako je potlačení např. propadů se může použít plně nezúžený vtok. Zúžením se zvýší teplota taveniny před vstupem do dutiny formy. Jeho velikost musí být co nejmenší kvůli snadnému začišťení vtoku, ale také musí zajistit spolehlivé naplnění dutiny formy. Tvar ústí bývá kruhový pro rotační díly nebo šterbinový pro ploché výstřiky. Jeho parametry se volí podle objemu výstřiku. [11]



Obr. 41 Části vtokového systému[11]

Rozhodující vliv na vzhled a kvalitu vtokového ústí má jeho umístění na výstřiku. Umisťuje se;

- do nejtlustšího místa stěny výstřiku (tavenina má téct vždy z většího místa do menšího),
- do geometrického středu dutiny (aby tavenina zatekla do všech míst rovnoměrně),
- při požadavku na větší přesnost výstřiku se musí vzít v úvahu rozdíly podélného a příčného smrštění (u semikrystalických a plněných plastů), - ve směru orientace žebírek,
- mimo více namáhaných nebo opticky činných ploch, - u obdélníkových tvarů ve směru delší strany,
- tak, aby umožnil únik vzduchu z dutiny,
- aby bylo možné přesměrovat proud taveniny při vzniku studených spojů mimo vzhledové a mechanicky namáhané místa,
- aby stopa po vtoku neměla vliv na estetickou hodnotu výstřiku,
- aby se zamezilo volnému vtoku taveniny, která by způsobovala turbulentní proudění při plnění dutiny. [11]

5.4 Vyhřívání vtokové soustavy

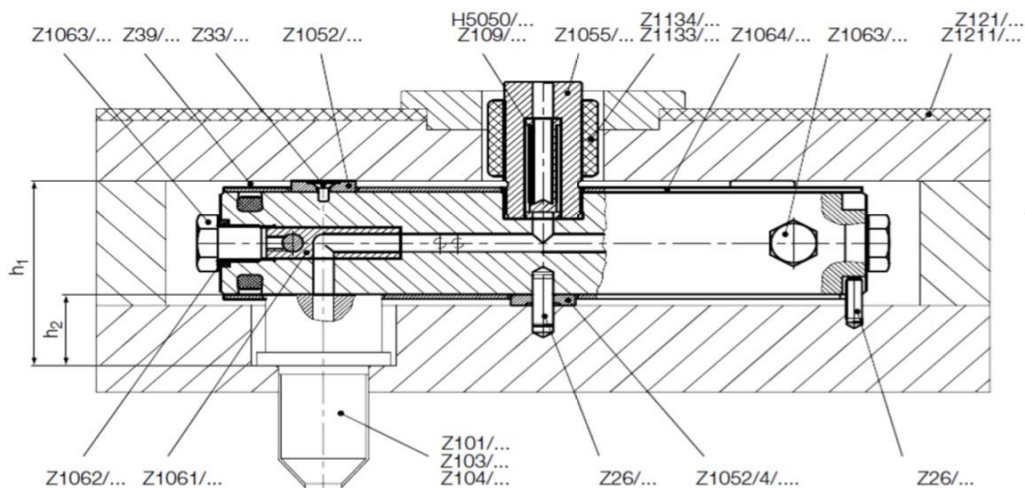
Vyhřívání vtokové soustavy se používají především u forem pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Jelikož je soustava rozvodu taveniny značně tepelně i mechanicky namáhána, vyžaduje větší tuhost formy a tedy i větší přesnost jejich výroby. Tím se zvýší také

výsledná cena formy. Proto nejsou tyto formy ekonomicky vhodné pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz.



Obr.42 Příklad rozvodných bloků [12]

U jednonásobné formy je vstřikovací tryska napojena přímo na ústí do dutiny formy. U vícenásobných forem je součástí vyhřívané vtokové soustavy vyhřívaný rozváděcí blok s tryskami, který pak ústí přímo do dutiny formy nebo do pomocných kanálů. Správná teplota taveniny je řízena regulátorem ovládaným snímači. U náročnějších a větších forem se používá více nezávislých topných okruhů. [11]



Obr.43 Vyhřívaný blok ve formě [12]

5.5 Vyhazovací systém

Vyhazování výstříků z dutiny formy je proces, při kterém se z dutiny otevřené formy vysune, vytlačí, a nebo setře zhotovený výstřík. K tomu slouží vyhazovací systém, který doplňuje vstřikovací formu a svou funkcí má zajistit automatický výrobní cyklus. [11]

Obsahuje dvě fáze;

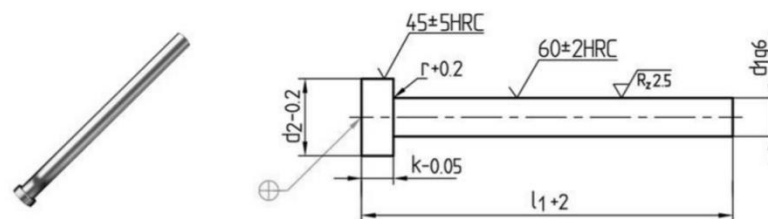
- dopředný pohyb, vlastního vyhazování,
- zpětný pohyb, návrat vyhazovacího systému do původní polohy. [11]

Základní podmínkou správného vyhazování výstřiku je hladký povrch a úkosovitost jeho stěn ve směru vyhazování. Úkosy nemají být menší než $0,5^\circ$. Vyhazovací systém musí výstřik vysouvat rovnoměrně, aby nedošlo k jeho přičení a tím ke vzniku trvalých deformací, nebo k jinému poškození. Umístění vyhazovačů, jejich tvar a rozložení může být velmi rozmanité a musí být vždy voleno s ohledem na fakt zanechání co nejmenší stopy po vyhození. V základní poloze tvoří část funkční dutiny. U hlubokých tvarů je třeba počítat s jejich zavzdušněním.

5.5.1 Válcové kolíky

Jedná se o nejčastější a nejlevnější způsob vyhazování výstřiků. Uvedený systém lze použít všude tam, kde je možné umístit vyhazovače proti ploše výstřiku ve směru vyhlazení. Jsou výrobně jednoduché a funkčně zaručené. [11] Správná volba tvaru vyhazovacího kolíku i jeho vhodného umístění, umožní snadné vyhození výstřiku bez vážnějšího poškození. Kolík se musí opírat o stěnu nebo žebro výstřiku, které se nesmí při vyhazování bortit. Jinak by mohla nastat trvalá a nežádaná deformace výstřiku. Po styčných plochách vyhazovacích kolíků zůstávají na výstřiku stopy, proto je není vhodné umísťovat oproti pohledovým plochám. Pokud je vyhazování realizováno větším množstvím vyhazovacích kolíků, tak se snižuje možný využitelný prostor pro temperační kanály. [11]

Vyhazovací kolíky jsou základním prvkem mechanického vyhazování. Z konstrukčního hlediska mají být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Jejich tvar je obvykle válcový.

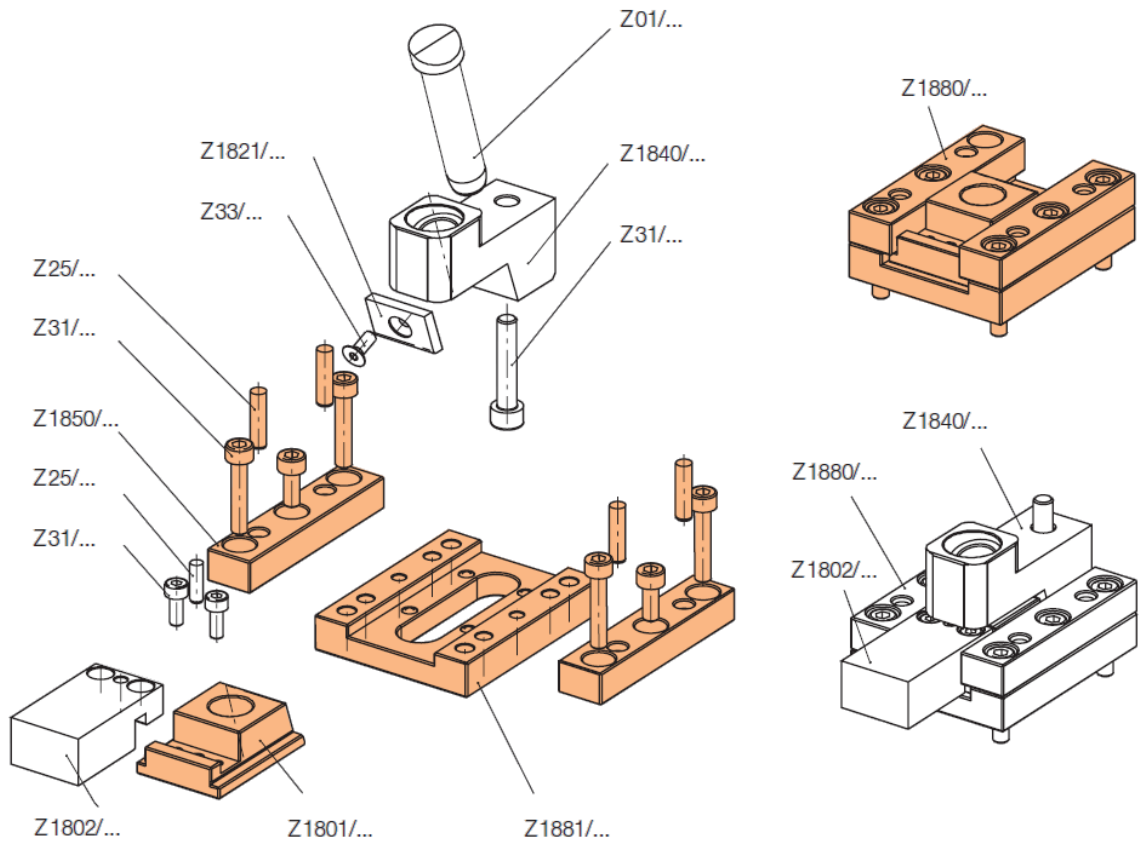


Obr.44 Válcový vyhazovač [12]

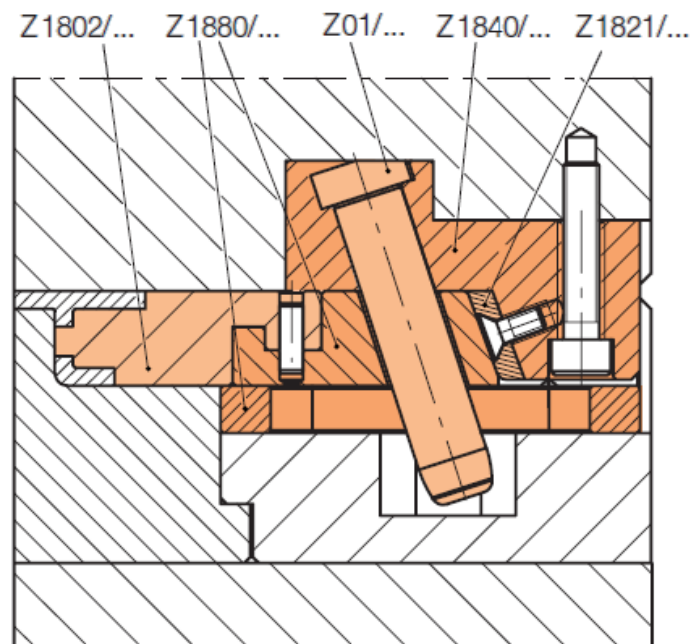
Mohou však mít jakýkoliv jiný tvar včetně speciálního tvarového čela. Ve formě jsou uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/k6 dle požadované funkce a viskozity vstřikovaného polymeru. Vůle v uložení působí zároveň i jako odzdušnění. Tvar i způsob ukotvení má nejrůznější podobu. [11]

5.5.2 Šikmé kolíky

Jsou speciální formou mechanického vyhazování. Šikmé vyhazovací kolíky nejsou kolmé k dělicí rovině, ale jsou k ní uloženy pod různými úhly. Využívají se k vyhazování malých a středně velkých výstřiků s mělkým vnitřním, nebo vnějším zápichem. Tím se odstraní využití konstrukčně náročných posuvných čelistí s klínovým mechanismem. Je snahou, aby způsob byl funkčně dokonalý a výrobně jednoduchý. [11]



Obr. 45 Rozstřel sestavy komponentů šikmého čepu



Obr. 46 Řez části vstřikovací formy s šikmým čepem

5.5.3 Stírací deska

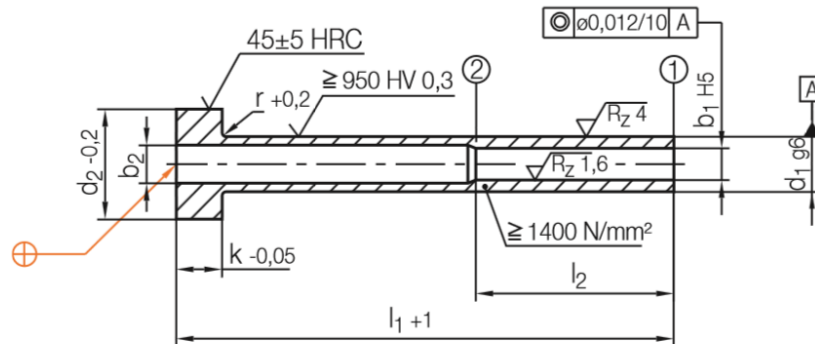
Jedná se o typ plošného vyhození, kdy vyhazovací síla působí po celém obvodu výstřiku. Díky velké styčné ploše, nezanechává na výstřiku žádné stopy po vyhození. Používá se především u tenkostěnných výstřiků, kde je vysoké nebezpečí jejich deformace, nebo u rozměrných výstřiků, které vyžadují velkou vyhazovací sílu. Stírání je vhodné jen tehdy, dosedá-li výstřik na stírací desku větší plochou nebo mírně nakloněnou rovinou.

Tento způsob se používá i pro vícenásobné formy, někdy se doplňuje systémem oddělování výstřiku od stírací desky (např. odpruženým vyhazovačem). To především proto, že zde často dochází k "lepení" výstřiku svým povrchovým napětím a elektrostatickou silou k povrchu stírací desky. Lze použít i ofukování stlačeným vzduchem.

Stírací deska je ovládána tlakem vyhazovacího trnu, který působí přes vyhazovací desku spojenou táhly se stírací deskou. Síla může být také vyvozena pružinami, hydraulickým, nebo pneumatickým zařízením. Pro zvýšení životnosti je stírací deska obvykle vložena tepelně zpracovanou tvarovou vložkou, upevněnou v desce. [11]

5.5.4 Trubkové vyhazovače

Užití trubkového vyhazovače je speciálním případem stírání tlakem. Vyhazovač s axiálním otvorem má funkci stírací desky a pracuje jako vyhazovací kolík. Uvnitř vyhazovače je vedeno jádro, které je upnuto v nehybné desce. [11]



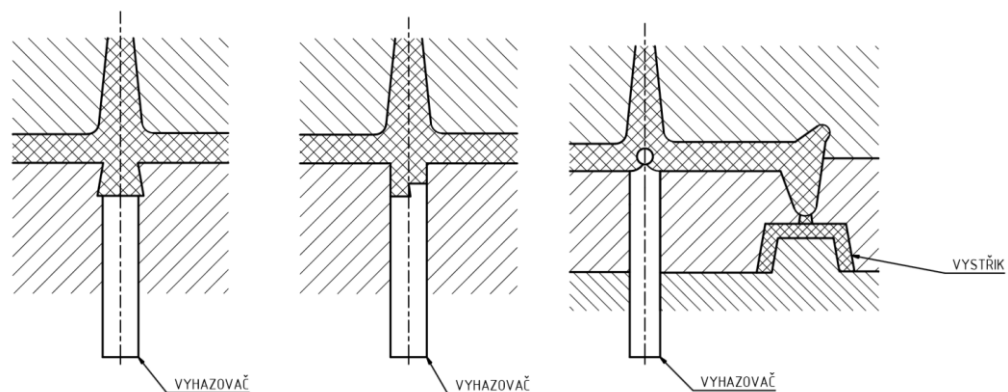
Obr.47 Trubkový vyhazovač bez jádra [12]

5.5.5 Vícetupňové vyhazování

Patří do skupiny mechanického vyhazování. Vyžaduje dva vyhazovací systémy, které se navzájem ovlivňují. Způsob umožňuje vyhazovat výstřiky s rozdílným časovým rozložením vyhazovacího zdvihu i jeho velikosti. Proto se s výhodou užívá k vyhazování tenkostěnných výstřiků v kombinaci stírání s vyhazovacími kolíky, při šikmém vyhazování výstřiků se zápichem apod. Rovněž se tento způsob využívá k oddělování vtokových kanálů od výstřiku přímo v dutině formy. [11]

5.5.6 Vyhazování vtokového zbytku

Při rozevírání formy je třeba zajistit, aby byl vtokový zbytek přidržen na vyhazovací straně, dokud není bezpečně vytažen vtok z vtokové vložky. Potom je teprve vyhazovacím kolíkem vyhozen výstřik s vtokovým zbytkem. Použití daného způsobu se odvíjí od koncepce formy a funkce vtokového zbytku.



Obr.48 Přidržovač vtoku [11]

5.6 Temperace forem

Temperace formy slouží k udržování konstantního teplotního pole uvnitř formy. Cílem je dosáhnout optimálně krátkého pracovního cyklu vstřikování, při zachování všech technologických požadavků na výrobu. Děje se tak ochlazováním, případně vyhříváním celé formy, či některé její části. Během procesu vstřikování je polymer přiváděn ve formě taveniny do dutiny formy, kde je následně chlazen na vyhazovací teplotu tj. teplotu, při které již nedochází k deformaci výstřiku vlivem vyhození. Temperace tedy ovlivňuje plnění tvarové dutiny a zajišťuje optimální tuhnutí a chladnutí výstřiku. Při každém vstřiku forma přijímá a akumuluje teplo z taveniny. Toto přebytečné teplo je nutno odvést temperačním systémem formy, pro zajištění stejných technologických podmínek pro všechny výstřiky. [2]

Některé plasty se zpracovávají při vyšších teplotách formy. V takovém případě jsou tepelné ztráty formy do okolí větší, než její ohřátí taveninou a forma se musí naopak ohřívat. Taktéž při zahájení výroby je třeba nejdříve formu vyhřát na pracovní teplotu. V opačném případě by nebyla garantována dostatečná kvalita výstřiků a reprodukovatelnost. [11]

Úkolem temperace je:

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

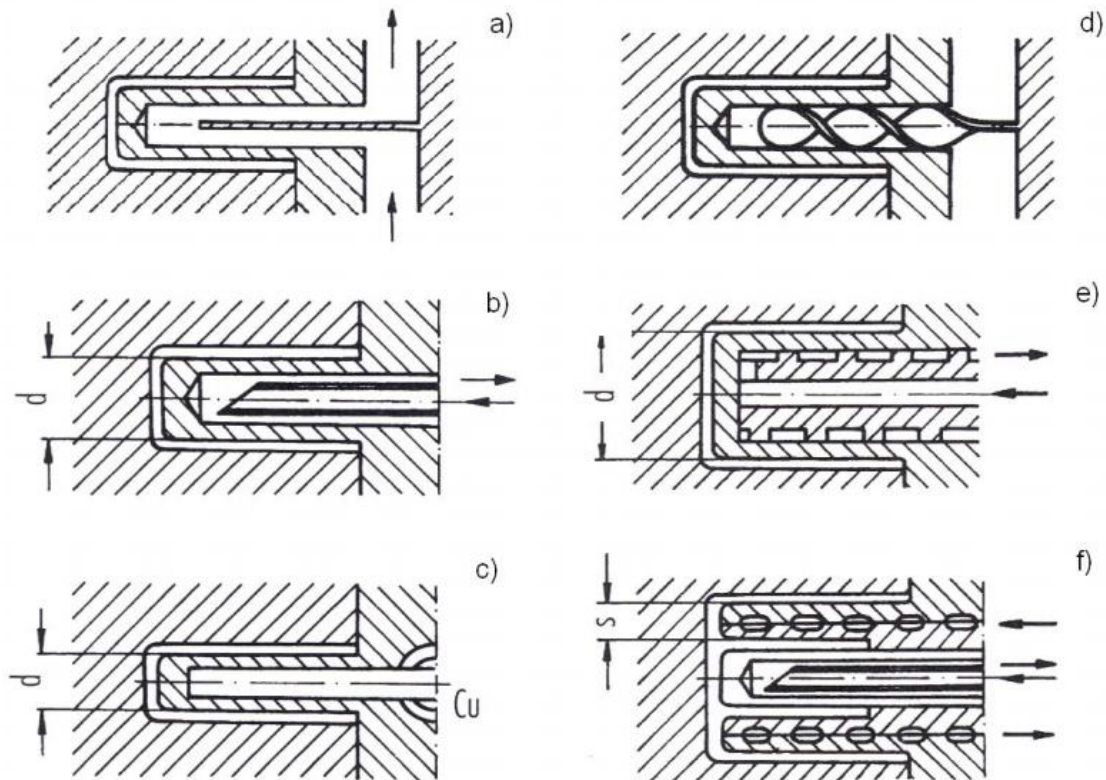
Pokud má forma dostatečnou hmotnost a dobře řešený temperační systém, zvýší se její tepelná a tím i rozměrová stabilita a sníží se nebezpečí deformace, při vysokých vstřikovacích tlacích. [11]

5.6.1 Aktivní prostředky

Jedná se o prostředky, které působí přímo na formě. Teplo do formy přivádí, nebo naopak odvádí. Aktivní prostředky představují především:

- kapaliny, které proudí nuceným oběhem temperačními kanály, jež jsou vytvořeny uvnitř formy. Účinnost závisí na fyzikálních vlastnostech kapaliny, teplotní spádu, ploše a vzdálenosti kanálu od dutiny či druhu proudění. Užívá se vody, oleje nebo 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. [11]



Obr.49 Ukázka konstrukčních řešení temperačních kanálů [11]

5.6.2 Pasivní prostředky

Tento druh temperačních prostředků působí na formu svými fyzikálními vlastnostmi. Lze je rozdělit na:

- tepelné izolační materiály, které se využívají především k omezení přestupu tepla do upínacích desek vstříkovacího stroje a to zejména v případech, kdy je potřeba vysokou teplotu formy. Zde se volí pevnostně a teplotně odolné materiály na bázi vyztužených reaktoplastů, či nekovových anorganických látek,
- tepelně vodivé materiály se užívají k odvodu resp. přívodu tepla z míst jiným způsobem obtížně temperovatelných do míst, kde lze již odvod resp. přívod tepla zajistit obvyklým způsobem. Užívá se především měď a její slitiny s Be, Co, Zr, Cd, Sn nebo hliník a jeho slitiny,

- 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. [5, 11]

5.7 Odvzdušnění forem

Při plnění dutiny formy je nutno třeba zajistit únik vzduchu, který je v ní obsažen na začátku vstříkávání, jakožto i plynů uvolňujících se při ochlazování taveniny. Vzduch, který se uzavře v dutině formy při adiabatickém stlačení, může dosáhnout vysokých teplot, a tím poškodit vlastní výstřik lokálním spálením (tzv. Dieselův efekt). Tyto tmavé skvrny nejsou vždy jen povrchové. Dalším záporným aspektem je lokální zvýšení tlaků přetěžujících povrch formy. Aby tyto jevy nenastaly, musí se dutina formy odvzdušnit. Dosahuje se toho tím, že se v dělicí rovině vytvářejí jemné drážky 0,005 až 0,05 mm hluboké a 3 až 6 mm široké. K odvzdušnění lze také užít vyhazovacích kolíků, které se po části průřezu zploští přebroušením. Vzniklá vůle poté umožní unikání vzduchu, ale nikoliv taveniny. Odvzdušňovací drážky se umísťují ve formě tak, aby se nemohly vytvořit uzavřené vzduchové kapsy. Pokud taková místa nelze spojit s vnější atmosférou, vkládají se zde porézní vložky ze slitutých kovů, které se případně dále propojují do chladících kanálů. K takovému účelu se využívá podtlaku v chladicím systému. [11]

II. STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto cíle:

- Vypracovat literární studii na téma vstřikování termoplastů, konstrukce forem a speciální způsoby vstřikování.
- Vymodelovat 3D model plastového dílu, a navrhnout inovaci z kovovým zástříkem.
- Provést reologické a tokové analýzy inovovaného dílu
- Navrhnout vstřikovací formu a optimalizovat návrh pomocí tokových analýz
- Provést ekonomický rozbor vstřikovací formy

V literární rešerši diplomové práce byl shrnut současný stav poznatků týkající se vstřikovacího procesu a také poznatků o konstruování vstřikovacích forem. Tyto zásady a znalosti byly použity pro vytvoření návrhů vstřikovací formy, a také vyhodnocení reologických analýz.

Cílem experimentální části je, navrhnout vstřikovací formu pro inovovaný díl, násobnost formy vzhledem k rozměrům zadaného dílu byla zvolena jako čtyřnásobná, rozvodný systém použity v této koncepci je studený. Klád se zde velký důraz na uchycení kovového zástříku do dutiny formy a na jeho následné pojištění v dutině formy během procesu vstřikování. Také se přihlíželo k ekonomické stránce konstrukce formy a byla snaha o maximalizaci využití normalizovaných polotovarů a normálii od firmy HASCO

III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

6 POUŽITÉ PROGRAMY

6.1 Catia v5

Catia CATIA je integrovaný systém počítačového návrhu, konstruování a výroby, vyvinutý francouzskou firmou Dassault Systèmes a užívaný hlavně v leteckém a automobilovém průmyslu. CATIA je programový systém, podporující trojrozměrný interaktivní návrh, výrobu a inovace velmi složitých strojírenských výrobků po celou dobu jejich životnosti.

6.2 Autodesk Moldflow Insight 2015

Software Autodesk Moldflow Insight je nástrojem pro simulaci vstřikovacího procesu poskytuje možnost hloubkově řešit, vyhodnocovat a optimalizovat plastový díl i vstřikovací formu a tím napomáhá ke studiu vstřikovacích procesů, užívaných v současné praxi. Software Autodesk Moldflow Insight využívají přední světoví výrobci v automobilovém průmyslu, v odvětví spotřební elektroniky, zdravotního materiálu i obalů k tomu, aby jim ušetřil náklady.

6.3 Autodesk Inventor 2011

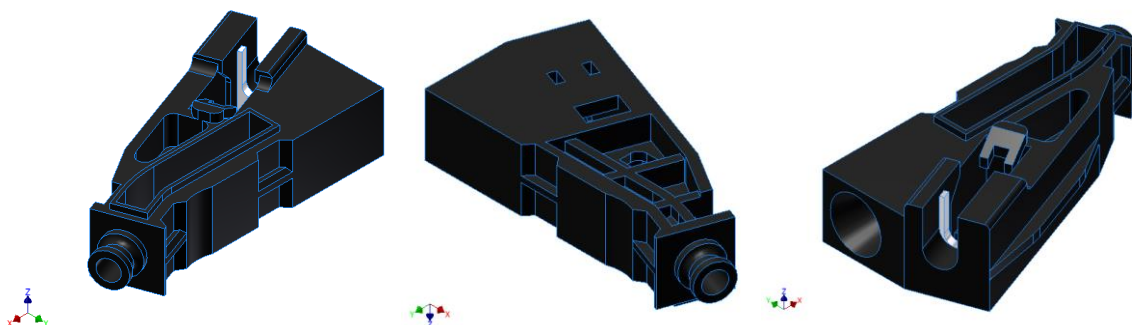
Je parametrický adaptivní 3D modelář, více než 15 let je Inventor světově nejprodávanější strojírenskou 3D CAD aplikací. CAD softwarové produkty nabízejí komplexní, flexibilní sadu softwaru pro 3D strojírenské navrhování dílů, simulace zatížení, tvorbu nástrojů, a komunikaci mezi designéry. Inventor umožňuje vytvářet přesné 3D modely, které usnadní navrhování, vizualizaci a simulaci projektu, před tím než jsou postaveny. Digitální prototypy pomáhají firmám navrhovat lepší výrobky, snižovat náklady na vývoj, a rychleji se prosadit na trh. [13]

6.4 HASCO 3D universal modul

Jedná se o software od společnosti HASCO který obsahuje knihovnu 3D normálií vyráběné společností HASCO. Program umožňuje generování 3D normálií a jejich následné ukládání v různých typech formátů. Díky tomu lze tyto normálie zobrazovat v různých aplikacích. Poskytuje také informace o rozměrech, umístění a případné funkci. [12]

7 SPECIFIKACE ZADANÉHO DÍLŮ

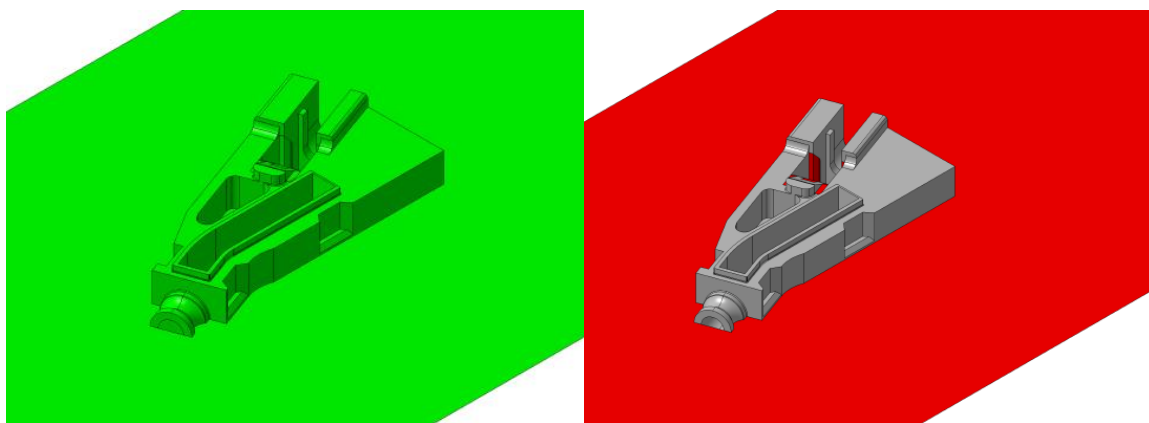
Zadaný plastový díl je výrobkem firmy DURA automotive, která se zaměřuje na konstrukci a výrobu různých komponentů pro automobilový průmysl. Vzhledem ke konstrukci zadaného dílů je patrné, že se jedná o komponent v pohyblivé části okenního systému automobilu. Jedná se o „drobný“ díl převážně rovinných a hranolovitých tvarů, který má průchozí boční otvory, což naznačuje průchozí lanko k řízení, dále má na výstupu z bočního otvoru hrdlo opatřené zápichem, což by mohlo sloužit k otočnému kloubovému spojení, a v neposlední řadě je díl vyztužen ocelovým plechem, což naznačuje možnost uchycení bowdenového kabelu, který slouží k přenosu mechanické síly a energie.



Obr. 50 Vstříkovaný díl (rozměry 76mm x 37mm x 20 mm)

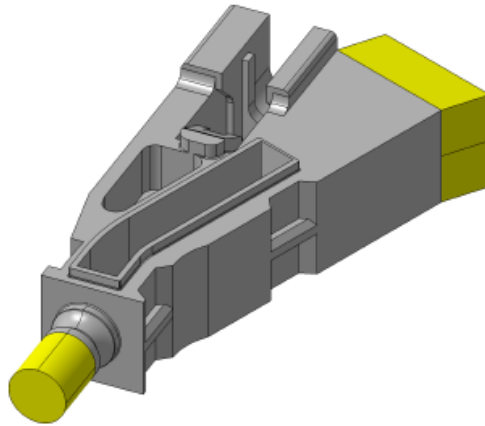
7.1 Volba hlavní dělicí roviny a vedlejších dělicích rovin

Z tvarové složitosti zadaného dílu vyplývá, že k zaformování a odformování dílu bude za potřeby použít jednu hlavní a dvě vedlejší dělicí roviny. Hlavní dělicí rovina bude procházet osou symetrie dílu a bude rovinná.



Obr. 51 Hlavní dělicí rovina

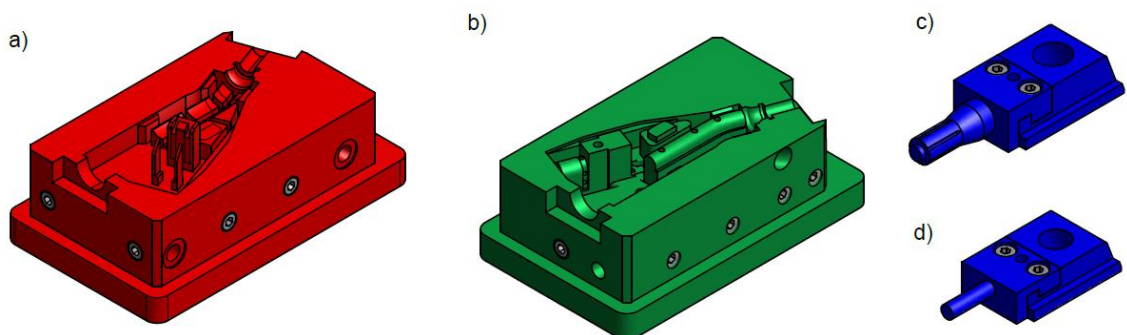
Boční dělicí roviny budou k této rovině kolmé a budou sloužit k odformování jader, což vede k nutnosti použít pohyblivé členy uvnitř formy (šoupátka) a také šikmé čepy.



Obr. 52 Tvarová jádra

7.2 Dimenzování tvarových vložek

Výhoda tvarových vložek oproti tvarové členitosti přímo v kotevní desce spočívá ve snadné opravitelnosti poškozené formy, buď to dodatečnými úpravami tvarové vložky, odfrézováním a navařováním, laserovou sintrací, nebo úplnou vyměnitelností. Tvarové vložky po složení tvoří negativní tvar výrobku, rozměr dutiny byl zvětšen o hodnotu smrštění daného polymeru.



Obr. 53 Tvarové vložky

a) tvárnice, b) tvárník, c) posuvné jádro A, d) posuvné jádro B

7.3 Uchycení a pojištění kovového zástříku

Do dutiny tvárníku se bude vkládat kovový plíšek tloušťky 2mm který bude následně zastříknut polymerní taveninou a bude tak tvořit komplexní kompozitní výrobek. Dutina tvárníku je této operaci uzpůsobena. V části uchycení kovového dílu je v tvarové vložce zhotovena drážka, do které se kovový díl vsune s nepatrnou vůlí, jako pojištění kovového dílu během cyklu formy, především uzavírání a vstřikování byl zvolen pneumatický vakuový ejektorový systém od firmy FESTO, který umožní vytvoření podtlaku z přímého zdroje stlačeného vzduchu, není zapotřebí vývěvy.

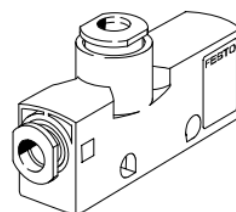
možnosti připojení:

- nástrčná připojení QS
- vnitřní závit
- vnější závit
- tlumič hluku

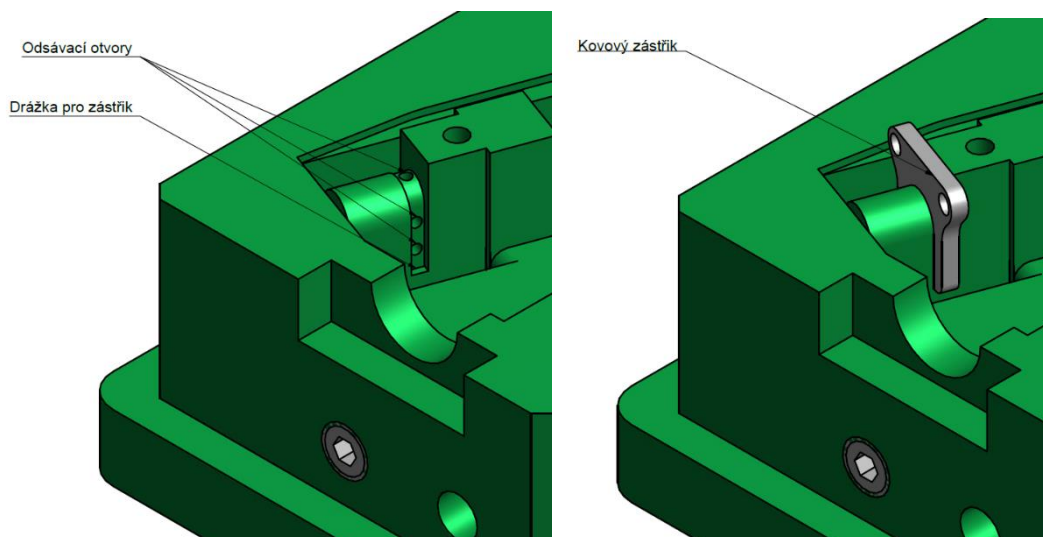
možnosti upevnění:

- přímé upevnění šrouby
- nepřímé upevnění nasazením na upevňovací desku; tato deska je určena pro lištu DIN 35x7,5 dle DIN EN 50 022

- vakuové ejektory pro hluboký podtlak a pro zvláště krátké časy pro odsání
- stačí jen malý prostor
- kompaktní a robustní konstrukce
- bez opotřebení a údržby
- modulární princip: velký výběr různých typů

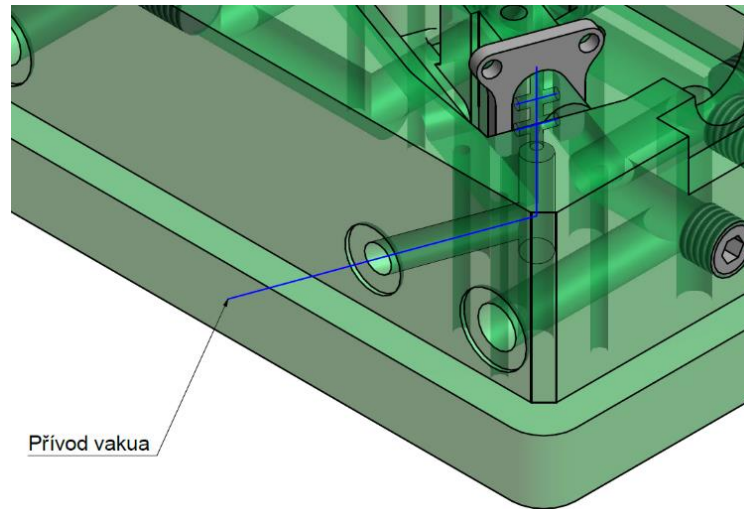


Obr. 54 Základní specifikace ejektoru



Obr. 55 upevnění kovového zástříku

V tvarové vložce v místech drážky pro zástřík jsou navrtnané otvory, které slouží k vytvoření podtlaku v konkrétních místech, kotevní deskou bude vyvrtán otvor, ke kterému bude ejektor připojen. Tento otvor bude lícovat a těsnit s tvarovou vložkou

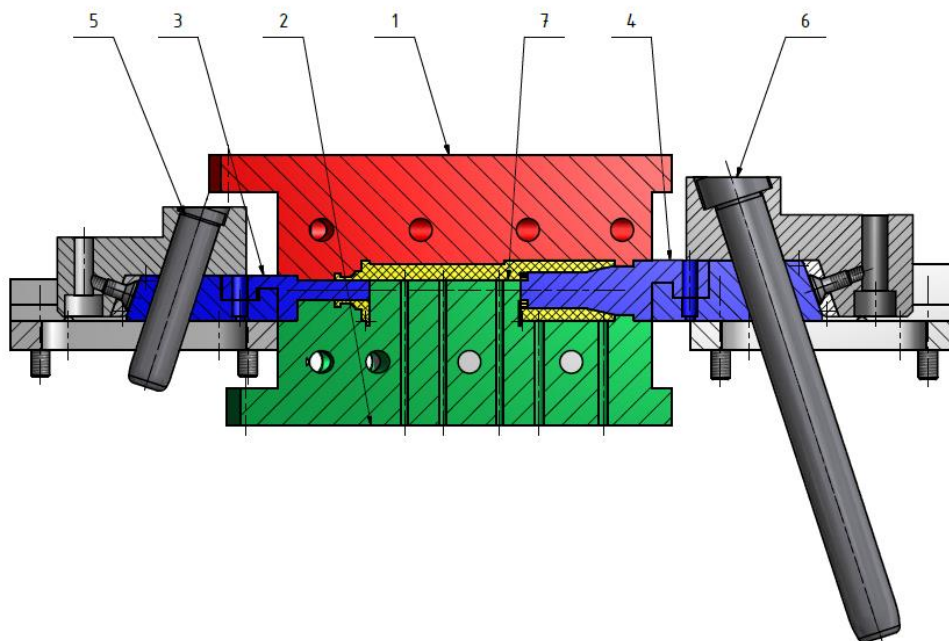


Obr. 56 Pojištění kovového zástríku

Kovové zástríky se budou do formy umísťovat ručně, dalo by se použít i automatizace výroby použitím robotu.

7.4 Koncepce tvarových vložek

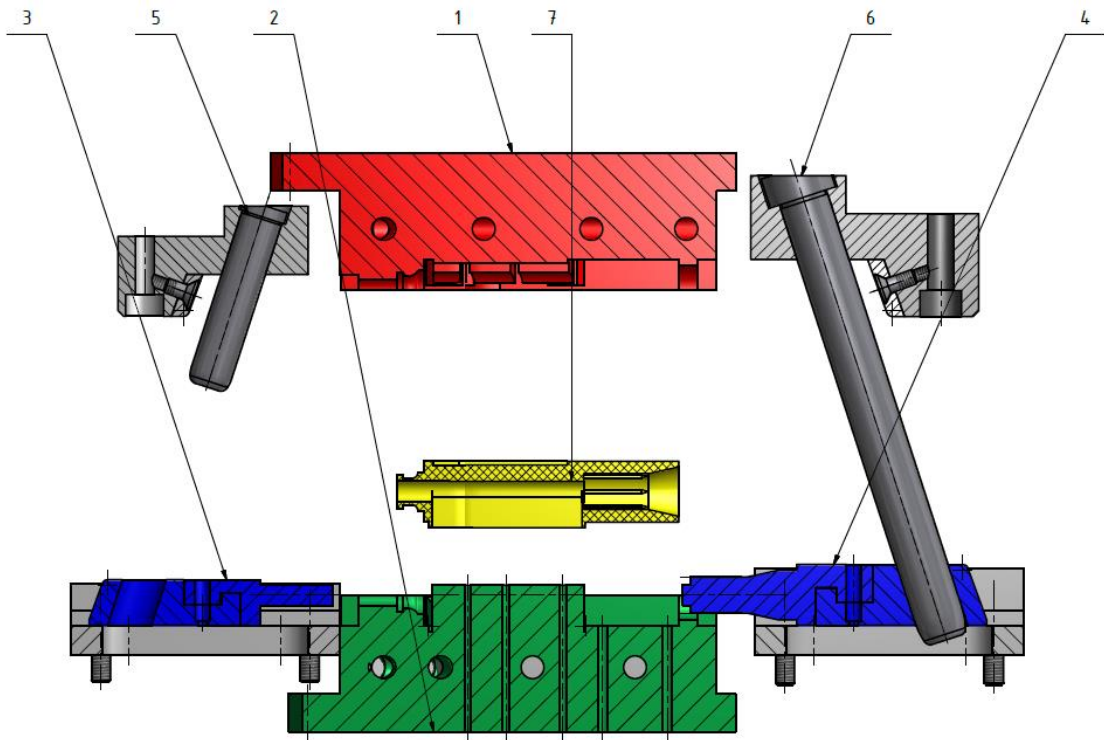
Jak již bylo zmíněné, bude nutné použít nejen hlavní ale i vedlejší dělicí roviny. Hrubá koncepce tvarových vložek se skládá tvárniku, tvárnice, které na sebe vodorovně dosedají, ke tvárníku a tvárnici budou kolmé posuvné sádra na šoupátkách.



Obr. 57 Tvarové vložky (uzavřeno),

1 – tvárnice, 2 – tvárník, 3 – jádro A, 4 – jádro B, 5 – čep A, 6 - čep B, 7 – díl

K vysunutí jader bude docházet při otevírání formy díky šikmým čepům, na následujících obrázcích je znázorněný mechanismus odformování dutiny formy, a jsou zde označeny jen hlavní konstrukční díly.



Obr. 58 Tvarové vložky (otevřeno),

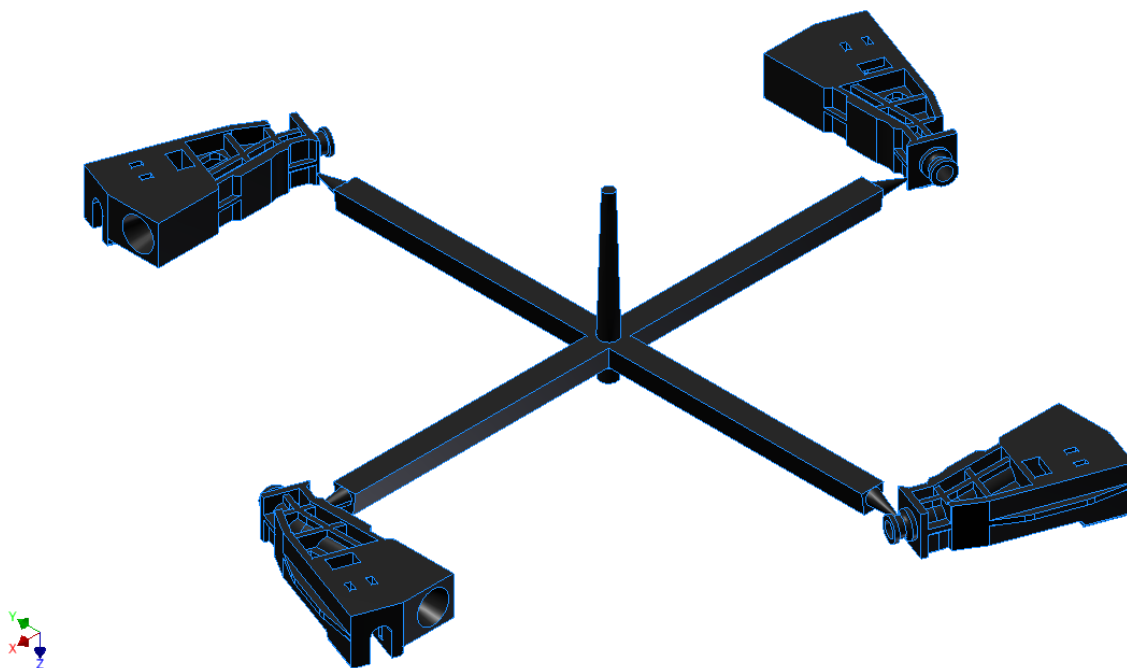
1 – tvárnice, 2 – tvárník, 3 – jádro A, 4 – jádro B, 5 – čep A, 6 – čep B, 7 – díl

7.5 Násobnost formy

Při volbě násobnosti formy rozhoduje celá řada kritérií. Mezi hlavní platí velikost reprodukce v určitém časovém intervalu, tvarová složitost vstříkovaného dílu a také rozměry výrobku, od kterých se odvíjí celková velikost formy. Z technologického hlediska zde platí zásada, že s rostoucí násobností formy klesá jakost výtříku, je to ovlivněno několika faktory, ale především nutností zvýšení vstříkovacího tlaku a také prodloužení vtokových kanálů, což má negativní vliv na reologické vlastnosti dopravované taveniny.

Při konstrukci formy bylo přihlédnuto ke složitosti daného výrobku a k jeho rozměrové velikosti, a proto byla forma navržena jako 4 násobná se studeným rozvodným systémem.

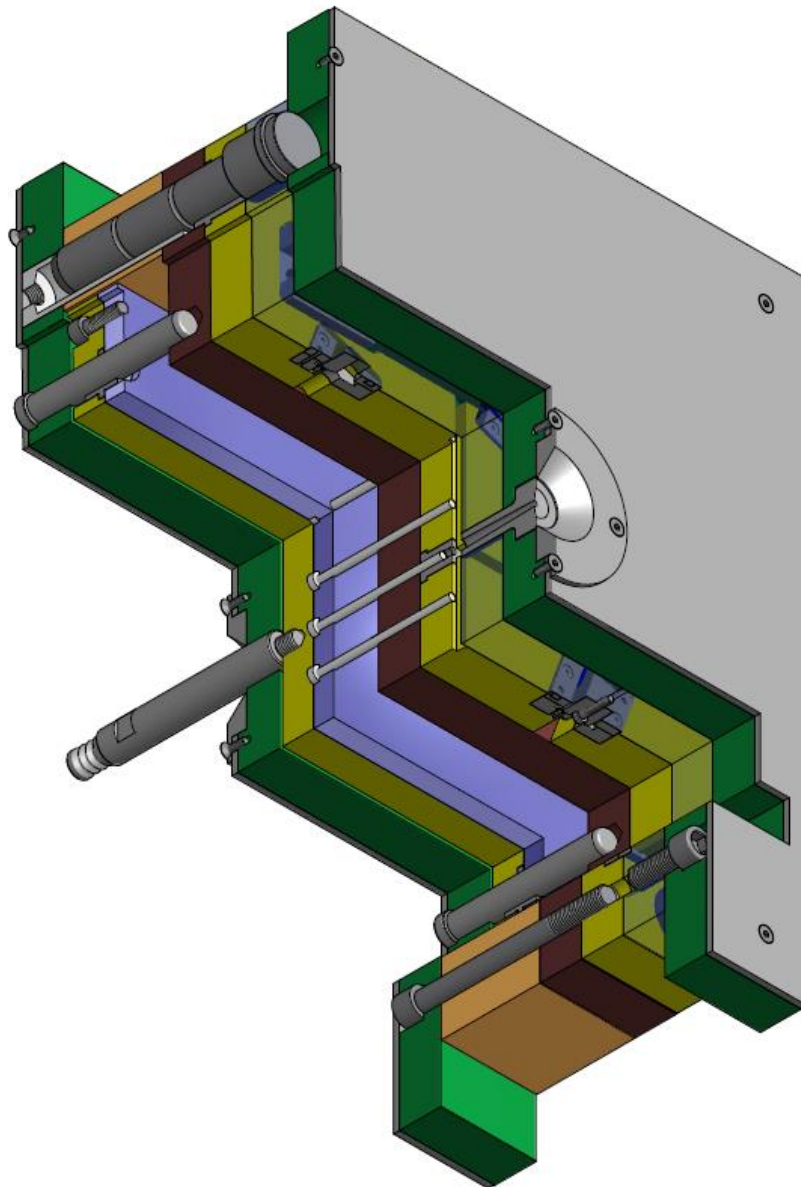
Dále byla provedena i analýza pro formu s horkým vtokovým systémem a výsledky byly porovnány v ekonomické bilanci.



Obr. 59 Rozmístění výrobků formy

8 VSTŘIKOVACÍ FORMA

Vstřikovací forma je mnohdy komplikovaný nástroj, který slouží k zhotovení velkých sérií dílů z plastu o vysoké reprodukci vstřikovaných dílů s vysokou přesností. Zpravidla se vstřikovací forma skládá ze tří základních podsestav. První částí je pravá strana (často označena také jako strana trysky), druhou částí je levá strana (označována jako strana vyhazovače) a třetí součástí formy je vyhazovací systém.



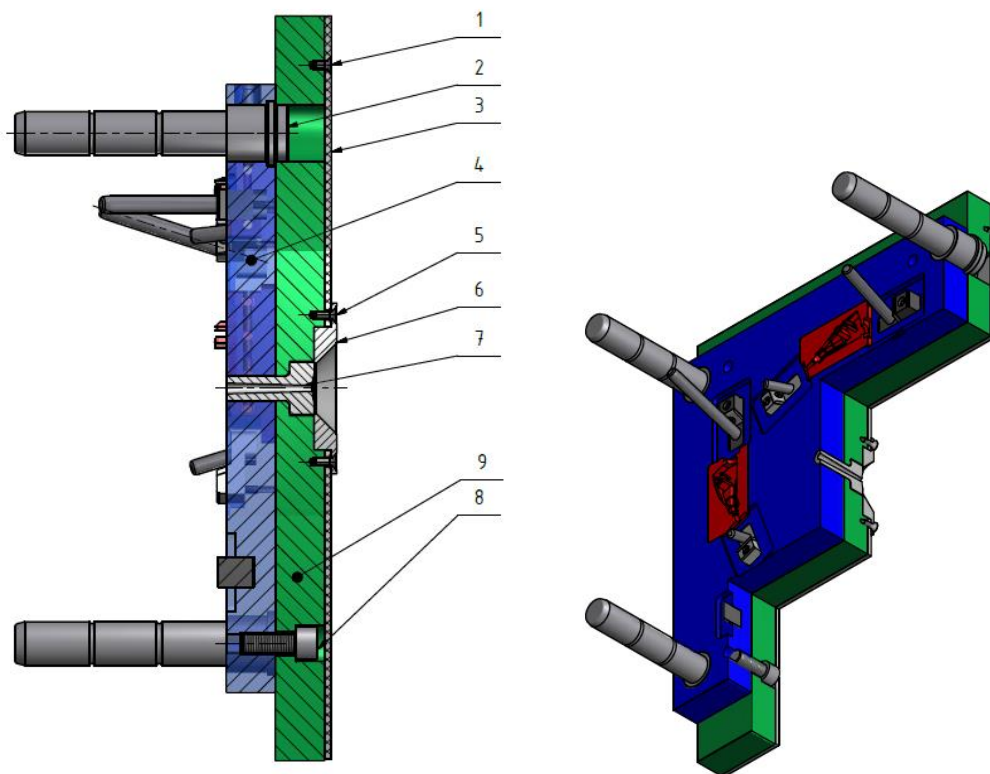
Obr. 60 Řez vstřikovací formou Rozměr formy je 445mm x 545 x 276mm

Při konstrukci vstřikovacích forem se často používají normalizované prvky od výrobců HASCO, DME, POLYMOLD a dalších. Použití normalizovaných prvků vede k ekonomické výhodnosti ceny nástroje.

Forma byla navržena pro studený vtokový systém a byla navržena jako 4 násobná s kruhovým rozmístěním výstřiků. Dále byly provedeny tokové analýzy korespondující s koncepcí formy, a také byla provedena analýza s horkým vtokovým systémem. Výsledky byly mezi sebou porovnány a následně porovnány v ekonomické bilanci a byla posouzena výhodnost obou variant z hlediska produkce zakázky.

8.1 Pravá strana formy (strana trysky)

Pravá strana vstřikovací formy se skládá ze tří desek, izolační, upínací a kotevní, dále pak z tvarových vložek, vodících, upínacích a středících prvků. V kotevní desce jsou vsuvně umístěny tvarové vložky, které jsou tvarově upraveny tak, aby byl jednoznačný směr jejich vložení, také by měly zaručit případnou snadnou opravitelnost formy výměnou poškozené vložky. Vložky lícuji s dosedací rovinou upínací desky, která rovněž slouží jako pojistný prvek vůči posunutí. V kotevní desce jsou nalisovány vodící čepy, které středí pravou stranu k levé straně formy, a rovněž také středí kotevní desku k upínací desce. V upínací desce jsou zapuštěny šrouby, které vytváří rozebíratelné spoj kotevní a upínací desky.

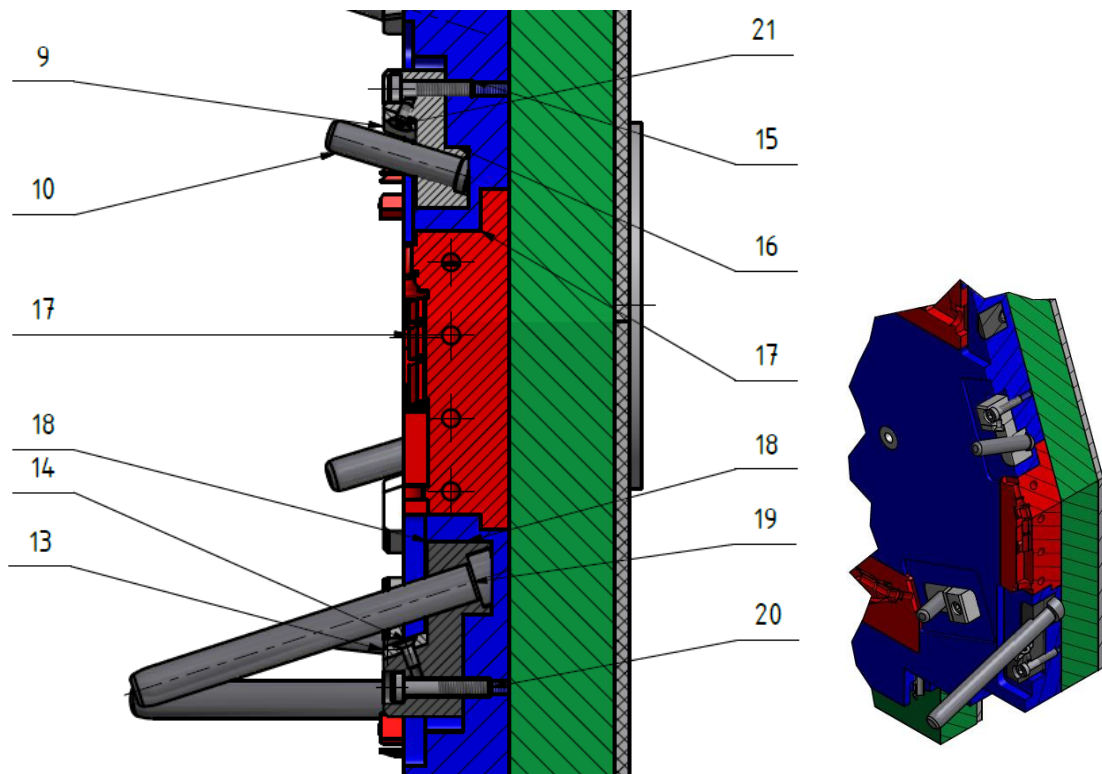


Obr. 61 Pravá strana formy (vodící a upínací prvky)

- 1 – šroub A, 2 – vodící čep, 3 – izolační deska, 4 – kotevní deska pravá, 5 – šroub B,
6 – středící kroužek A, 7 – vtoková vložka, 8 – šroub C, 9 – upínací deska pravá

Pro dopravu polymerní taveniny do dutiny formy slouží vtoková vložka, která ústí do dělicí roviny a do vtokových kanálů, které následně rozvádí taveninu do tvarových dutin formy. Vtoková vložka je pojištěna středícím kroužkem, který je šrouby upevněn v upínací desce. Funkcí středícího kroužku je vystředit formu vůči vstřikovacímu stroji.

V kotevní desce se také nacházejí „funkční díly“ vstřikovací formy, jako jsou zámky šoupátka, ve kterých jsou nalisovány šikmé čepy, na kterých následně dochází k odformování bočních dělicích rovin. Zámky šoupátek jsou v kotevní desce umístěny v přesných otvorech a následně šrouby upevněny. Také je jejich součástí opěrná lamela, při uzavření formy se o ní opírá šoupátko, jedná se o třecí plochu, která je namáhána a často opotřebená. Proto je lamela upevněna šroubem a je snadno vyměnitelná.



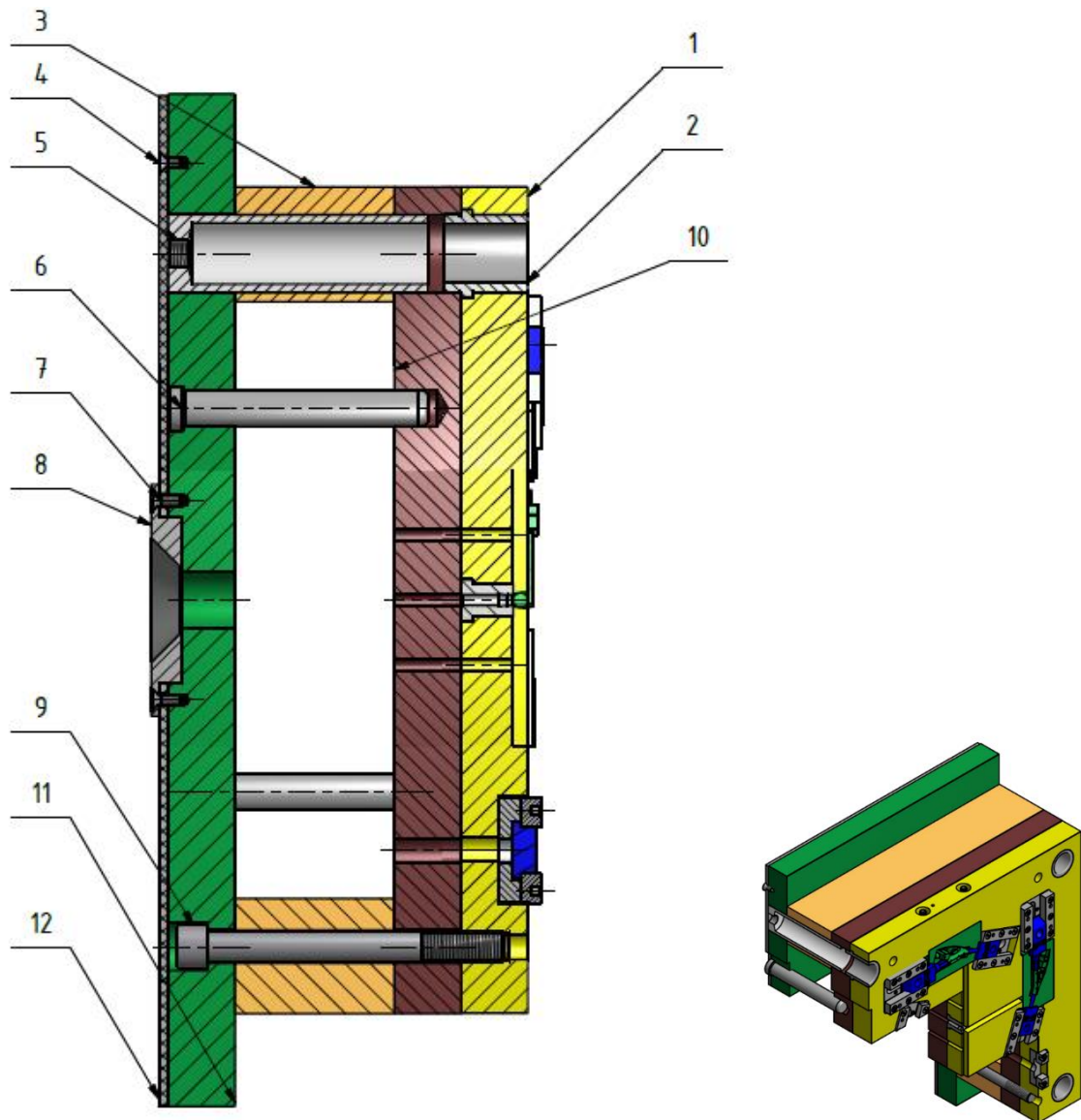
Obr. 62 Pravá strana formy (funkční prvky)

9 – opěrná lamela A, 10 – šikmý čep, 13 – opěrná lamela B, 14 – šroub D, 15 – šroub E,
16 – zámek šoupátka A, 17 – tvárnice, 18 – zámek šoupátka B, 19 – šikmý čep B,
20 – šroub F

8.2 Levá strana formy (strana vyhazovače)

Levá strana vstřikovací formy se skládá z šesti desek, z izolační desky, upínací desky, z páru rozpěrných desek, z opěrné a kotevní desky, dále pak z upínacích vodících a středících

prvku. Do kotevní desky jsou opět podobným způsobem, jako na pravé straně, vloženy vtokové vložky. Také je zde vložen přídržovač vtoku, kterému brání proti pootočení válcový kolík. Dále jsou zde nalisována i vodící pouzdra. Tato pouzdra středí levou stranu formy vůči pravé straně formy, a také středí kotevní desku levou, vůči opěrné desce. V opěrné desce jsou navrtané průchozí otvory, které slouží jako vedení pro válcové kolíky.

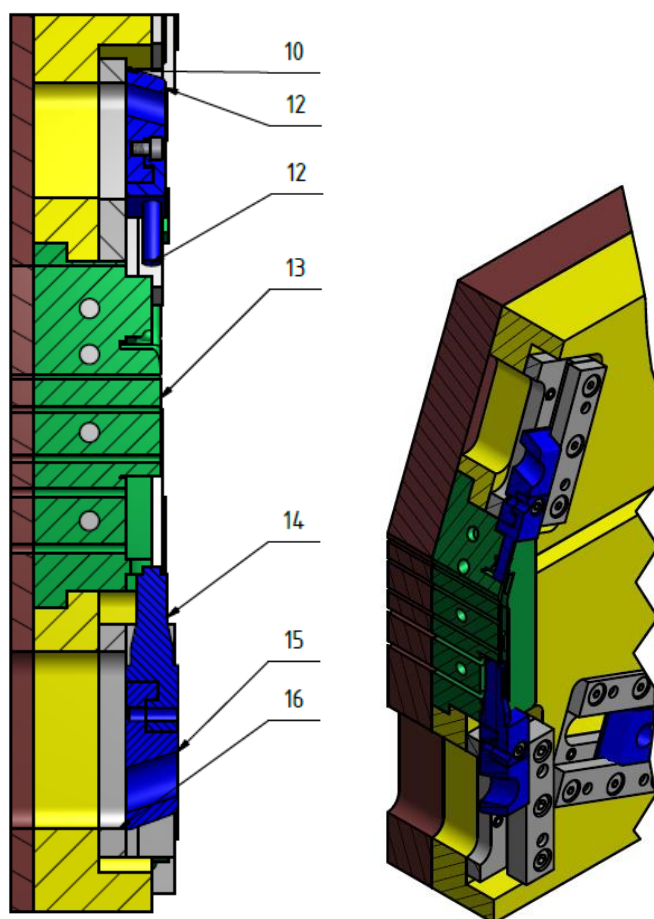


Obr. 63 Strana vyhazovače (vodící a upínací prvky)

1 – kotevní deska levá, 2 – vodící pouzdro, 3 – rozpěrná deska, 4 – šroub A, 5 – středící trubka, 6 – vodící čep B, 7 – šroub B, 8 – středící koružek B, 9 – šroub G, 10 – opěrná deska, 11 – upínací deska levá, 12 – izolační deska levá

Za opěrnou deskou následuje dvojice rozpěrných desek, které tvoří funkční mezeru pro vyhazovací systém, v rozpěrných deskách, opěrné desce a upínací desce jsou otvory a jimi prochází středící trubky. Tyto trubky středí desky vůči sobě, a také slouží jako vedení pro vodící čepy pravé strany. Dále jsou zde otvory pro šrouby, které jsou zapuštěny v upínací desce, a prochází do kotevní desky, kde jsou závity, a opět tvoří rozebiratelné spojení mezi deskami. V upínací desce jsou také nalisovány vodící čepy vyhazovacího systému, a jsou pojištěny izolační deskou. Také je zde středící kroužek, opět středí formu vůči vstřikovacím stroji.

I v levé kotevní desce se nacházejí „funkční části formy“. Jsou zde šrouby upevněny samomazné systémy, po kterých se posouvají šoupátka. Na jejich konci jsou šrouby upevněny tvarová jádra. Šoupátka jsou pojištěna vodícími lištami a tvoří pohyblivý systém uvnitř formy.



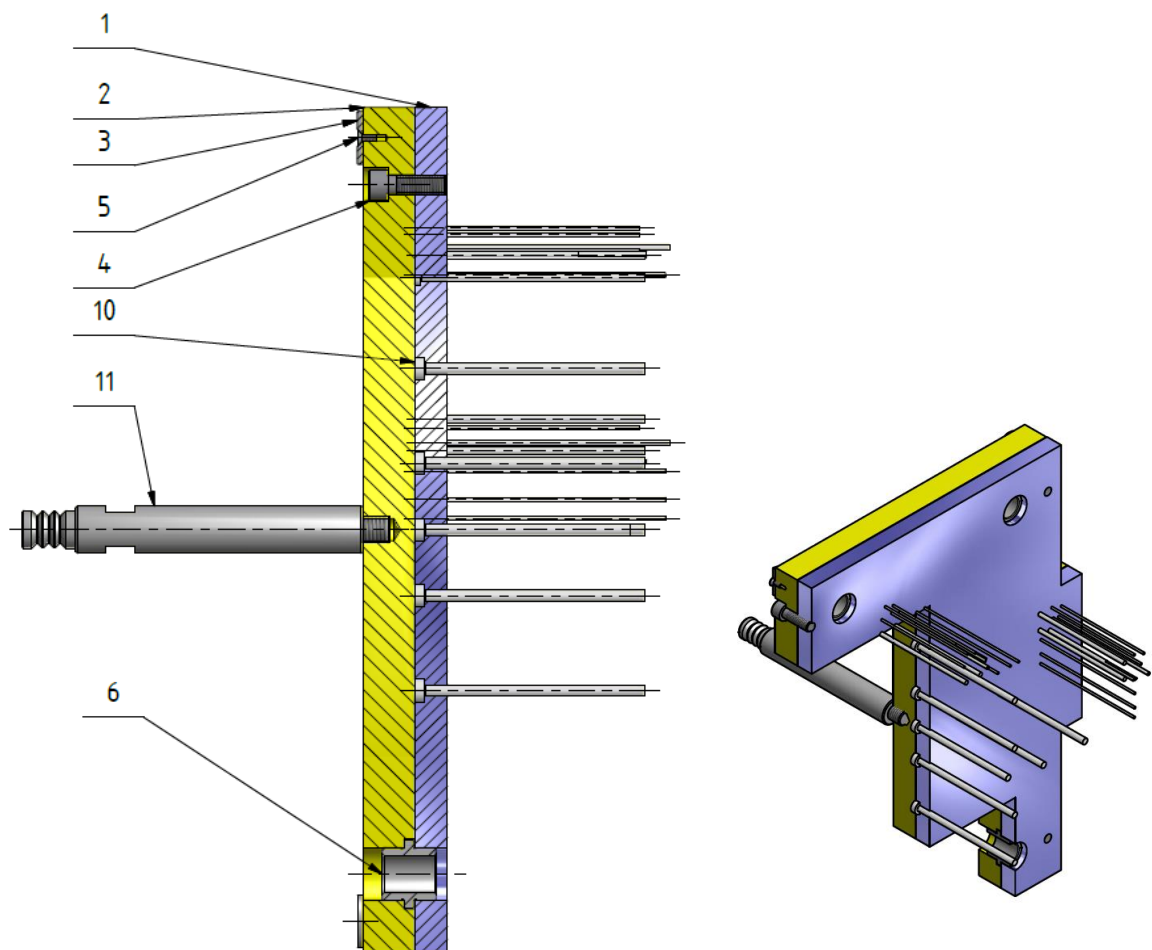
Obr. 64 Strana vyhazovače (tvarové a pohyblivé prvky)

10 – posuvný stavebnicový systém A, 11 – šoupátko A, 12 – jádro A, 13 – tvarová vložka,
14 – jádro B, 15 – šoupátko B, 16 – posuvný stavebnicový systém B

8.3 Vyhazovací systém (Válcové vyhazovače)

Vyhazovací systém se skládá ze dvou desek, vodících a upínacích prvků. Funkční části vyhazovacího systému jsou válcové vyhazovače.

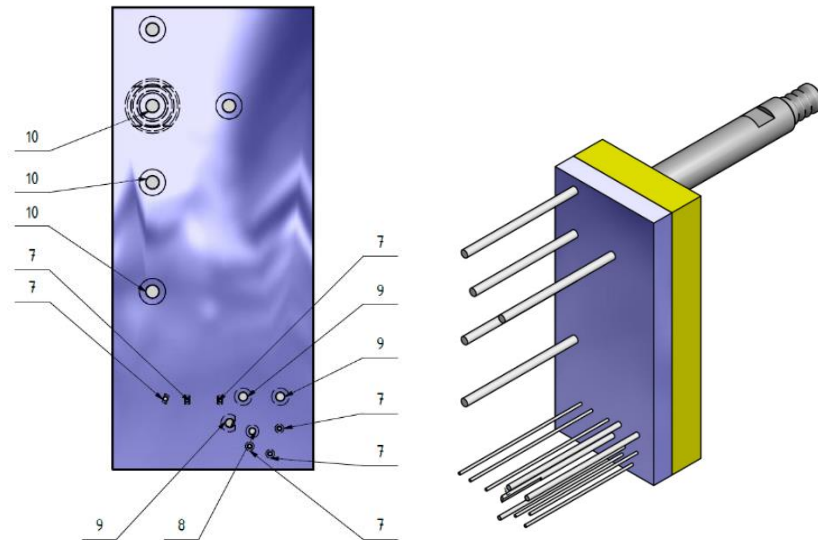
V kotevní desce vyhazovacího systému jsou nalisovány válcové vyhazovače, kterým je zabráněno v pootočení. Dále je zde nalisované vodící pouzdro, které středí vyhazovací systém k levé straně formy a také kotevní desku vyhazovače k opěrné. Opěrná deska je ke kotevní desce upevněna šrouby. Dále jsou v opěrné desce pomocí zápustných šroubů upevněny dosedací podložky, které plní funkci dorazu.



Obr. 65 Vyhazovací systém (válcové vyhazovače)

1 – kotevní deska vyhazovače, 2 – opěrná deska vyhazovače, 3 – dosedací podložka,
4 – šroub H, 5 – šroub I, 6 – vodící pouzdro B

Vyhazovací systém je symetrický. Celkem k jeho zhotovení bylo použito 49 válcových vyhazovačů, z toho byly použity 3 rozměrové typy.

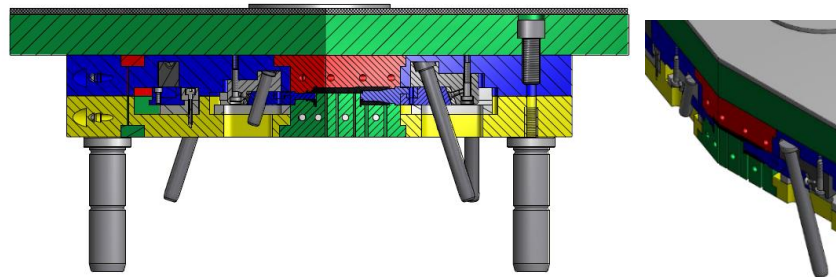


Obr. 66 Typy použitých vyhazovačů

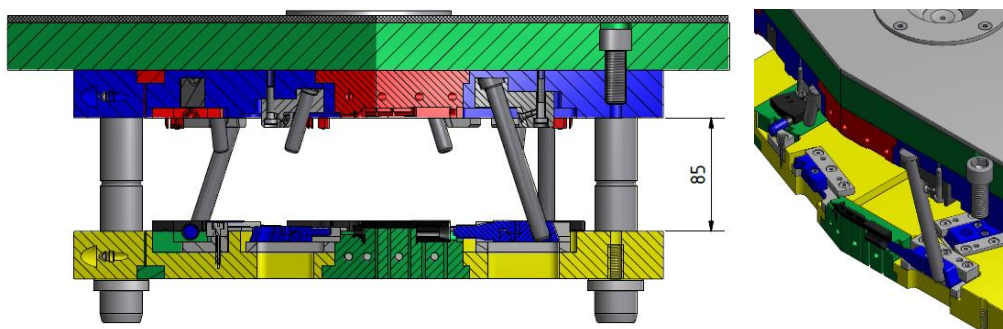
10 – Ø 6mm, 7 – Ø 2mm, 9 – Ø 4mm

8.4 Funkce šikmého čepu (šoupátka)

Šikmě čepu a šoupátka se používají pro odformování jader z bočních dělicích rovin. Při otevírání formy se šoupátko, které je vsuvně uloženo v samomazném vedení posouvá a jádra vyjždí z dutin formy, a tím dochází k odformování vedlejších dělicích rovin. Následující obrázky demonstrují potřebný „zdvih formy“ k odformování boční dělicí roviny.



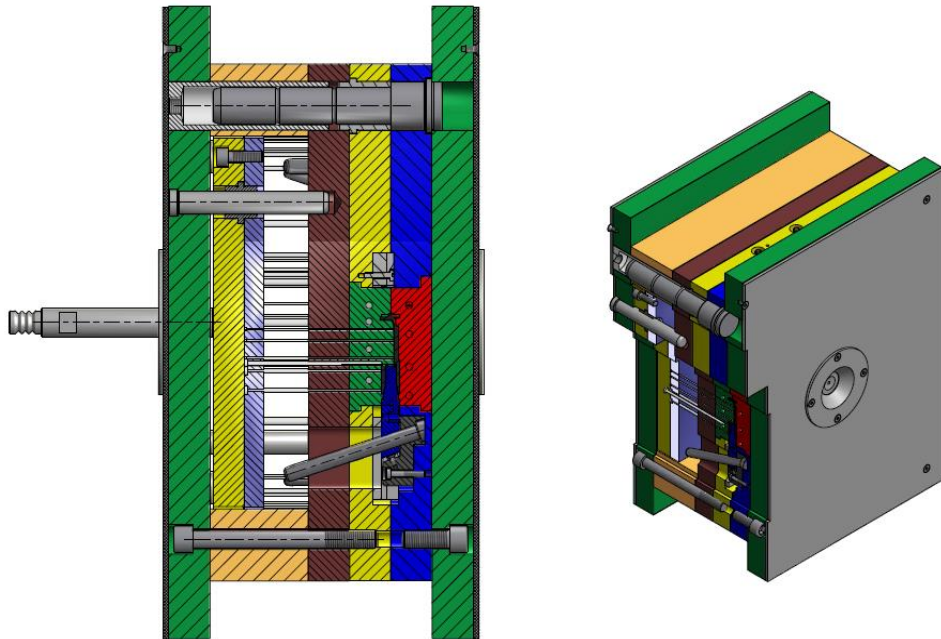
Obr. 67 Funkce šikmého čepu (uzavřená forma)



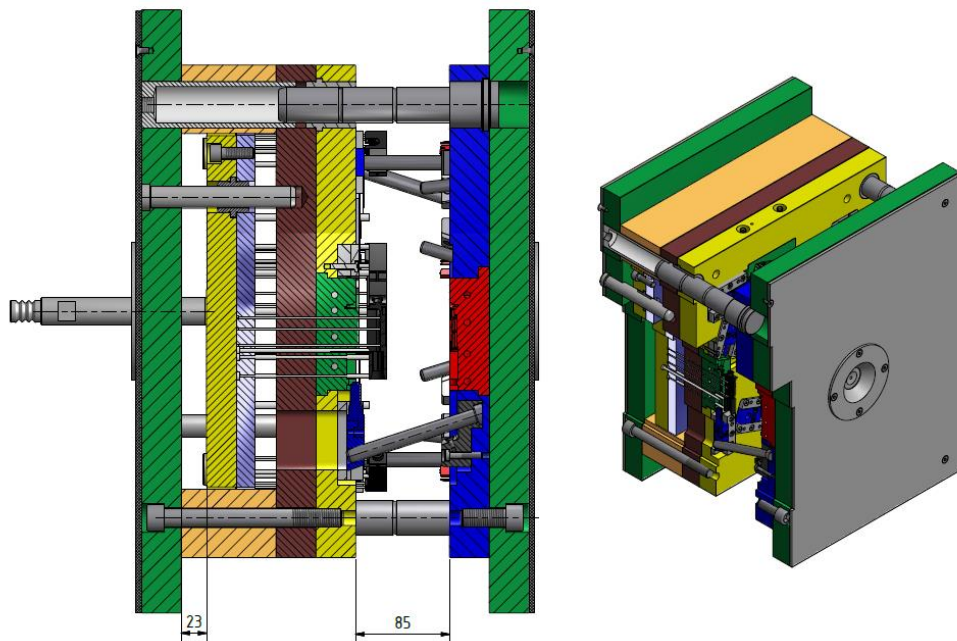
Obr. 68 Funkce šikmého čepu (otevřená forma)

8.5 Funkce vyhadzovacího systému

Vyhazovací systém slouží k bezproblémovému vyhození výstřiku z dutiny formy. Díky použití tunelového vtokového ústí dochází i k automatizaci oddělování vtokového zbytku od výstřiku, následující obrázky demonstrují, že zdvih vyhadzovacího systému je dostačující.



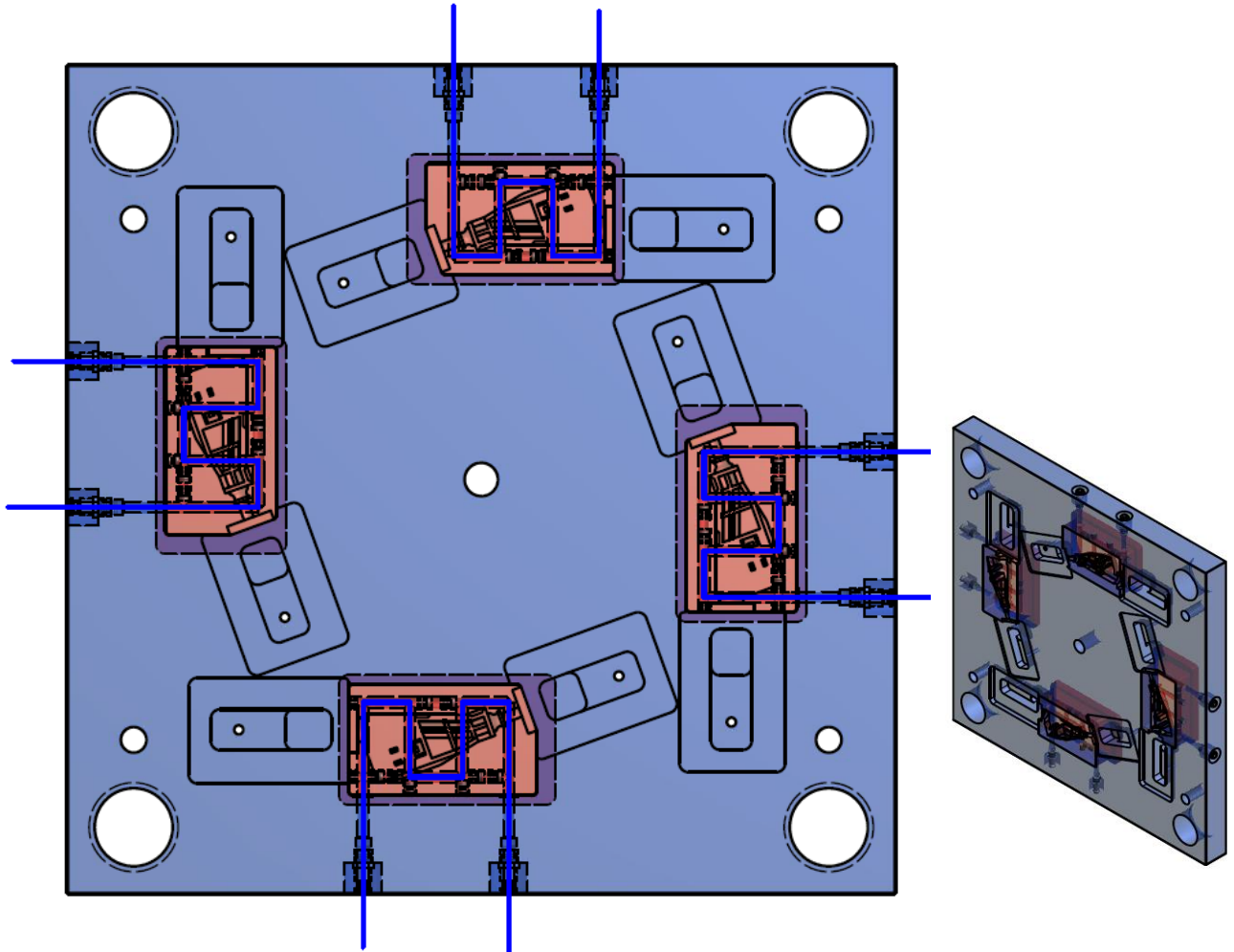
Obr. 69 Funkce vyhadzovacího systému (uzavřená forma)



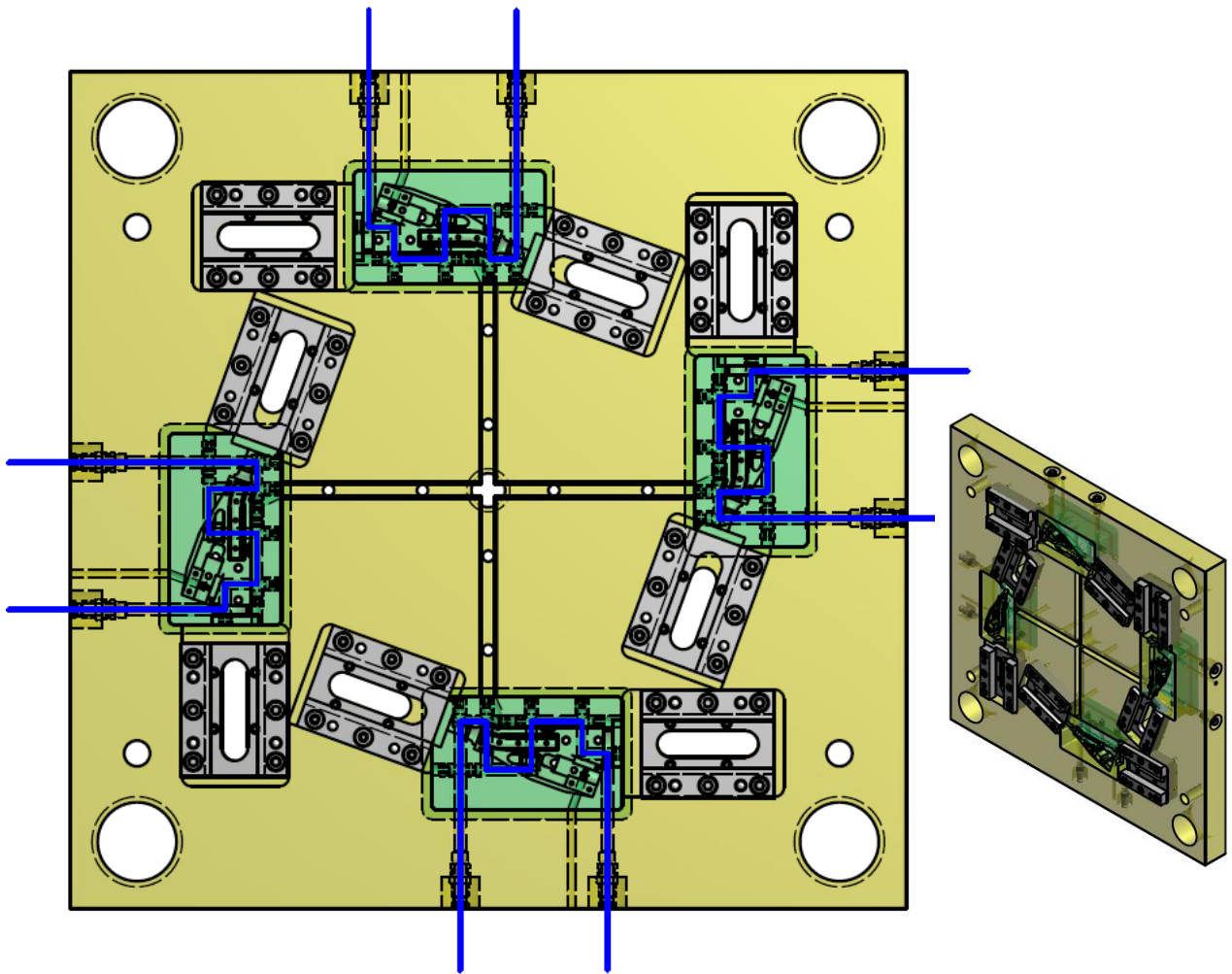
Obr. 70 Funkce vyhadzovacího systému (otevřená forma)

8.6 Temperační systém

Temperačním systémem by se mělo docílit konstantního teplotního pole, díky čemuž by mělo být optimalizované chlazení výstřiku. Temperační systém je zhotovený navrtnými kanály uvnitř kotevních desek a tvarových vložek.



Obr. 71 Temperační systém (kotevní deska pravá)

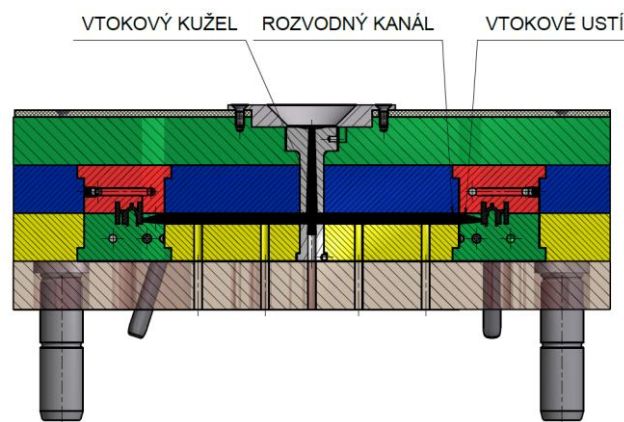


Obr. 72 Temperační systém (kotevní deska levá)

8.7 Vtokový systém

8.7.1 Studeným vtokovým systémem (reálný)

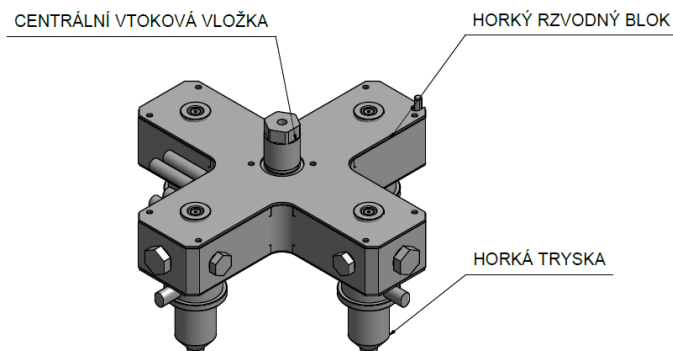
Vtokový systém použitý při konstrukci formy je studený jeho součástí je vtokový kužel, který je tvořený vtokovou vložkou, dále rozvodnými kanály které jsou vyfrézované v levé kotevní desce a tunelovým vtokovým ústím, což nám umožňuje automatizovat oddělení výstřiku od vtokového zbytku, jelikož k odstřížení dochází při vyhazování výstřiku. S porovnání s horkým vtokovým systémem je levnější energeticky méně náročnější, avšak je zde větší spotřeba materiálu.



Obr. 73 Studený vtokový systém

8.7.2 Horký rozvodný systém (alternativní)

Dále bude provedená analýza pro horký vtokový systém, který by nahradil předchozí řešení vtokové soustavy s minimálním zásahem do celkové koncepce formy. Řešení s horkým vtokovým systémem zvyšuje cenu formy, avšak minimalizuje množství odpadu. Pro velkosériovou výrobu lze tímto řešením docílit velkých úspor.



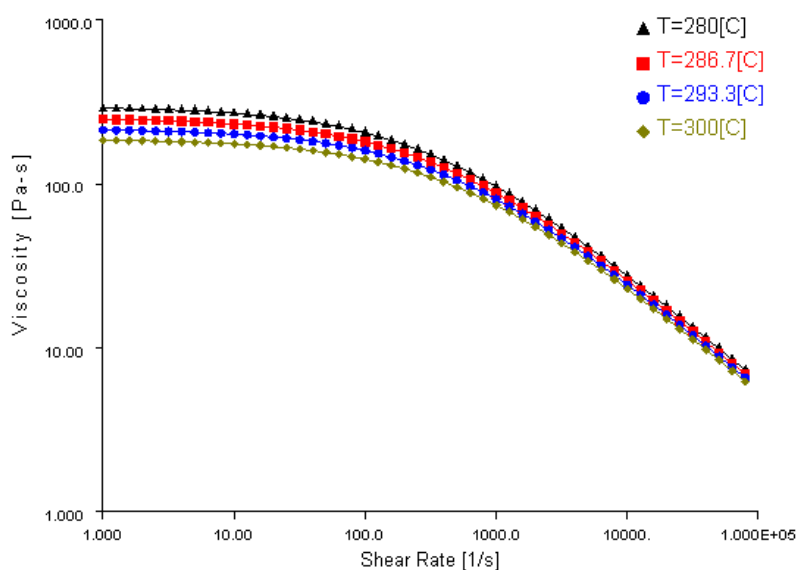
Obr.74 Horký rozvodný systém

9 VOLBA MATERIÁLU

Materiál byl zvolen Polyamid plněný 30% skelného vlákna. Je to materiál, který splňuje potřeby všech průmyslových odvětví – umožňuje náhradu kovů spolu s nižší hmotností dílů, čímž je ekologicky šetrný, díky absorpci rázů a ochraně před vznícením je bezpečný, zpracování je zjednodušené, a zejména se vyznačuje trvanlivostí, dlouhodobou odolností a odolností vůči provozním kapalinám. PA plněn skelným vláknem výrazně zlepšuje své mechanické vlastnosti a to zejména Youngův Modul pružnosti v tahu (tuhost materiálu). Byl zvolen materiál Ultramid A3EG6 od společnosti BASF.

Tab. 2 Vybrané vlastnosti zvoleného materiálu

		Jednotka
Název materiálu:	Polyamid (PA66)	
Obchodní název:	Ultramid A3EG6	
Výrobce:	BASF	
Plnivo:	30% Skelného vlákna	
Rozsah teplot formy:	80 – 90	°C
Rozsah teplot taveniny:	280 – 300	°C
Teplota vyhození:	195	°C
Maximální smykové napětí:	0,5	MPa
Maximální smyková rychlost:	60 000	1/s
Modul pružnosti v tahu v prvním hlavním	11302	MPa
Modul pružnosti vtahu v druhém hlavním	4428	MPa
Poissonovo číslo:	0.38	
Maximální rovnoběžné smrštění:	0,18	%
Maximální kolmé smrštění:	0,8685	%



Obr. 75 Toková křivka Ultramid A3EG6

10 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE

Při volbě vstřikovacího stroje rozhodují parametry, které musí stroj splnit pro zhotovení daného výrobku. Patří sem:

- a) rozměry mezi vodícími sloupky
- b) kapacita plastikační jednotky
- c) velikost uzavírací síly

10.1 Rozměry mezi vodícími sloupy

Vstřikovací formy má hlavní rozměry ($445\text{mm} \times 545\text{ mm} \times 276$), a proto musí být pro tuto formu vybrán vstřikovací stroj, který má vzdálenost mezi vodícími sloupy větší jak ($445\text{mm} \times 545\text{ mm}$).

10.2 Kapacita plastikační jednotky

Kapacita plastikační jednotky potřebná k zaplnění dutiny formy taveninou se stanoví podle empirického vztahu.

$$M = 1,2 \cdot (G \cdot n + A) \frac{\alpha_x}{\alpha_p} [g] \quad (5.1)$$

G... hmotnost výstřiku v [g]

A... hmotnost vtoků a kanálů [g]

n... násobnost formy

$\frac{\alpha_x}{\alpha_p}$ podíl poměrových hodnot z určeného plastu k polystyrenu (tabulkové hodnoty)

Hmotnost výstřiků i s rozvodným systémem byla určena z 3D modelu

Substituce části vzorce pro výpočet hmotnosti materiálu:

$$G \cdot n + A = 120\text{ g} \quad (5.2)$$

Výpočet množství polymeru na jeden cyklus:

$$M = 1,2 \cdot (120) \frac{91}{100} = 131\text{g} \quad (5.3)$$

10.3 Velikost uzavírací síly

V dutině formy, i v dělicí rovině, která je také částí dutiny, působí tlak vstříkovaného plastu, který má snahu formu rozevírat. Jeho potřebná velikost se stanoví z hmotnosti, tloušťky stěn a rozměru výstřiku. [5]

Uzavírací síla vyvozená vstříkovacím strojem musí být větší, než je rozevírací síla, vyvolaná vstříkovacím tlakem v dělicí rovině formy. Pro výpočet uzavírací síly platí rovnice. [5]

$$F = 1,2 \cdot S \cdot p_v \cdot k \leq F' \quad (6.1)$$

F... uzavírací síla v dělicí rovině

F'... uzavírací síla vstříkovacího stroje

S... průmět plochy výstřiku do děl, roviny včetně rozváděcích kanálů

P_v... tlak plastu v dutině formy = 35 MPa (tabulková hodnota)

k... koeficient tekutosti = 1 (tabulková hodnota)

Velikost uzavírací síly byla odvozena z programu Moldflow a je nutno použít stroj s uzavírací silou min 15 tun což je 150 kN.

10.4 Zvolený vstříkovací stroj

Ze vstříkovacích strojů, které jsou k dispozici. Byl vybrán hybridní vstříkovací stroj ALLROUNDER od firmy ARBURG. Tento stroj je určený k velmi kvalitnímu zpracování termoplastu. Spojuje v sobě rychlost a přesnost elektrických vstříkovacích strojů s nekompromisní silou a dynamikou, kterou se vyznačují hydraulické vstříkovací stroje.

Tento vstříkovací stroj splňuje základní parametry:

- a) Vzdálenost mezi vodicími sloupy je (570mm x 570mm)
- b) Hmotnost vstříkované dávky v [gPS] je (131 – 232)
- c) Velikost uzavírací síly stroje je 2 000 kN

Vzdálenosti mezi vodicími sloupy [mm]										Vstřikovací jednotky podle norem EUROMAP											
920 x 920	820 x 820	720 x 720	630 x 630	570 x 570	520 x 520	470 x 470	370 x 370	270 x 270			70	100	170	290	400	800	1300	2100	3200	4600	
										Uzavírací síly [kN]	Hmotnost vstřikovací dávky v [g PS]										
											21 - 40	29 - 65	54 - 105	97 - 172	131 - 232	291 - 434	521 - 844	723 - 1286	1125 - 1860	1653 - 2583	
										350											
										600											
										1.000											
										1.500											
										2.000											
										2.500											
										3.200											
										4.000											
										5.000											

Obr. 76 Volba vstřikovacího stroje



Obr. 77 Zvolený vstřikovací stroj

11 TOKOVÉ ANALÝZY

Tokové analýzy byly zpracovány pro dva modely. První model je model se SVS rozmístěním dílů v dutině formy, také vtoková soustava koresponduje s výkresy a modely formy, která byla zpracována. Temperační okruhy jsou také totožné.

Dále byla zpracována alternativní analýza pro model s kombinací HVS a studeného vtokového ústí. Analýza byla navržena takto z důvodu dodatečné úpravy vstřikovací formy pokud možno s co nejmenším zásahem do konstrukčního řešení vstřikovací formy.

11.1 Analýza studeného vtokového systému

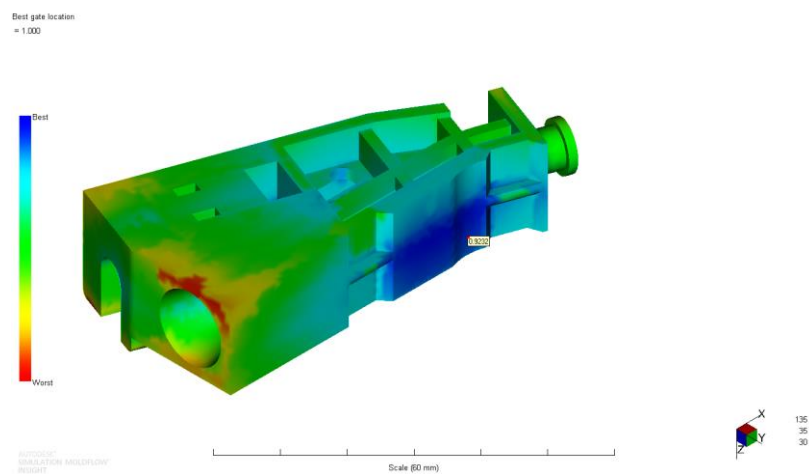
Vtokový systém formy zajišťuje při vstřikování vedení proudu roztavené polymerní taveniny od vstřikovací jednotky do tvářecích dutin formy. Naplnění dutiny formy termicky homogenní taveninou má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory. Proto byly optimalizovány tyto rozměry vtokového systému:

Tab. 3 Rozměry studeného vtokového systému

Vtokový kužel	Vstup Ø 4,5mm	Výstup Ø 7,8mm	Délka 65mm
trapezový kanál	Horní rozměr 9mm	Spodní rozměr 7mm	Výška 8mm
Vtokové ústí	Vstup Ø 8mm	Výstup Ø 0,5mm	Délka 8mm
Vtokové ústí opt.	Vstup Ø 8mm	Výstup Ø 2mm	Délka 8mm

11.1.1 Vhodnost plnění (Best gate location)

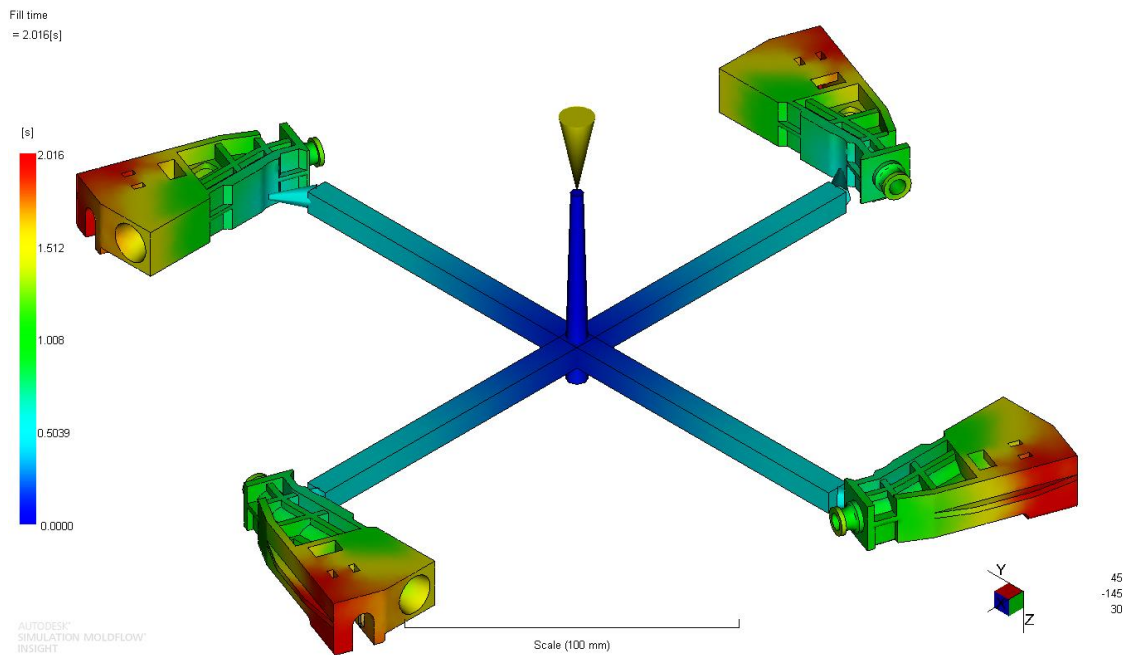
Analýza zobrazuje vhodnost umístění vtokového ústí na výrobku. Modrá barva představuje nejvhodnější místo, červená pak nejméně vhodné místo. Místo umístění vtoku bylo zvoleno dle výsledků analýzy vhodnosti plnění s výhodností umístění 92%.



Obr. 78 Vhodnost plnění (Best gate location)

11.1.2 Čas plnění (Fill time)

Při definování procesních podmínek byla zadána hodnota času plnění, ke které se analýza měla přiblížit. Čas nastavený v procesních podmínkách je referenční a má hodnotu 2 s. Čas plnění v této simulaci je tedy 2 s. Následující obrázek popisuje, že dochází k bezproblémovému zatečení do všech míst dutiny formy.

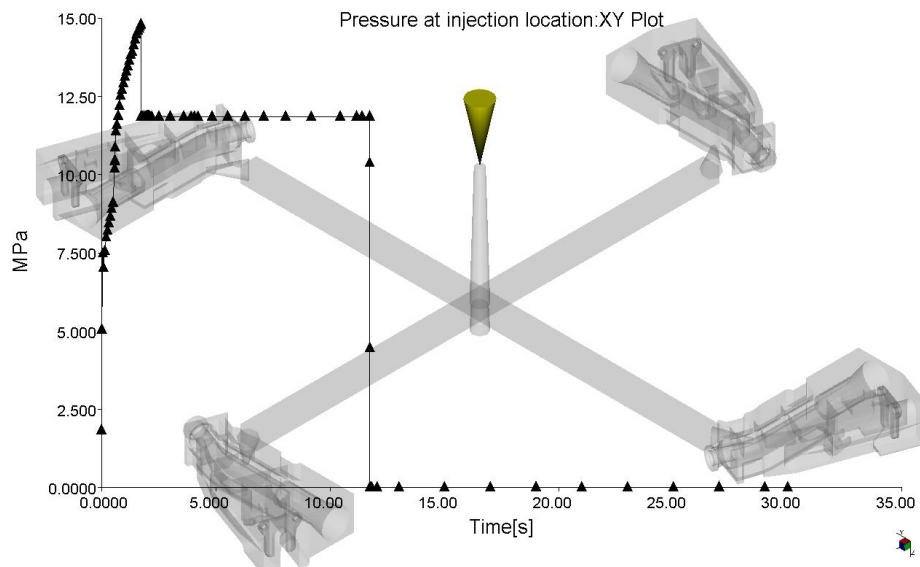


Obr. 79 Čas plnění (Fill time)

11.1.3 Průběh vstřikovacího tlaku ve vtoku (Pressure at injection)

Následující obrázek graficky znázorňuje průběh tlaku během vstřikovacího cyklu. Vstřikovací cyklus byl optimalizován tak, aby bylo docíleno optimálního průběhu tlaků v dutině formy. Na začátku dochází k prudkému zvýšení tlaku, kdy nastává fáze plnění. Při této fázi je hodnota tlaku nejvyšší, tato hodnota se nazývá vstřikovací tlak. Dále následuje mírný pokles, kdy nastává doplňování taveniny a dochází ke kompresi taveniny uvnitř dutiny formy. Poté následuje prudký pokles tlaků (z důvodu zamrznutí vtokového ústí). Následuje fáze chlazení a zafixování výrobku v daném tvaru. A poté otevření a vyhození výstřiků.

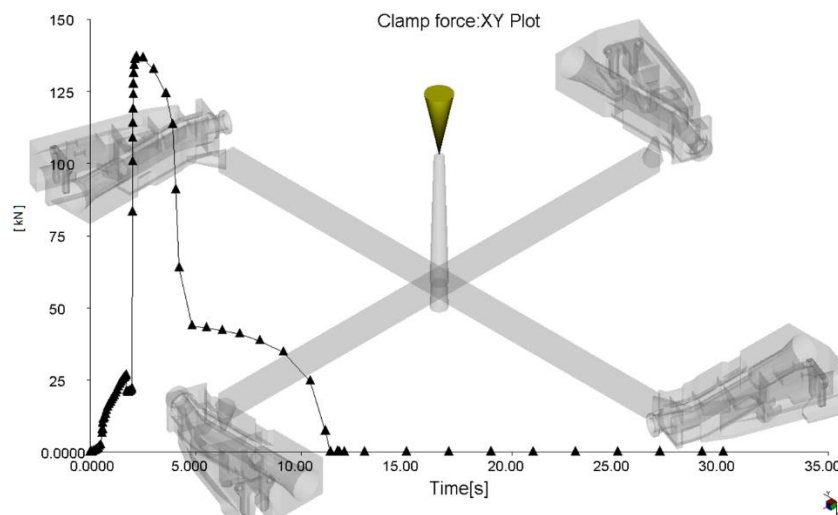
Maximální hodnota tlaku během vstřikovacího cyklu je 14,8 MPa.



Obr. 80 Průběh vstřikovacího tlaku ve vtoku (Pressure at injection)

11.1.4 Uzavírací síla (Clam force)

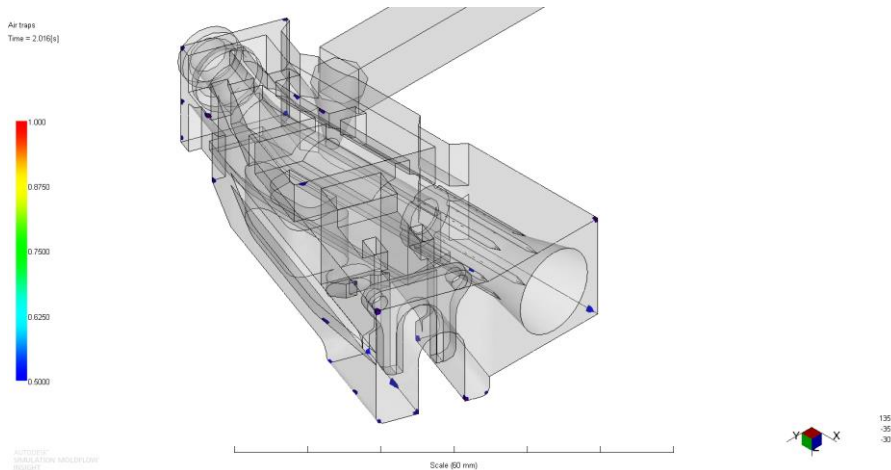
Následující graf popisuje průběh uzavírací síly ve vstřikovacím cyklu. Uzavírací síla musí být největší v okamžicích, kdy je forma ve fázi vstřikování, a kdy vstřikovací tlak klade největší odpor proti uzavírací síle. Tavenina má tendenci formu otevřít, a proti ní působí uzavírací síla. Hodnota maximální uzavírací síly stroje je 2 000 kN. Uzavírací síla potřebná v okamžiku vstřikování je pouze 137 kN. Je k dispozici velká rezerva uzavírací síly.



Obr. 81 Uzavírací síla (Clam force)

11.1.5 Vzduchové kapsy (Air traps)

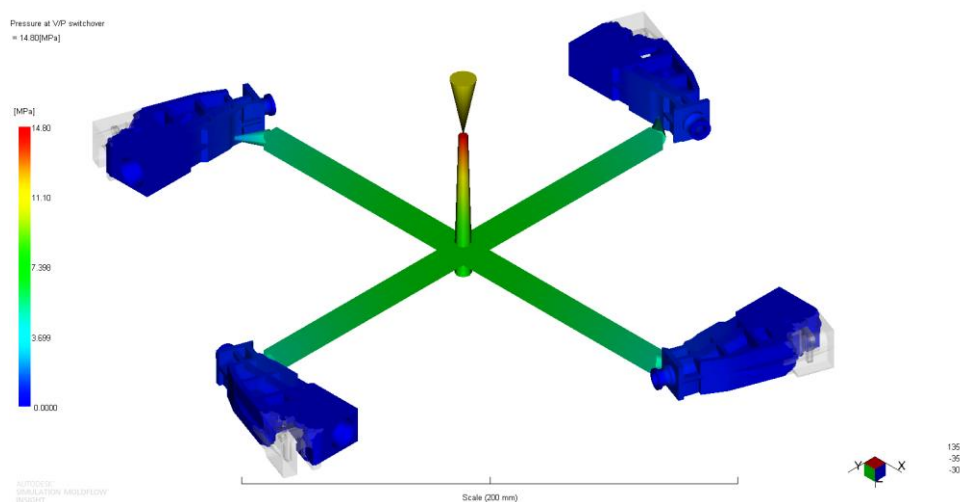
Na následujícím obrázku jsou znázorněny vzduchové kapsy. Ve skutečnosti je bráno v úvahu, že forma není dokonale těsná, a přebytečný vzduch má možnost uniknout z dutiny formy, například dělicí rovinou nebo kolem vyhazovačů. Pokud by ovšem vzduch zůstal v dutině formy, mohly by vznikat vady výrobku, takzvané bubliny. Bubliny by byly patrné po odzkoušení formy. Měly by se poté odstranit odvzdušňovacími průduchy.



Obr. 82 Vzduchové kapsy (Air traps)

11.1.6 Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)

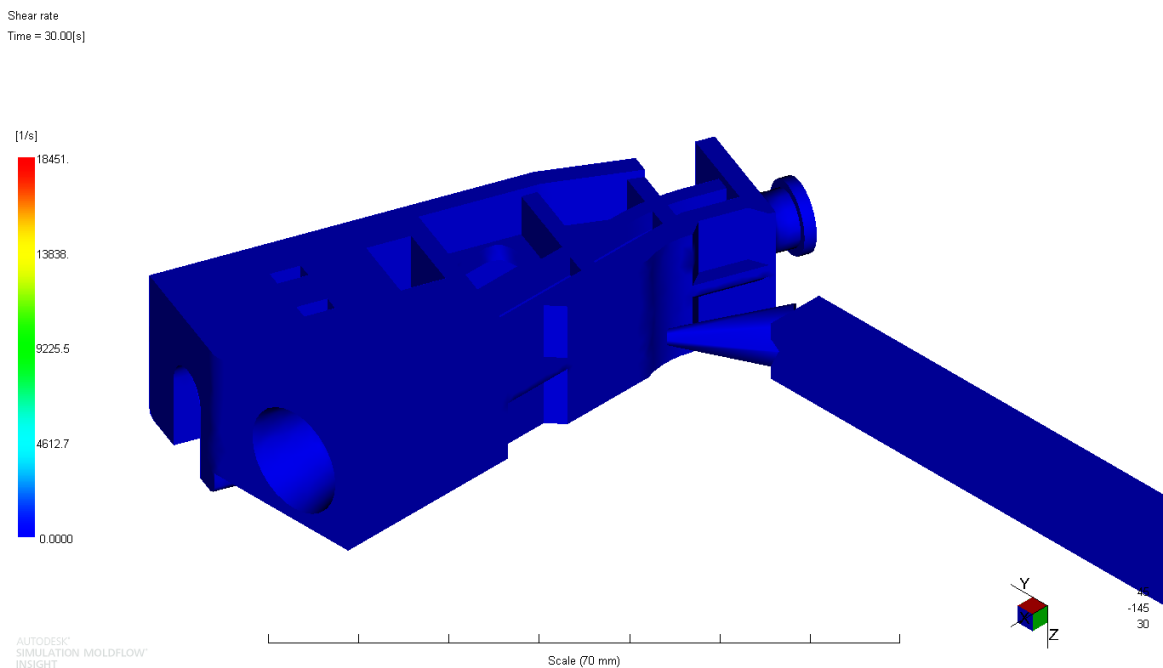
Hodnota tlaku při přepnutí na dotlak je 14,8 MPa. Na obrázku není výrobek zcela dotečen a to z toho důvodu, že při přepnutí na dotlak by měl být výrobek zaplněn z (95 – 99)%. Kdyby k přepnutí na dotlak nedošlo, vznikla by tlaková špička, kvůli které by mohl vzniknout přetok. Tlak je největší ve vtokové soustavě.



Obr. 83 Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)

11.1.7 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)

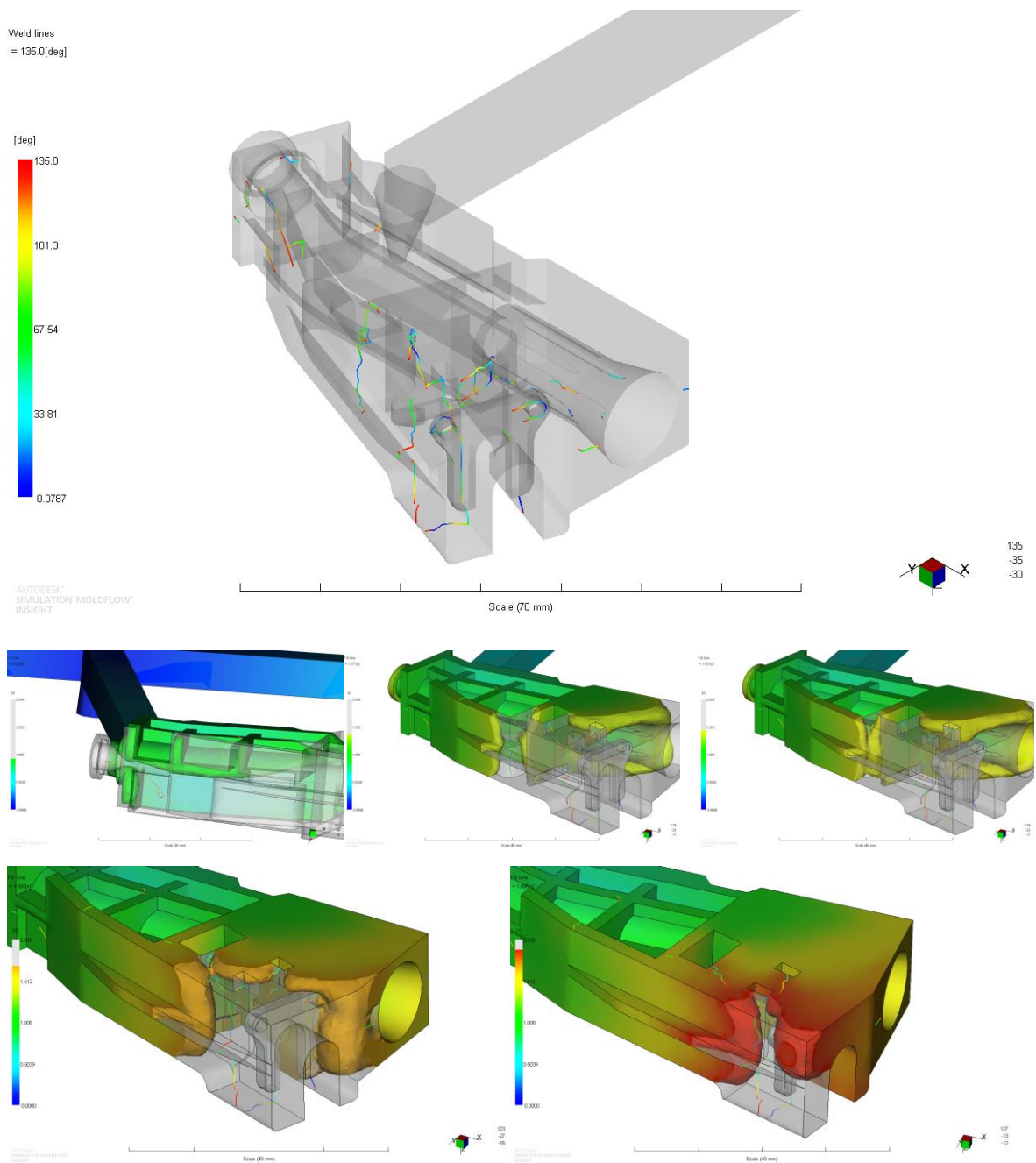
Podle materiálového listu je maximální hodnota rychlosti smykové deformace $60\,000\text{ s}^{-1}$. Největší hodnota smykové deformace je v místě vtoku, jedná se totiž o místo, ve kterém je tavenina nejvíce namáhá (smýkána). Při prvních tokových analýzách byla rychlost smykové deformace o řád překročena. Tato hodnota byla eliminována a podstatně snížena změnou rozměrů konvergujících kanálů ve vtokovém ústí. Z rozměrů vtokových kuželů o průměru (0,5 – 8)mm a délce 8mm na průměr (2 – 8)mm o délce 8mm. Maximální hodnota smykové rychlosti po optimalizaci je $18\,451\text{ s}^{-1}$. Při překročení dovolené hodnoty rychlosti smykové deformace by docházelo k degradaci materiálu, a tím k znehodnocení mechanických vlastností celého výstřiku.



Obr. 84 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)

11.1.8 Studené spoje (Weld lines)

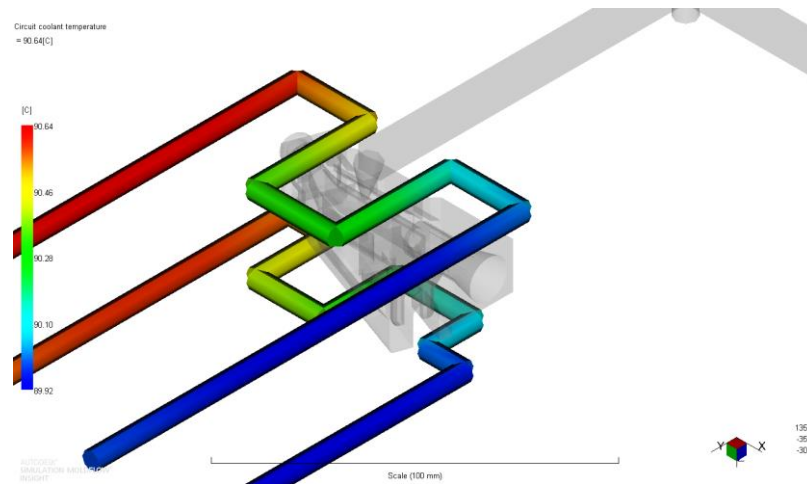
Studené spoje vznikají v důsledku střetu čel taveniny, například při obtékání jader. Způsobují místa s nižší pevností výrobku. Následující obrázky zobrazují místa střetu dvou čel taveniny a vzniku studených spojů. Nejzávažnější pro nás budou poslední obrázky, kdy dochází ke střetu taveniny již ochlazených čel v místě umístění kovového zástřiku. Ovšem i to pro nás neznamena příliš velký problém, protože v tomto místě nebude výrobek vystaven velkému mechanickému zatížení.



Obr. 85 Studené spoje (Weld lines)

11.1.9 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)

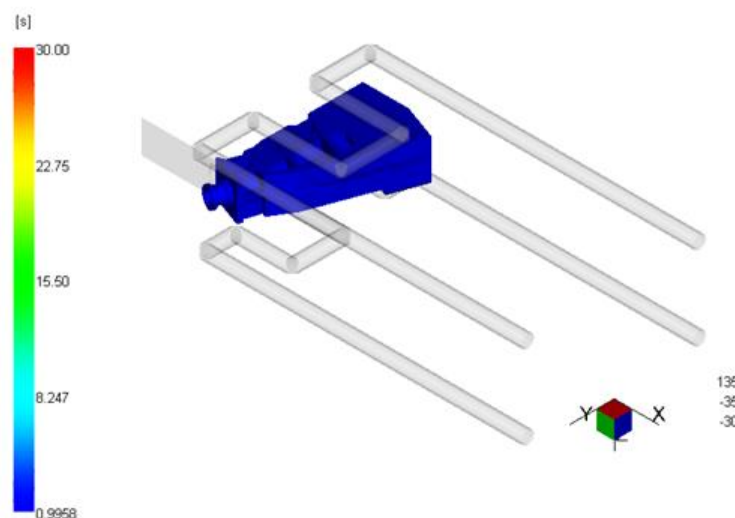
Rozdíl mezi teplotou na vstupu a výstupu by zpravidla pro efektivní chlazení výstříku neměl překročit rozdíl 4° , tato podmínka je splněna, neboť rozdíl na vstupu a výstupu je $0,72^{\circ}\text{C}$. Teplota je tedy z tohoto hlediska vyhovující.



Obr. 86 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)

11.1.10 Čas vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

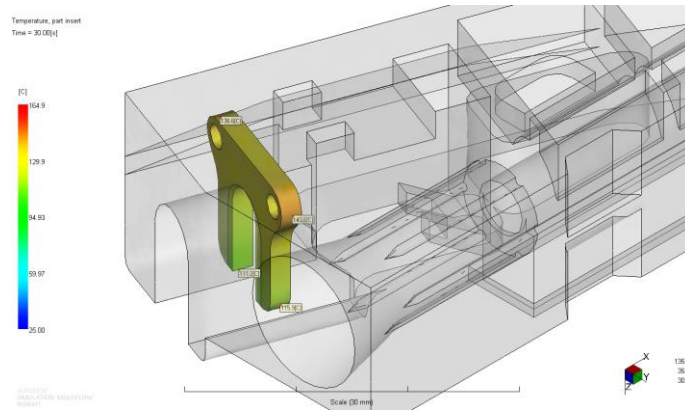
V ideálním případě by měly všechny části výrobku dosáhnout vyhazovací teploty ve stejném čase. Obrázek znázorňuje, že celý výrobek bude ochlazen na vyhazovací teplotu až za 30 s. Ovšem bude dostatečné, když budou ochlazený na vyhazovací teplotu části pod vyhazovači a zbytek výstříku dochládne na vzduchu. Po provedení této úvahy může být čas chlazení zkrácen více jak o polovinu.



Obr. 87 Čas k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

11.1.11 Teplota kovového zástříku při vyhození (Temperature, part insert)

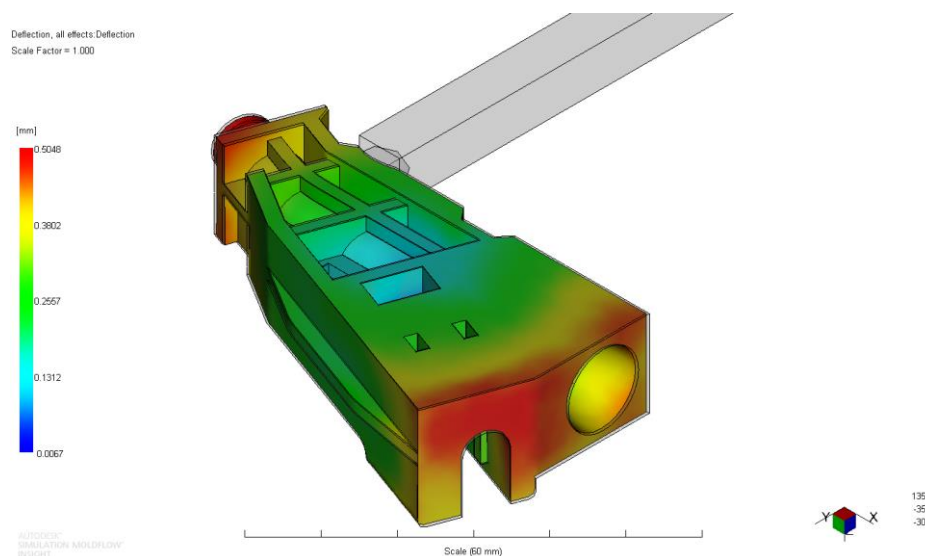
Při délce vstřikovacího cyklu 30 s, kdy je výrobek už plně ochlazen pod vyhazovací teplotu 195 °C, klesla i teplota kovového zástříku pod teplotu 160 °C.



Obr. 88 Teplota kovového zástříku při vyhození (Temperature, part insert)

11.1.12 Celková deformace (Deflection, all effects: deflection)

Velikost deformace je dána rozdílem rozměrů zhotovené formy a výslednými rozměry výstříku. Velikost smrštění je ovlivněna jak druhem polymeru, tak tvarem výstříku, ale i vstřikovací formou (vtoková soustava, dotlak a volba temperačních kanálů). Celková deformace od působících vlivů, smrštění materiálu, a vlivu teploty je 0,5 mm. Tato hodnota je vztažena k centrálnímu souřadnému systému modelu. Aby bylo docíleno zachování rozměrů výrobků, měla by být dutina formy o tuto hodnotu smrštění zvětšena.



Obr. 89 Celková deformace (Deflection, all effects: deflection)

11.2 Analýza horkého rozvodného systému

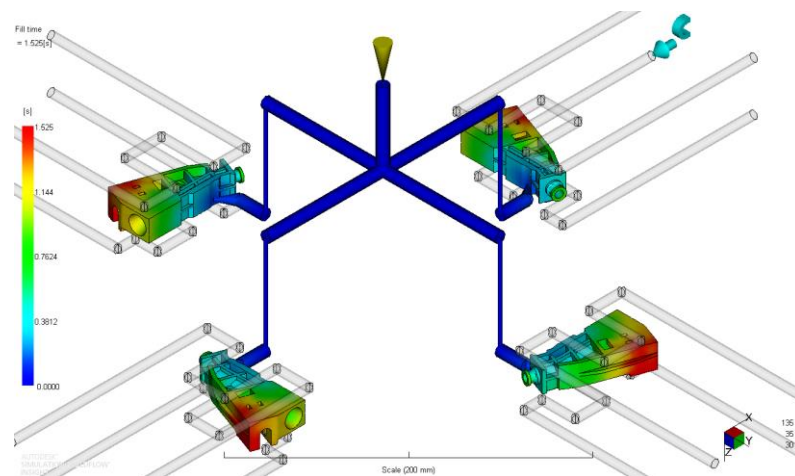
Při provedení tokových analýz pro horký systém byly zachovány stejné procesní podmínky, a byl kladen důraz na minimální zásah do konstrukce formy, jelikož by se tímto způsobem dala modifikovat již zkonstruovaná vstřikovací forma. Zůstaly zachovány vtoková ústí i temperační okruhy.

Tab. 4 Rozměry horkého vtokového systému

Centrální vtoková vložka	Ø 8mm
Horký rozvodný blok	Ø 8mm
Horká tryska	Ø 3mm
Vtokové ústí	Kužel (2-8)mm, délka 8mm

11.2.1 Čas plnění (Fill time)

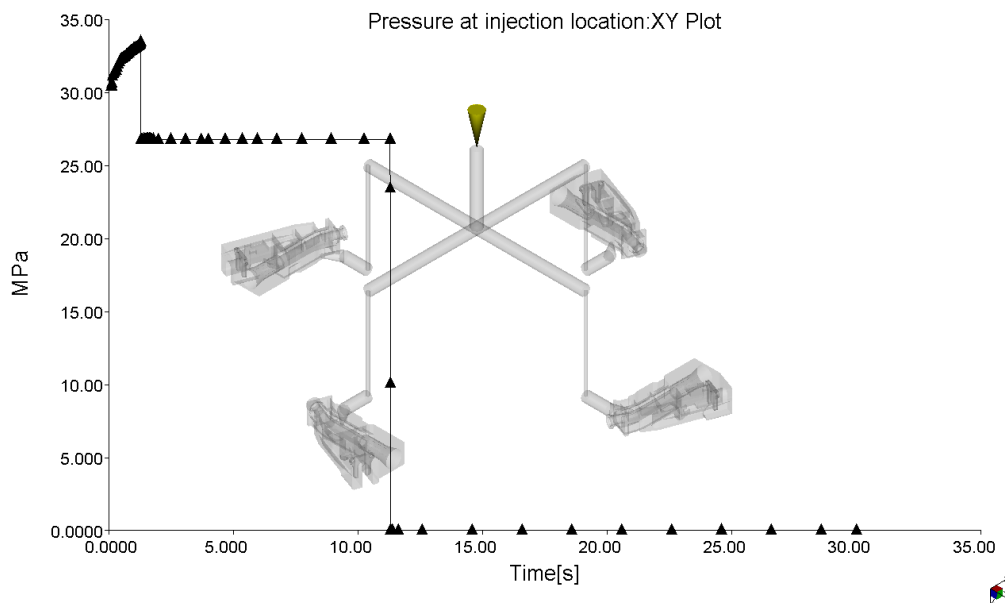
Následující obrázek znázorňuje čas, který je potřebný k zaplnění dutiny formy polymerní taveninou, podobně jakou u předešlé analýzy byl nastaven referenční čas, ke kterému se měl výpočet přiblížit. Tento čas byl 2 s. Při použití čtyř horkých trysek a rozvodného bloku je celkový čas 1,5 s.



Obr 90 Čas plnění (Fill time)

11.3 Průběh vstřikovacího tlaku (Pressure at injection location)

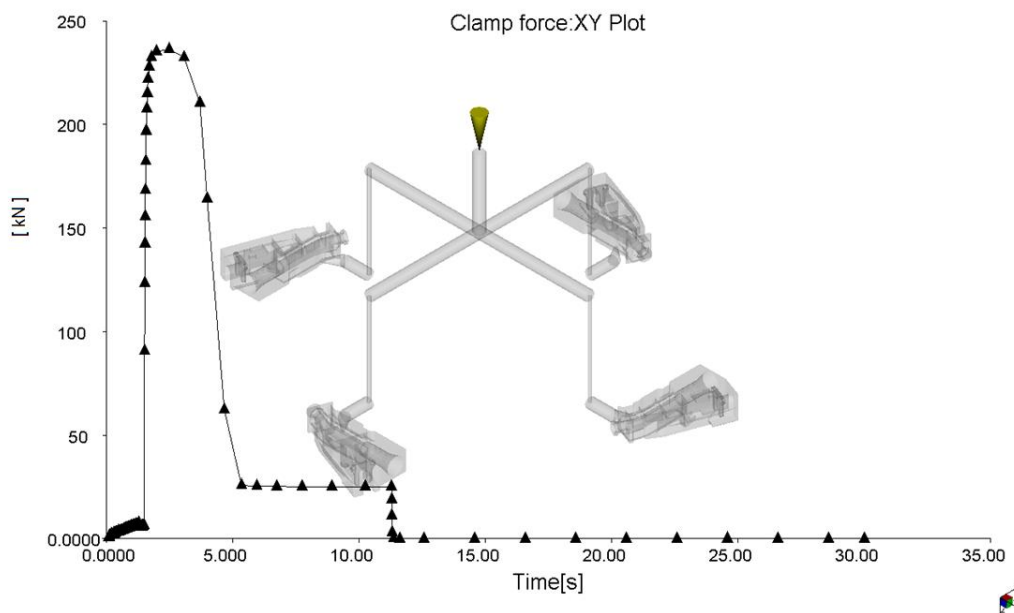
Průběh tlaků je podobný, jako u řešení SVS, jen je výrazně větší z důvodu delší a složitější tokové dráhy. Opět v první části dochází k prudkému navýšení do maximální hodnoty 33,4 MPa. V tomto bodě končí fáze vstřikování a dochází k přepnutí na dotlak. Tlak mírně poklesne a dochází k doplňování a kompresy taveniny do dutiny formy. Poté tlak klesá na nulovou hodnotu a začíná fáze chlazení.



Obr. 91 Průběh vstřikovacího tlaku (Pressure at injection location)

11.3.1 Uzavírací síla (Clam force)

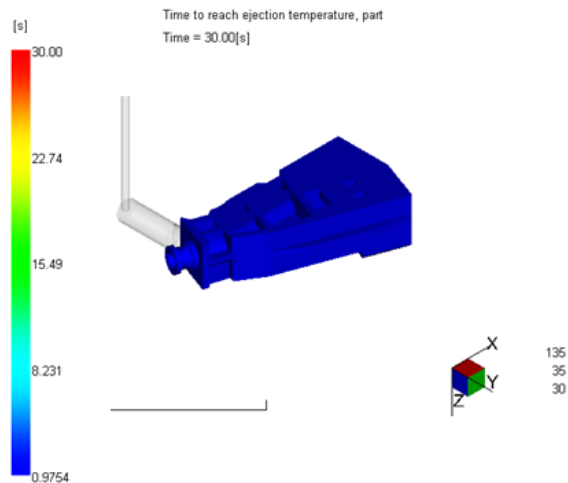
Průběh uzavírací síly je také velmi podobný průběhu uzavírací síly u SVS, jen v důsledku vyššího vstřikovacího tlaku je i zapotřebí vyšší uzavírací síly. Uzavírací síla závisí na velikosti vstřikovacího tlaku její maximální hodnota je 235 kN. Maximální uzavírací síla, kterou je možno vyvinout vstřikovacím strojem je 2 000 kN. Je k dispozici velká rezerva.



Obr. 92 Uzavírací síla (Clam force)

11.3.2 Čas vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

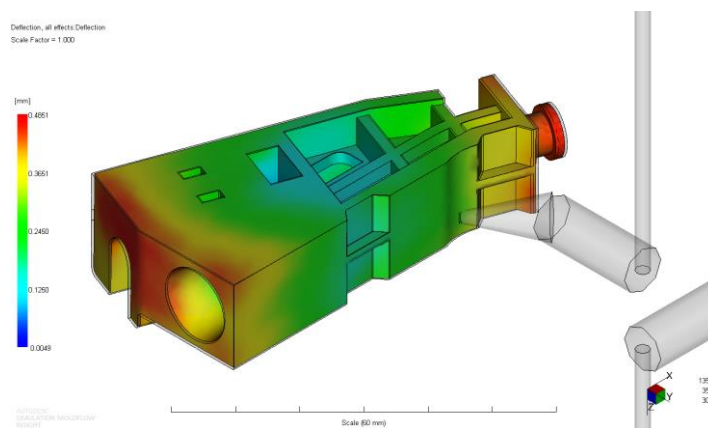
Čas ochlazení na vyhazovací teplotu je totožný s časem u SVS a to z důvodů, že byly použity totožné temperační okruhy. Avšak i v tomto případě můžeme celkovou dobu chlazení zkrátit více jak o polovinu. Bude dostatečné, pokud budou ochlazeny na vyhazovací teplotu části pod vyhazovači a zbytek výstřiku dochládne na vzduchu.



Obr. 93 Čas vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)

11.3.3 Celková deformace (Deflection, all effects: deflection)

Z důvodů totožných temperačních okruhů, totožného místa ústí a podobným technologickým podmínkám se celková deformace příliš neliší od deformace SVS celková deformace od působících vlivů, smrštění materiálu, a vlivu teploty je 0,48 mm. Tato hodnota je vztažená k centrálnímu souřadnému systému modelu. Aby bylo docíleno zachování rozměrů výrobku, měla by být dutina formy o tuto hodnotu smrštění zvětšena.



Obr. 94 Celková deformace (Deflection, all effects: deflection)

11.4 Porovnání výsledků

Tab. 5 Porovnání výsledků z analýz

	SVS	HVS
Čas plnění	2s	1,5s
Maximální vstřikovací tlak	14,8 MPa	33,4 MPa
Uzavírací síla	137 kN	235 kN
Rychlost smykové deformace	18 500 1/s	18 500 1/s
Studené spoje	totožné	totožné
Teplota temperačního média	totožná	totožná
Doba chlazení	30s	30s
Teplota insertu po 30s	160°C	160°C
Rozdíl pořizovacích nákladů	1 000 Kč	130 000 Kč
Spotřeba materiálu na 1 cyklus	120g	90g

11.5 Diskuze výsledku

Čas, který je potřebný k zaplnění dutiny formy označovaný jako čas plnění. Bývá zpravidla nejkratší část vstřikovacího cyklu a rozdíl mezi SVS a HVS je v zásadě zanedbatelný.

Rozdíl mezi vstřikovacím tlakem už ovšem poukazuje na velké rozdíly, mezi SVS a HVS. HVS má oproti SVS delší, průměrově rozmanitější, a složitější tokové trajektorie a proto je k dopravě taveniny do dutiny formy zapotřebí použít výrazně vyšších tlaků.

U uzavírací síly je tomu velmi podobně. Uzavírací síla je přímo závislá na velikosti maximálního vstřikovacího tlaku, a proto pokud poroste vstřikovací tlak, musí růst lineárně i uzavírací síla, aby nedocházelo k pootevření formy a tím nežádoucím dějům (přetokům).

Vzhledem k tomu že byly u obou variant totožné temperační okruhy, i v toková ústí, vychází z analýz řada výsledků shodně. Maximální rychlost smykové deformace je ve vtokovém ústí, které bylo již v předchozích výpočtech optimalizováno tak, aby zde nedocházelo k příliš vysokému smykovému namáhání. Vzhledem ke stejnému proudění taveniny v dutině formy dochází ke stejnému zaplňování, a tím i k vytvoření totožných studených spojů u obou variant. Délka chlazení na vyhazovací teplotu je také totožná.

Zásadním rozdílem je ovšem spotřeba materiálu na jeden cyklus což při velkých sériích umožňuje značnou úsporu na materiálu, a tím i na celkových nákladech na cenu jednoho dílu. Byl proveden ekonomický rozbor.

12 EKONOMICKÝ ROZBOR

Vstupní parametry k ekonomickému rozboru:

Délka cyklu je zde vysoká a to z přídatku 10s na operaci s formou. Umístění kovo-
vého zástřiku a následná kontrola upnutí uvnitř formy.

Tab. 6 Vstupní parametry rozvahy

Studený vtokový systém			Horký vtokový systém		
Délka 1 cyklu	40	s	Délka 1 cyklu	40	s
Počet kusu za hodinu	160	Ks/h	Počet kusu za hodinu	160	ks
Celková hmotnost v.	120	g	Celková hmotnost v.	90	g
Čistá hmotnost v.	84	g	Čistá hmotnost v.	84	g
Hmotnost odpadu	36	g	Hmotnost odpadu	6	g
Požizovací cena trysky	1 000	Kč	Požizovací cena trysek	85 000	Kč
			Rozvodný blok	43 500	Kč
Cena materiálu	120	Kč/kg	Spotřeba energie	1200	W
Cena energie 1kWh	4,64	Kč			

12.1 Vzorový příklad výpočtu

Pro výpočet je předpokládán nepřetržitý provoz.

Vzorový výpočet je prezentován pro požadované množství 10 000 ks výstřiků, což je 2500 cyklů.

12.1.1 Výpočet celkového počtu hodin pro SVS pro dané množství

Celkový čas spočítáme jako počet cyklů lomeno počtem kusu za jednu hodinu:

$$P_C = 10\,000ks$$

$$P_{k/h} = 360ks/h$$

$$t_c = \frac{P_C}{P_{k/h}} \quad (7.0)$$

$$t_c = \frac{10\,000}{360} = 27,7\,h \quad (7.1)$$

12.1.2 Výpočet spotřeby materiálu pro dané množství

Hmotnost materiálu se stanoví jako hmotnost výstřiků krát počet cyklů:

$$m_C = 120 \text{ g}$$

$$P_{\text{Cyklů}} = 2500 \text{ ks}$$

$$m = m_C \cdot P_C \quad (8.0)$$

$$m = \frac{120 \cdot 2500}{1000} = 300 \text{ kg} \quad (8.1)$$

12.1.3 Výpočet hmotnosti odpadu

Hmotnost odpadu je stanovena jako hmotnost materiálů na jeden cyklus minus čistá hmotnost výstřiku krát počet cyklu:

$$m_C = 120 \text{ g}$$

$$P_C = 2500 \text{ ks}$$

$$m_V = 84 \text{ g}$$

$$m_O = (m_C - m_V) \cdot P_C \quad (9.0)$$

$$m_O = \frac{(120 - 84) \cdot 2500}{1000} = 90 \text{ kg} \quad (9.1)$$

12.1.4 Výpočet nákladu na materiál pro výrobu

Náklady jsou stanoveny jako spotřebu materiálu na výrobu krát cenu materiálu:

$$C = 120 \text{ Kč/kg}$$

$$N = m \cdot C \quad (10.0)$$

$$N = 300 \cdot 120 = 36\,000 \text{ Kč} \quad (10.1)$$

12.1.5 Pro výpočet VVS se použilo totožných vztahů + energetická náročnost

Náklady na energetickou náročnost:

$$\text{Cena } 1 \text{ kWh je v průměru } E = 4,64 \text{ Kč}$$

$$W = 1,2 \text{ kW}$$

$$N_E = t_C \cdot W \cdot E \quad (11.0)$$

$$N_E = 27,7 \cdot 1,2 \cdot 4,64 = 154,2 \text{ Kč} \quad (11.1)$$

12.2 Ekonomický rozbor – porovnání výsledků

Tab.7 Ekonomický rozbor studeného vtokového systému

Počet kusů (ks)	Počet cyklu (cyklu)	SVS náklady (Kč)	Celkové náklady (Kč)	nevýhodnost výhodnost Kč
10 000	2500	10 800 Kč	130 455 Kč	-119 655 Kč
20 000	5000	21 600 Kč	132 410 Kč	-110 810 Kč
30 000	7500	32 400 Kč	134 365 Kč	-101 965 Kč
40 000	10000	43 200 Kč	136 320 Kč	-93 120 Kč
50 000	12500	54 000 Kč	138 275 Kč	-84 275 Kč
60 000	15000	64 800 Kč	140 230 Kč	-75 430 Kč
70 000	17500	75 600 Kč	142 185 Kč	-66 585 Kč
80 000	20000	86 400 Kč	144 140 Kč	-57 740 Kč
90 000	22500	97 200 Kč	146 095 Kč	-48 895 Kč
100 000	25000	108 000 Kč	148 050 Kč	-40 050 Kč
110 000	27500	118 800 Kč	150 005 Kč	-31 205 Kč
120 000	30000	129 600 Kč	151 960 Kč	-22 360 Kč
130 000	32500	140 400 Kč	153 915 Kč	-13 515 Kč
140 000	35000	151 200 Kč	155 870 Kč	-4 670 Kč
150 000	37500	162 000 Kč	157 825 Kč	4 175 Kč
160 000	40000	172 800 Kč	159 780 Kč	13 020 Kč
170 000	42500	183 600 Kč	161 735 Kč	21 865 Kč
180 000	45000	194 400 Kč	163 690 Kč	30 710 Kč
190 000	47500	205 200 Kč	165 645 Kč	39 555 Kč
200 000	50000	216 000 Kč	167 600 Kč	48 400 Kč
210 000	52500	226 800 Kč	169 555 Kč	57 245 Kč
220 000	55000	237 600 Kč	171 510 Kč	66 090 Kč
230 000	57500	248 400 Kč	173 465 Kč	74 935 Kč
240 000	60000	259 200 Kč	175 420 Kč	83 780 Kč
250 000	62500	270 000 Kč	177 375 Kč	92 625 Kč
260 000	65000	280 800 Kč	179 330 Kč	101 470 Kč
270 000	67500	291 600 Kč	181 285 Kč	110 315 Kč
280 000	70000	302 400 Kč	183 240 Kč	119 160 Kč
290 000	72500	313 200 Kč	185 195 Kč	128 005 Kč
300 000	75000	324 000 Kč	187 150 Kč	136 850 Kč
310 000	77500	334 800 Kč	189 105 Kč	145 695 Kč
500 000	125000	540 000 Kč	226 250 Kč	313 750 Kč

12.3 Porovnání výsledků

V ekonomickém rozboru byly porovnány: varianta vstřikovací formy se studeným vtokovým systémem a varianta formy z horkým vtokovým systémem z pohledu celkových ekonomických nákladů

Pro malosériovou výrobu 10 000 – 140 000 výrobků je z ekonomického hlediska vhodné pro konstrukci vstřikovací formy využít variantu se studeným vtokovým systémem. Z ekonomického hlediska jsou ztráty na materiálu pořád nižší než pořizovací náklady na horký vtokový systém.

Pro sériovou výrobu nad 150 000 výrobků což je 37 500 cyklů by bylo vhodné použít formu s horkým vtokovým systémem. Z hlediska odpadu je tento objem zakázky mezním stavem pro výhodnost horkého vtokového systému. Při tomto počtu dojde k vyrovnání pořizovacích nákladů na vyhřívaný systém a také minimální úspoře na materiálu

Při použití formy s konstrukcí HVS dochází k úspoře materiálu 30g na jeden vstřikovací cyklus což je 25% při velkých sériích dochází již k značné úspoře materiálu.

Pro velkosériovou výrobu 500 000 kusů výrobku což je 125 000 cyklů a použití formy s HVS by docházelo k značným finančním úsporám na materiálu, a tím by se snížily celkové náklady na výrobu zakázky čili i cena jednoho dílu.

Všechna tvrzení, která jsou zde uvedena, jsou teoretické pro konkrétní případ výroby zadaného dílu a demonstruje je předchozí tabulka. Poukazuje zejména na materiálovo-finanční úsporu.

13 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí vstřikovací formy pro zadaný technický díl. Teoretická část diplomové práce pojednává o technologii tváření polymerních materiálu metodou vstřikování, jsou zde shrnuty materiály vhodné pro zpracování touto metodou a jejich základní fyzikální a chemické vlastnosti. Technologie vstřikování je cyklický proces, který je zde podrobně popsán. Dále jsou zde shrnuty základní reologické vlastnosti newtonských a neneutronských tekutin, které jsou rozděleny dle chování během toku. Velká část je věnována chování polymerní taveniny během procesu vstřikování a to zejména ideálnímu toku i základním negativním jevům. Vstřikování probíhá na vstřikovacím stroji. Také jsou zde shrnuty speciální technologie vstřikování. Velká kapitola je věnována konstrukci vstřikovacích forem, kde jsou popsány zásady, které je nutno dodržovat.

V praktické části diplomové práce, je specifikován technický díl, dle kterého byly následně vytvořeny tvarové vložky, a jádra bočních dutin, následně byl navrhnout systém, pomocí kterého docházelo k odformování bočních dělicích rovin. V tuto chvíli se konstrukční práce začala proplétat s CAE analýzami. Konkrétně analýzou umístění vtokového ústí, díky které vznikla koncepce rozmístění tvarových dutin a vtokového systému, který je kvůli pohyblivým částem uvnitř formy rozlehlý. Následně byly tvarové vložky a systémy odformování bočních dělicích rovin umístěny v kotevních deskách vstřikovací formy. Vstřikovací forma je zde detailně popsána a znázorněna řezy. Byla proveden volba materiálu výrobku a dle výpočtů a klasifikovaného odhadu byl zvolen vstřikovací stroj. Následně byl vytvořen model v programu Moldflow, který co nejpřesněji odpovídá předchozímu konstrukčnímu řešení. Poté byl tento model podroben tokovým analýzám a vyhodnocen. Jako první byla provedena implicitní analýza, pomocí které docházelo k postupné optimalizaci jak procesních parametrů, tak tokových kanálů a především rozměrů vtokových ústí. Také byla zpracována alternativní analýza pro horký vtokový systém a porovnána s analýzou pro studený vtokový systém. V závěru této práce byl proveden ekonomický rozbor, který poukazuje na výhodnost a návratnost použitých řešení při různých velikostech sérii výroby.

Konstrukční řešení vstřikovací formy je z mechanického hlediska plně funkční, z reologického hlediska je model podpořen tokovými analýzami, které se jeví jako vyhovující. Také následná úprava formy na horký rozvodný systém by byla možná. Ovšem výhodnost konstrukční řešení by se měla stanovit z velikosti poptávané zakázky.

- [1] TOMIS, František. Gumárenská a plastikářská technologie: Zpracovatelské procesy. 2. přepr.vyd. Brno: VUT, 1987, 289 s. ISBN gumárenská a plastikářská technologie.
- [2] Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie, oddělení tváření plastů.[online].[cit.2013-01-13].Dostupné:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [3] Jan Kašník / DIXI: výroba plastových obalů [online]. [cit. 2013-01-13]. Dostupné z: <http://www.dixi.cz/technologie.html>
- [4] Konstrukce forem: Ing. Michal Staněk, Ph.D. Zlín, 2012/2013. T5KF. Přednášky. Univerzita Tomáše Bati..
- [5] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů. 2. vyd. - Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [6] Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie, oddělení tváření plastů.[online].[cit.2013-01-13].Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [7] Vysoké učení technické v Brně: Ústav strojírenské technologie. [online]. [cit. 2013-01-13].Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn__tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf.
- [8] TOMIS, František a František RULÍK. Gumárenské a plastikářské stroje II. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1981, 399 s..
- [9] NEUHAUSL,E. Vstřikování plastických hmot. PRAHA SNTL 1973.206.s,
- [10] T5KO - SEMINÁŘ.
- [11] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů. 1. vyd. - Brno: UNIPLAST, 1999. 214 s.
- [12] Hasco [online]. [cit. 2013-11-15]. Dostupný z WWW: <http://hasco.com>
- [13] AUTODESK. Inventor [online]. [cit.2013-04-30]. Dostupné z :
<http://www.autodesk.com/products/autodesk-inventor-family/features>
- [14] TechnoCentrum CAD s.r.o. [online]. [cit. 12.3.2004]. Dostupné na World Wide Web : < <http://www.tccad.cz/cz/produkty/produkty.php?page=manually> >.

- [15] MORRISON, Faith A. Understanding Rheology. New York: Oxford University Press, 2001. 545 s. ISBN 0-19-514166-0.
- [16] Internetový portál ústavu fyziky a materiálového inženýrství, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická [online studijní materiály]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, [cit. 2013-11-02]. Plný text je dostupný z <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_pol/FP_01.pdf>
- [17] Internetový portál ústavu fyziky a materiálového inženýrství, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, fakulta technologická [online studijní materiály]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, [cit. 2013-11-05]. Plný text je dostupný z <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_pol/FP_02.pdf>
- [18] Viskozita tekutin a její měření [elektronická skripta]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2010, [cit. 2013-11-05]. Plný text je dostupný z <<http://www.338.vsb.cz/PDF/TEXTviskozitaPDF.pdf>>
- [19] NEUHÄusl, Ing. Emil. Vady výstřiků – 1.díl: Příčiny vzniku vad a studené spoje. MM průmyslové spektrum. Roč. 2010,č.3, s. 58. DOI: 100307
- [20] LENFELD, Doc. Dr. Ing. Petr. Speciální způsoby vstřikování plastů [online]. Technická univerzita v Liberci: Katedra strojírenské technologie tváření kovů a plastů [cit. 2015-02-01]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/05.htm

Seznam použitých symbolů a zkratek

CAD Computer aided design (Počítačová podpora konstrukce)

T _m	Teplota tání
T _f	Teplota viskózního toku
T _g	Teplota skelného přechodu
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PA	Polyamid
PTFE	Polytetrafluorethylen
POM	Polyoximethylen
M	Zdvihová hmotnost plastu
G	Hmotnost vstříku
A	Hmotnost vtokových kanálů
n	Násobnost formy
$\frac{\alpha_x}{\alpha_p}$	Podíl poměrových hodnot z určeného plastu k polystyrenu
V	Objem
ρ	Hustota
F	Uzavírací síla v dělicí rovině
F'	Uzavírací síla vstřikovacího stroje
S	Průmět plochy výstříku do dělicí roviny, včetně rozvodných kanálů
P _v	Tlak plastu v dutině formy
k	Koeficient tekutosti
P _c	Počet cyklů
P _{k/h}	Počet kusů v hodině
t _c	Počet hodin
m _c	Celková hmotnost výstříku

m_v	Čistá hmotnost výstřiku
m_o	Hmotnost odpadu
m	Hmotnost materialu
C	Cena materiálu
N	Náklady na danou výrobu
SVS	Studený vtokový systém
VVS	Vyhřívaný vtokový systém
N_E	Náklady na energie
W	Výkon trysky
E	Ceny energie

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr.1 Schéma vstřikovacího stroje [3] B</i>	14
<i>Obr.2 Struktura amorfního polymeru [3]</i>	16
<i>Obr.3 Zpracovatelská oblast amorfních polymerů [5]</i>	16
<i>Obr.4 Struktura semikrystalického polymeru [3]</i>	17
<i>Obr.5 Zpracovatelská oblast semikrystalických polymerů [5]</i>	17
<i>Obr.6 Struktura reaktoplastu [3]</i>	18
<i>Obr.7 Struktura elastomeru [3]</i>	19
<i>Obr. 8 Vstřikovací cyklus [1]</i>	21
<i>Obr.9 Diagram $p$$v$$T$ vstřikovací cyklus [4]</i>	22
<i>Obr. 10 Diagram tlaku během vstřikovacího cyklu [4]</i>	23
<i>Obr.11 Toková křivka polyethylenu (závislost rychlosti smykové deformace na viskozitě, a závislost rychlosti elongační deformace na elongační viskozitě</i> ...	25
<i>Obr. 12 Závislost rychlosti smykové deformace na viskozitě</i>	26
<i>Ob. 13 Pracovní diagram vstřikovacího stroje</i>	28
<i>Obr. 14 Charakter fondánového toku</i>	29
<i>Obr. 15 Vliv viskozity na tvar čela proudu taveniny</i>	30
<i>Obr. 16 Viditelná stopa studeného spoje na transparentním materiálu [19]</i>	31
<i>Obr. 17 fontánový tok vs. Jetting</i>	31
<i>Obr.18 Schéma vstřikovacího stroje [9]</i>	33
<i>Obr. 19 Plastikační jednotka s bariérovou šroubovicí (Maileferův šnek) [20]</i>	34
<i>Obr.20 Dosednutí trysky stroje na trysku formy [5]</i>	35
<i>Obr. 21 Uzavírací jednotka vstřikovacího stroje</i>	35
<i>Obr. 22 řídicí jednotka vstřikovacího stroje [13]</i>	36
<i>Obr. 23 metoda GIT – krátký vstřik</i>	37
<i>Obr. 24 metoda GIT – dlouhá vstřik</i>	38
<i>Obr. 25 Varianty přívodu plynu a) přívod tryskou, b) přívod jehlou injektoru</i>	39
<i>Obr. 26 Princip WIT technologie – krátký vstřik</i>	40
<i>Obr. 27 Vliv viskozity materiálu a jádra na zapouzdření složek</i>	41
<i>Obr. 28 Princip sendvičového vstřikování – třístupňový proces</i>	42
<i>Obr. 29 princip dvoukomponentního vstřikování</i>	42
<i>Obr. 30 Princip tříkomponentního vstřikování</i>	43
<i>Obr. 31 Princip čtyřkomponentního vstřikování</i>	43

<i>Obr. 32</i>	<i>Koncepce vstřikovací jednotky u mramorového vstřikování</i>	45
<i>Obr. 33</i>	<i>příklady výroby použití technologie PIM</i>	45
<i>Obr. 34</i>	<i>princip metody CIM</i>	46
<i>Obr. 35</i>	<i>Princip tandemového vstřikování</i>	47
<i>Obr. 36</i>	<i>Princip zastříkávání textilií</i>	48
<i>Obr. 37</i>	<i>Řez vstřikovací formou</i>	49
<i>Obr.38</i>	<i>Pravá strana formy se studeným vtokovým systémem</i>	52
<i>Obr.39</i>	<i>Příklady vyvážených vtokových systému [11]</i>	53
<i>Obr. 40</i>	<i>Průřez vtokových kanálů [11]</i>	54
<i>Obr. 41</i>	<i>Části vtokového systému[11]</i>	55
<i>Obr.42</i>	<i>Příklad rozvodných bloků [12]</i>	56
<i>Obr.43</i>	<i>Vyhřívavý blok ve formě [12]</i>	56
<i>Obr.44</i>	<i>Válcový vyhazovač [12]</i>	57
<i>Obr. 45</i>	<i>Rozstřel sestavy komponentů šikmého čepu</i>	58
<i>Obr. 46</i>	<i>Řez části vstřikovací formy s šikmým čepem</i>	59
<i>Obr.47</i>	<i>Trubkový vyhazovač bez jádra [12]</i>	60
<i>Obr.48</i>	<i>Přidržovač vtoku [11]</i>	60
<i>Obr.49</i>	<i>Ukázka konstrukčních řešení temperančních kanálů [11]</i>	62
<i>Obr. 50</i>	<i>Vstřikovaný díl (rozměry 76mm x 37mm x 20 mm)</i>	68
<i>Obr. 51</i>	<i>Hlavní dělicí rovina</i>	68
<i>Obr. 52</i>	<i>Tvarová jádra</i>	69
<i>Obr. 53</i>	<i>Tvarové vložky</i>	69
<i>Obr. 54</i>	<i>Základní specifikace ejektoru</i>	70
<i>Obr. 55</i>	<i>upevnění kovového zástříku</i>	70
<i>Obr. 56</i>	<i>Pojištění kovového zástříku</i>	71
<i>Obr. 57</i>	<i>Tvarové vložky (uzavřeno)</i>	71
<i>Obr. 58</i>	<i>Tvarové vložky (otevřeno)</i>	72
<i>Obr. 59</i>	<i>Rozmístění výrobků formy</i>	73
<i>Obr. 60</i>	<i>Řez vstřikovací formou Rozměr formy je 445mm x 545 x 276mm</i>	74
<i>Obr. 61</i>	<i>Pravá strana formy (vodící a upínací prvky)</i>	75
<i>Obr. 62</i>	<i>Pravá strana formy (funkční prvky)</i>	76
<i>Obr. 63</i>	<i>Strana vyhazovače (vodící a upínací prvky)</i>	77
<i>Obr. 64</i>	<i>Strana vyhazovače (tvarové a pohyblivé prvky)</i>	78

<i>Obr. 65 Vyhazovací systém (válcové vyhazovače)</i>	79
<i>Obr. 66 Typy použitých vyhazovačů</i>	80
<i>Obr. 67 Funkce šikmého čepu (uzavřená forma)</i>	80
<i>Obr. 68 Funkce šikmého čepu (otevřená forma)</i>	80
<i>Obr. 69 Funkce vyhazovacího systému (uzavřená forma)</i>	81
<i>Obr. 70 Funkce vyhazovacího systému (otevřená forma)</i>	81
<i>Obr. 71 Temperační systém (kotevní deska pravá)</i>	82
<i>Obr. 72 Temperační systém (kotevní deska levá)</i>	83
<i>Obr. 73 Studený vtokový systém</i>	84
<i>Obr. 74 Horký rozvodný systém</i>	84
<i>Obr. 75 Toková křivka Ultramid A3EG6</i>	85
<i>Obr. 76 Volba vstřikovacího stroje</i>	88
<i>Obr. 77 Zvolený vstřikovací stroj</i>	88
<i>Obr. 78 Vhodnost plnění (Best gate location)</i>	89
<i>Obr. 79 Čas plnění (Fill time)</i>	90
<i>Obr. 80 Průběh vstřikovacího tlaku ve vtoku (Pressure at injection)</i>	91
<i>Obr. 81 Uzavírací síla (Clam force)</i>	91
<i>Obr. 82 Vzduchové kapsy (Air traps)</i>	92
<i>Obr. 83 Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)</i>	92
<i>Obr. 84 Rychlost smykové deformace (Shear rate, bulk)</i>	93
<i>Obr. 85 Studené spoje (Weld lines)</i>	94
<i>Obr. 86 Teplota temperačního média (Circuit coolant temperature)</i>	95
<i>Obr. 87 Čas k dosažení vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)</i> ...	95
<i>Obr. 88 Teplota kovového zástříku při vyhození (Temperature, part insert)</i>	96
<i>Obr. 89 Celková deformace (Deflection, all effects: deflection)</i>	96
<i>Obr. 90 Čas plnění (Fill time)</i>	97
<i>Obr. 91 Průběh vstřikovacího tlaku (Pressure at injection location)</i>	98
<i>Obr. 92 Uzavírací síla (Clam force)</i>	98
<i>Obr. 93 Čas vyhazovací teploty (Time to reach ejection temperature)</i>	99
<i>Obr. 94 Celková deformace (Deflection, all effects: deflection)</i>	99

SEZNAM TABULEK

<i>Tab.1 Zpracovatelské vlastnosti některých polymerů [6].....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 2 Vybrané vlastnosti zvoleného materiálu.....</i>	<i>85</i>
<i>Tab. 3 Rozměry studeného vtokového systému.....</i>	<i>89</i>
<i>Tab. 4 Rozměry horkého vtokového systému.....</i>	<i>97</i>
<i>Tab. 5 Porovnání výsledků z analýz.....</i>	<i>100</i>
<i>Tab. 6 Vstupní parametry rozvahy.....</i>	<i>101</i>
<i>Tab.7 Ekonomický rozbor studeného vtokového systémů.....</i>	<i>103</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I.: Katalogový list

Příloha P II.: Vstříkovací forma

Příloha P III.: Strana vyhazovače

Příloha P IV.: Strana trysky

Příloha P V.: Vyhazovací systém

Příloha P VI.: Výkresová dokumentace :

- ŘEZ VSTŘIKOVACÍ FORMOU
- STRANA TRYSKY
- STRANA VYHAZOVAČE
- KUSOVNÍK

Příloha P I

Product Information

Apr 2015

Ultramid® A3EG6
Polyamide 66**Product Description**

Ultramid A3EG6 is a 30% glass fiber reinforced injection molding PA66 grade for machinery components and housings of high stiffness and dimensional stability.

Applications

Typical applications include such as lamp socket housings, cooling fans, insulating profiles for aluminium window frames, and electrical insulation parts.

PHYSICAL	ASTM Test Method	Property Value	
Specific Gravity	D-792	1.36	
Mold Shrinkage (1/8" bar, in/in)		0.003	
Moisture, %	D-570		
(50% RH)		1.7	
(Saturation)		5.5	
MECHANICAL	ASTM Test Method	Dry	Conditioned
Tensile Strength, Break, MPa (psi)	D-638		
23C (73F)		186 (27,000)	-
Elongation, Break, %	D-638		
23C (73F)		3	-
IMPACT	ASTM Test Method	Dry	Conditioned
Notched Izod Impact, J/M (ft-lbs/in)	D-256		
-40C (-40F)		91 (1.7)	-
23C (73F)		112 (2.1)	-
THERMAL	ASTM Test Method	Dry	Conditioned
Melting Point, C(F)	D-3418	260 (500)	-
Heat Deflection @ 264 psi (1.8 MPa) C(F)	D-648	250 (482)	-
Heat Deflection @ 66 psi (.45 MPa) C(F)	D-648	250 (482)	-
Coef. of Linear Thermal Expansion, mm/mm C (in/in F)	E-831	0.1 X 10 ⁻⁴	-
UL RATINGS	UL Test Method	Property Value	
Relative Temperature Index, 0.75mm Electrical, C	UL746B	120	
Flammability Rating, 1.5mm	UL94	HB	
Relative Temperature Index, 1.5mm Mechanical w/o Impact, C	UL746B	130	
Mechanical w/ Impact, C		120	
Electrical, C		120	
Flammability Rating, 3.0mm	UL94	HB	
Relative Temperature Index, 3.0mm Mechanical w/o Impact, C	UL746B	130	
Mechanical w/ Impact, C		120	
Electrical, C		120	
Flammability Rating, 6.0mm	UL94	HB	

Příloha P I

Ultradid® A3EG6



Relative Temperature Index, 6.0mm	UL746B		
Mechanical w/o Impact, C		130	
Mechanical w/ Impact, C		120	
Electrical, C		120	
ELECTRICAL	ASTM Test Method	Dry	Conditioned
Volume Resistivity, 1.5 mm	D-257	1E13	1E10

Processing Guidelines

Material Handling

Max. Water content: 0.15%

Product is supplied in sealed containers and drying prior to molding is not required. If drying becomes necessary, a dehumidifying or desiccant dryer operating at 80 degC (176 degF) is recommended. Drying time is dependent on moisture level, but 2-4 hours is generally sufficient. Recommended moisture levels for achieving optimum surface qualities and mechanical properties is 0.05% - 0.12%. Further information concerning safe handling procedures can be obtained from the Safety Data Sheet. Alternatively, please contact your BASF representative.

Typical Profile

Melt Temperature 280-305 degC (536-581 degF)

Mold Temperature 80-90 degC (176-194 degF)

Injection and Packing Pressure 35-125 bar (500-1500 psi)

Mold Temperatures

A mold temperature of 80-90 degC (176-194 degF) is recommended, but temperatures of as low as 45 degC (113 degF) and as high as 105 degC (221 degF) can be used where applicable.

Pressures

Injection pressure controls the filling of the part and should be applied for 90% of ram travel.

Packing pressure affects the final part and can be used effectively in controlling sink marks and shrinkage. It should be applied and maintained until the gate area is completely frozen off.

Back pressure can be utilized to provide uniform melt consistency and reduce trapped air and gas. Minimal back pressure should be utilized to prevent glass breakage.

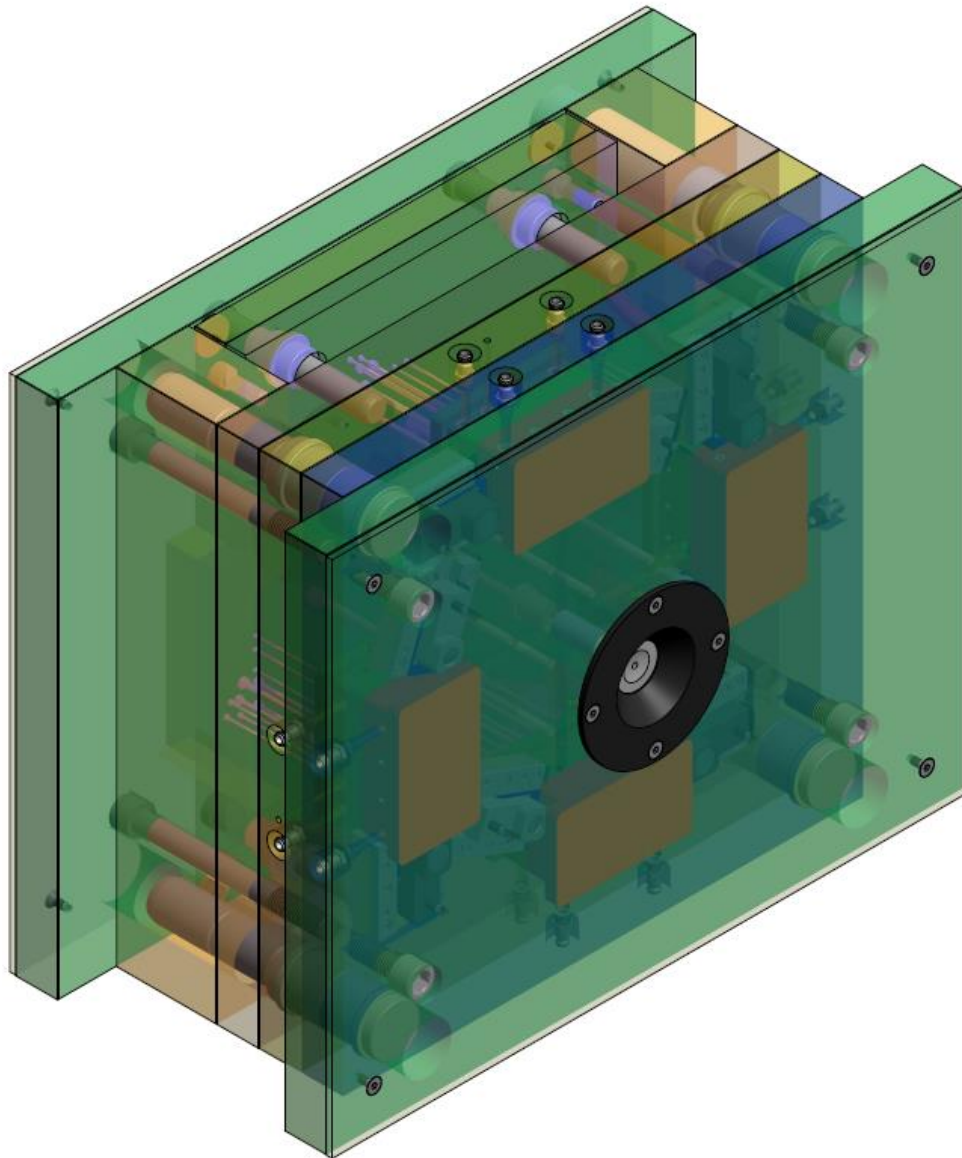
Fill Rate

Fast fill rates are recommended to ensure uniform melt delivery to the cavity and prevent premature freezing. Surface appearance is directly affected by injection rate.

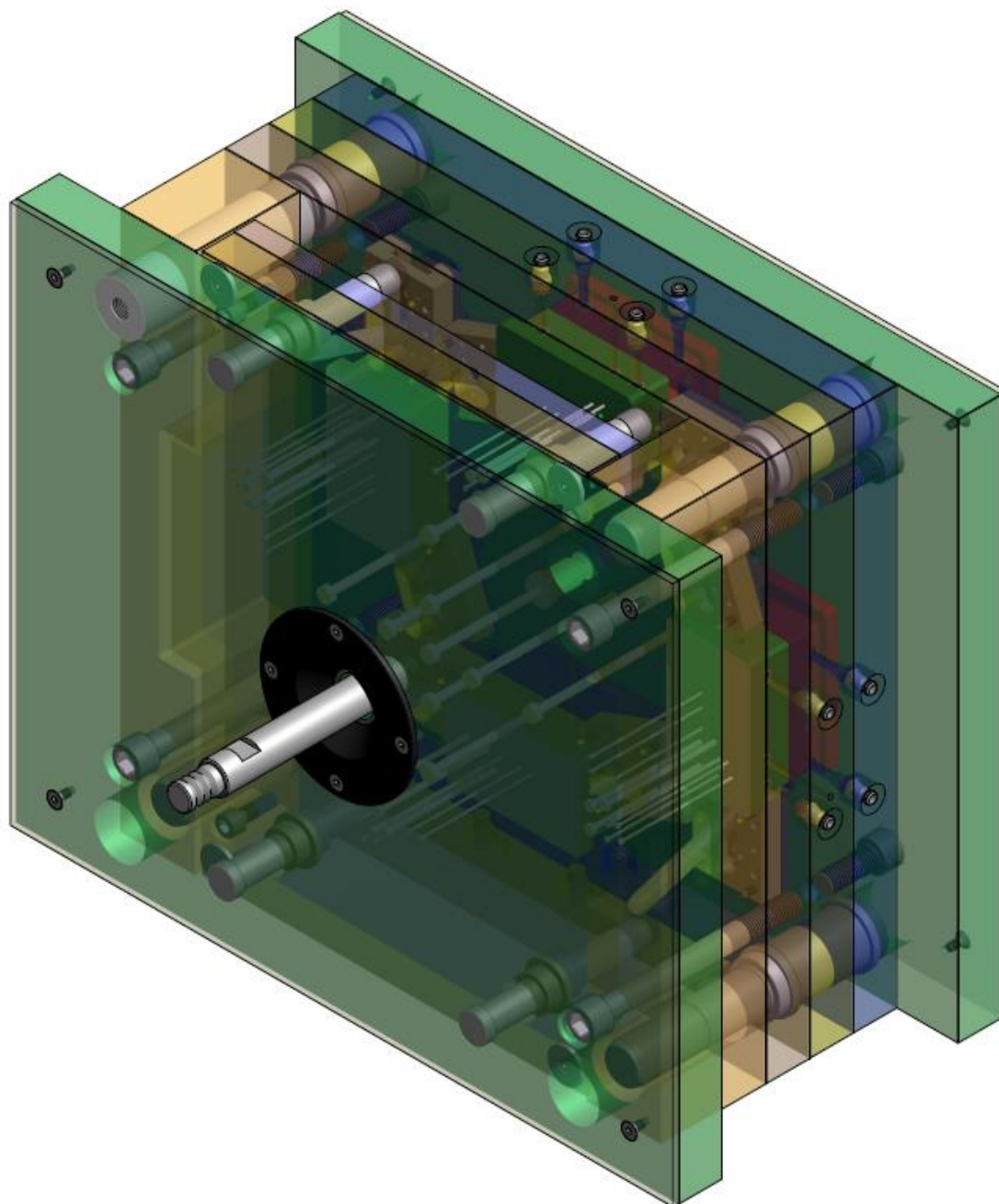
Note

Although all statements and information in this publication are believed to be accurate and reliable, they are presented gratis and for guidance only, and risks and liability for results obtained by use of the products or application of the suggestions described are assumed by the user. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH. Statements or suggestions concerning possible use of the products are made without representation or warranty that any such use is free of patent infringement and are not recommendations to infringe any patent. The user should not assume that toxicity data and safety measures are indicated or that other measures may not be required.

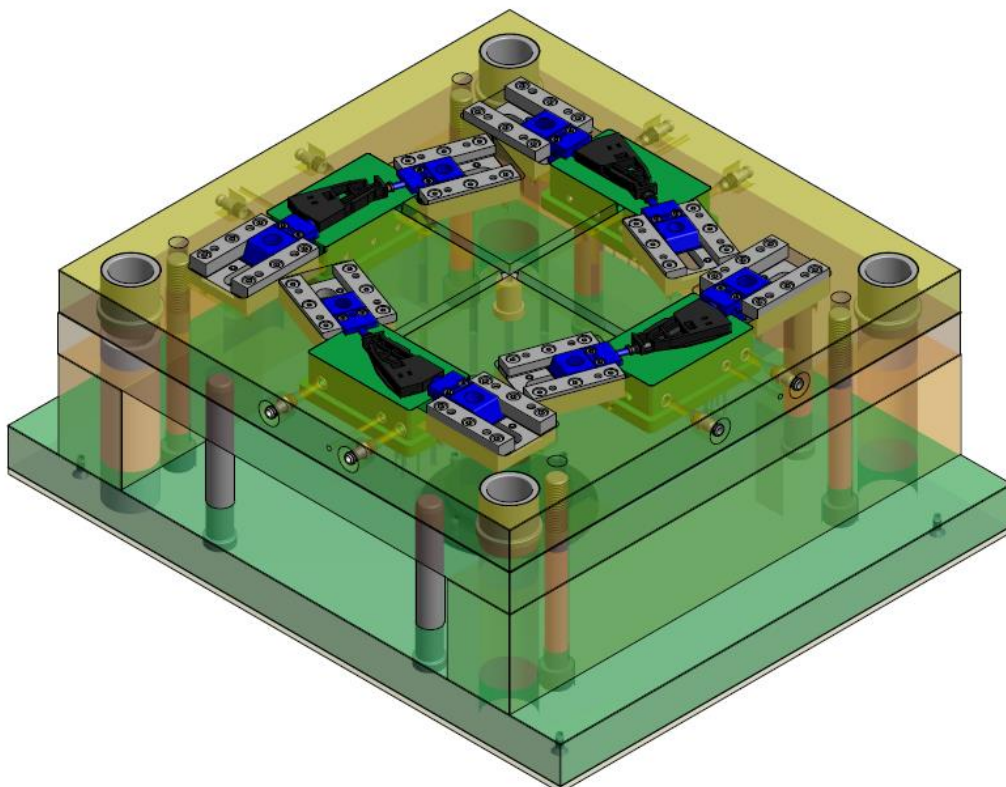
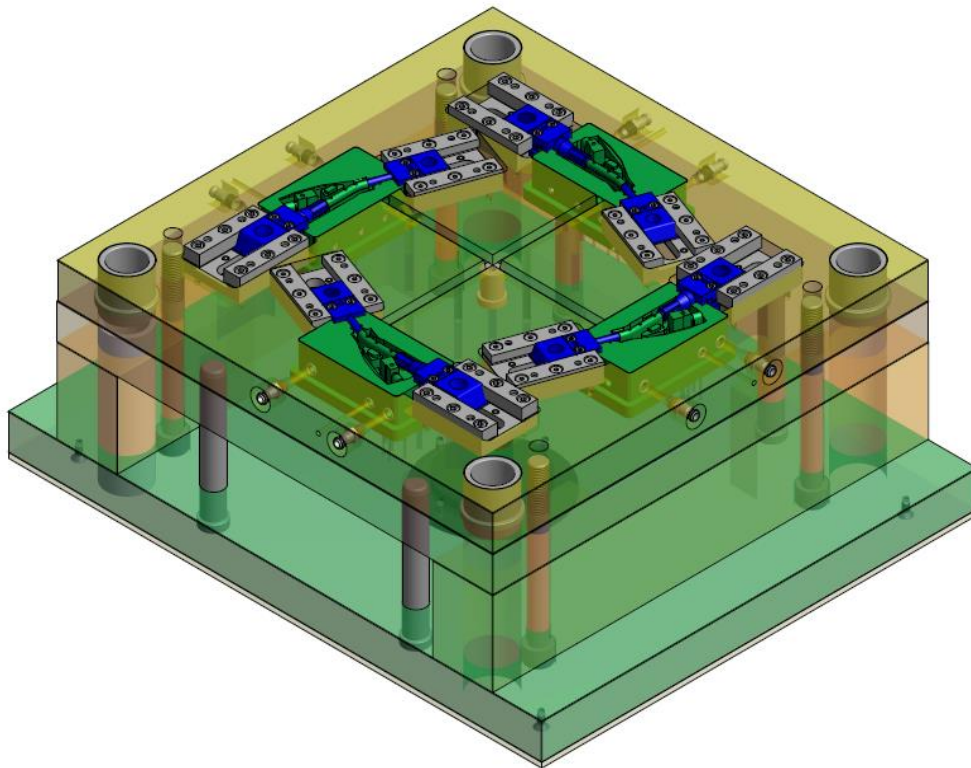
Příloha P II



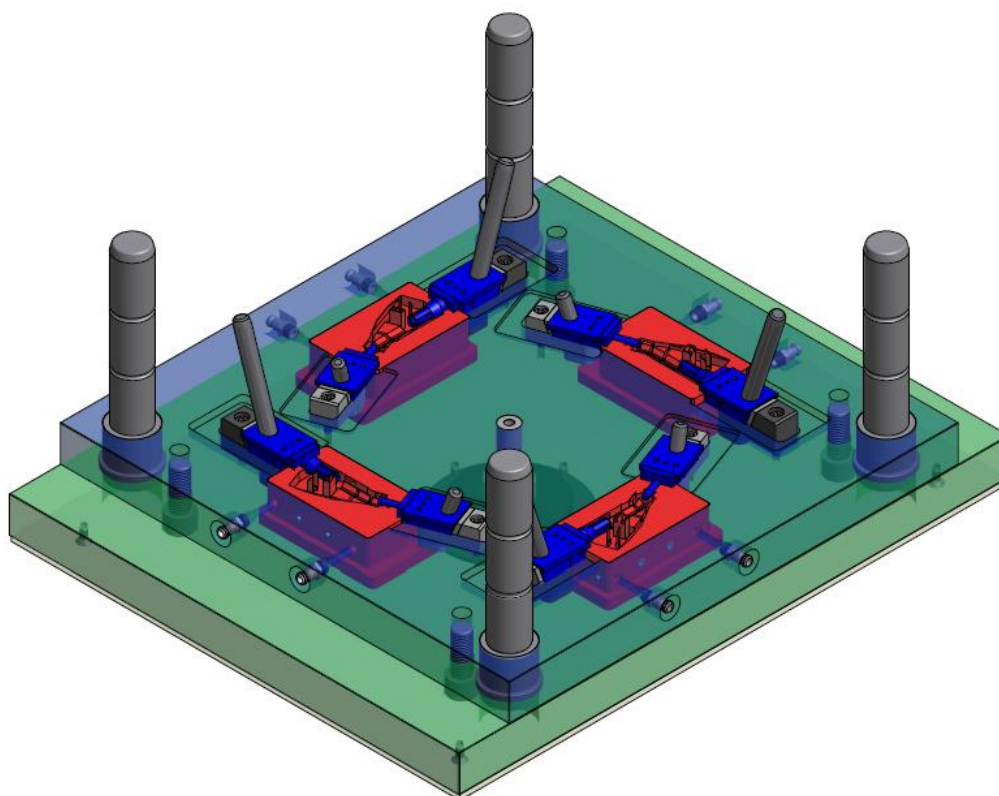
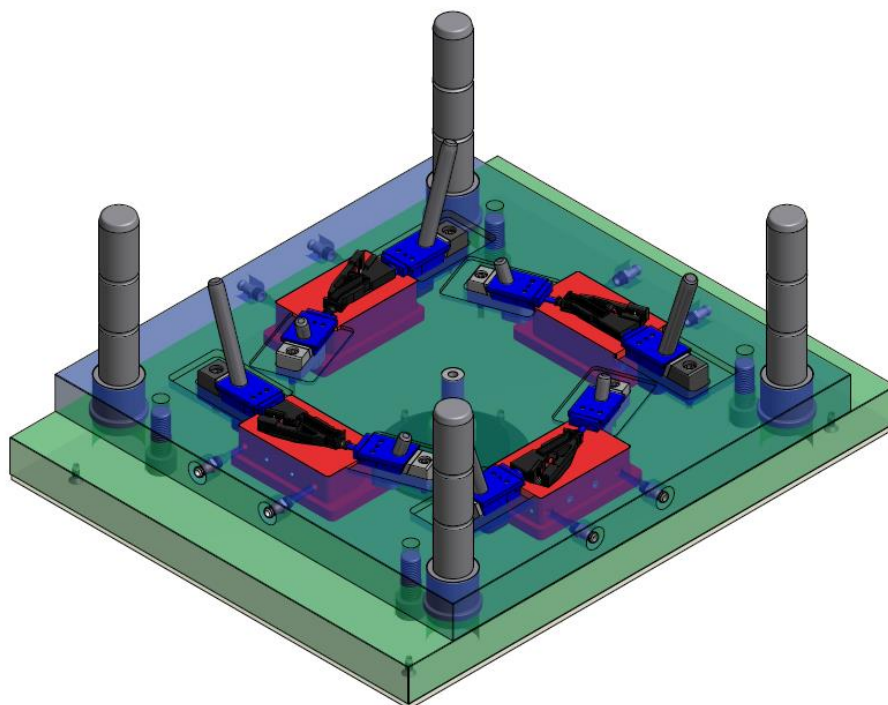
Příloha P II



Příloha P III



Příloha P IV



Příloha P V

