

Návrh konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl části automobilu.

Bc. Petr Komínek

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Komínek**
Osobní číslo: **T14517**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh konstrukce vstřikovací formy pro plastový díl části automobilu.**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu.
3. Navrhněte vstřikovací formu pro zadaný díl.
4. Nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku.
5. Proveďte analýzu procesu vstřikování v programu Moldflow.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Ovsík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **8. ledna 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2016**

Ve Zlíně dne 27. ledna 2016



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



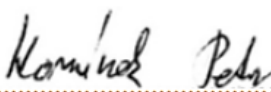
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou 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 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 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 práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové 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 13.05.2016


.....

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

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

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

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

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

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

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

Cílem této diplomové práce je návrh konstrukce vstříkovací formy pro plastový díl automobilu. Tímto dílem je část předního mlhového světla.

Teoretická část je zaměřena na popis technologie vstříkování, konstrukci výrobků, materiálů vhodných pro vstříkování a konstrukce vstříkovací formy.

Praktická část zahrnuje 3D model výrobku a návrh dvounásobné vstříkovací formy. Zároveň je zde popis jednotlivých částí formy a tokové analýzy produktu. Návrh byl vytvořen v programu CATIA V5R19 s využitím normalizovaných součástí od firmy Hasco a Meusburger. Tokové analýzy byly prováděny v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: vstříkovací forma, polymer, konstrukce, technologie vstříkování.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to construction design injection mold for injection plastic part of Car. This product is part of the front fog lights.

The theoretical part is focused on the description of injection molding technology, plastic part design, material suitable for injection and design injection mold.

The practical part contains a 3D model of the plastic product and a design of double injection mold. It also includes description of their individual parts of injection mold and flow analyses of whole product. The proposal was created using CATIA V5R19, where standard parts from Hasco and Meusburger catalogue were used. For flow analysis was used the programme Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Keywords: injection mold, polymer, design, injection technology.

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Martinovi Ovsíkovi, Ph.D. za ochotu, za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval při torbě této diplomové práce. Dále mé díky patří celému kolektivu ústavu výrobního inženýrství za vytvoření dobrých pracovních podmínek a rodině za všestrannou pomoc při studiu.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině Špangerů za zapůjčení plastového dílu, na jehož základě byla práce zhotovena.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné a že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 13.05.2016

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.1 VÝHODY A NEVÝHODY TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	12
1.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	14
1.3.1 Vstřikovací jednotka	16
1.3.2 Uzavírací jednotka	19
1.3.3 Řídící a ovládací jednotka.....	22
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY	24
2.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	25
2.2 TERMOPLASTY	26
2.3 VOLBA VHODNÉHO TERMOPLASTICKÉHO MATERIÁLU.....	28
2.4 PŘÍPRAVA MATERIÁLU PŘED VSTŘIKOVÁNÍM	29
2.4.1 Vstupní kontrola.....	29
2.4.2 Sušení termoplastů	29
2.4.3 Barvení granulátu termoplastů	30
2.4.4 Recyklace termoplastů	30
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	32
3.1 TLOUŠŤKA STĚN VÝROBKU.....	32
3.2 ÚKOSY A PODKOSY.....	33
3.3 ZAOBLNĚNÍ HRAN, ROHŮ A KOUTŮ	34
3.4 VÝZTUŽNÁ ŽEBRA	35
3.4.1 Návrh žebrování	35
4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	36
4.1 NÁSOBNOST VSTŘIKOVACÍ FORMY	37
4.2 ZAFORMOVÁNÍ.....	38
4.2.1 Dělicí rovina.....	39
4.2.2 Smrštění vstřikovaných dílů.....	40
4.3 VTKOVÝ SYSTÉM	42
4.3.1 Tok taveniny ve formě	42
4.3.2 Studený vtokový systém	43
4.3.3 Horký vtokový systém.....	47
4.4 TEMPERACE VSTŘIKOVACÍ FORMY	49
4.4.1 Návrh temperačního systému	49
4.5 ODVZDUŠNĚNÍ DUTIN VSTŘIKOVACÍ FORMY	51
4.6 VYHAZOVACÍ SYSTÉM	51
4.6.1 Mechanické vyhození.....	52
4.6.2 Pneumatické vyhazování.....	54
4.6.3 Hydraulické vyhazování.....	55
II PRAKTICKÁ ČÁST	56

5	STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE	57
6	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	58
6.1	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO DÍLU.....	59
7	NÁVRH KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	60
7.1	ORIENTACE VSTŘIKOVANÉHO DÍLU VE FORMĚ	60
7.2	KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	61
7.2.1	Rám formy	61
7.2.2	Vodící a středící členy.....	62
7.2.3	Odformovací systém	63
7.2.4	Odvzdušnění.....	66
7.2.5	Vtokový systém.....	66
7.2.6	Temparační systém.....	67
7.2.7	Vyhazovací systém.....	68
7.2.8	Manipulace s formou.....	69
8	ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	70
8.1	VOLBA A TVORBA SÍTĚ	70
8.2	PRVOTNÍ (DEFAULTNÍ) ANALÝZA	71
8.2.1	Čas plnění (Fill time)	72
8.2.2	Rychlost smykové deformace (Shear rate)	72
8.2.3	Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)	73
8.2.4	Uzavírací síla (Clamp force)	74
8.3	VOLBA STROJE	75
8.4	UPRAVENÁ ANALÝZA	76
8.4.1	Čas plnění (Fill time)	78
8.4.2	Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)	79
8.4.3	Rychlost smykové deformace (Shear rate)	80
8.4.4	Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)	81
8.4.5	Studené spoje (Weld lines).....	81
8.4.6	Vzduchové kapsy (Air traps)	82
8.4.7	Uzavírací síla (Clamp force)	83
8.4.8	Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature).....	84
8.4.9	Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency)	84
8.4.10	Čas na dosažení vyhazovací teploty výrobku (Time to reach ejection temperature – part)	85
8.4.11	Celková deformace od všech efektů (Deflection, all effects: Deflection).....	85
	ZÁVĚR	89
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	90
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	93
	SEZNAM OBRÁZKŮ	95
	SEZNAM TABULEK.....	98
	SEZNAM PŘÍLOH.....	99

ÚVOD

Polymery za více než stoletou dobu existence zažily obrovský celosvětový rozvoj. Stačí se v moderním světě podívat okolo sebe. Velká expanze a rozmanitost druhů způsobena, že materiály jako dřevo, ocel, sklo jsou dnes v mnoha aplikacích částečně nebo i plně nahrazeny plasty a to jak u vývoje nových plastových výrobků, tak i náhrady dříve používaného materiálu. Obrovským příkladem je automobilový průmysl, kde konstrukce automobilu za posledních 20 let zažila neobvyklou proměnu nahrazením mnohých kovových součástek polymerními. S tím souvisí i nový trend automobilek, jehož snahou je, aby jejich vozy byly z co největší míry recyklovatelné, což využití termoplastů umožňuje.

V současné době existuje velké množství zpracovatelských technologií a mezi nejznámější a nejrozšířenější způsob zpracování plastických hmot patří vstřikování, které zaznamenaly v poslední době bouřlivý rozvoj. Tato technologie je nejrozšířenější také díky jejímu velkému rozměrovému rozsahu výrobků, které je možno touto technologií vyrábět.

Nástrojem pro technologii vstřikování je vstřikovací forma. Pro konstrukci vstřikovací formy se využívá stavebnicového systému s aplikací normálií. Mezi nejznámějšími firmami zabývajícími se výrobou normálií jsou HASCO, MEUSBURGER, D-M-E a STRACK. Přínosem normalizace je zejména zkrácení výrobních časů při výrobě formy. V důsledku sériové výroby jsou mnohé normálie oproti kusové výrobě levnější. Výroba přesných výstřiků předpokládá vedle praktických zkušeností i osvojení určitého fondu teoretických vědomostí. Rozsah tohoto fondu se vzhledem k dynamice celého oboru neustále zvětšuje a zahrnuje údaje o reologických, chemických a fyzikálně mechanických vlastnostech plastů, regulační technice zpracovatelských strojů, měřicí technice, metrologii a jiné. Toky taveniny ve složitých geometriích jsou tudíž velmi komplikovanou záležitostí. K řešení těchto složitých procesů jsou k dispozici řady velmi výkonných simulačních softwarů, jako např. Moldflow, Cadmould a Moldex3D, usnadňujících řešit tyto problémy v předstihu, ještě před započítáním výroby vstřikovací formy, což může přinášet další úspory a zkrácení cyklu od návrhu výrobku po jeho produkci.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Z historického hlediska technologie vstřikování polymerů zažila masivní rozvoj v druhé polovině 20. století. Díky širokým možnostem využití polymerních materiálů, zejména pak termoplastů, převážně v automobilovém, elektrotechnickém a zdravotnickém průmyslu, je tato technologie perspektivní i dnes.[1]

Vstřikování je fyzikálně poměrně složitý, diskontinuální proces, na kterém má podíl jak vstřikovaný polymer, tak i vstřikovací stroj s nástrojem – formou. Během procesu vstřikování je materiál převeden do plastického stavu a následně pod tlakem dopraven do dutiny vstřikovací formy, kde dochází k vyplnění dutiny, ochlazení na vyhazovací teplotu a vyhození výrobku z dutiny. Touto technologií se převážně zhotovují finální výrobky, nebo dílce ke kompletaci finálního výrobku. V menším množství se pak touto technologií zhotovují polotovary.[2]

1.1 Výhody a nevýhody technologie vstřikování

Mezi výhody technologie vstřikování termoplastů patří:

- relativně dobrá rozměrová a tvarová přesnost výrobku,
- zhotovení i tvarově složitých výrobků,
- krátké vstřikovací cykly,
- vysoká produktivita a plná automatizace výrobního procesu,
- opětovné zpracování technologických zbytků (vtoků) a zmetků.

Vstřikování termoplastů má i celou řadu nevýhod, mezi které patří:

- vysoké pořizovací náklady (vhodné pro velkosériovou a hromadnou výrobu),
- vstřikovaný materiál by měl,
- nutnost použití materiálu s vyšším ITT, tudíž poměrně nízkomolekulární.

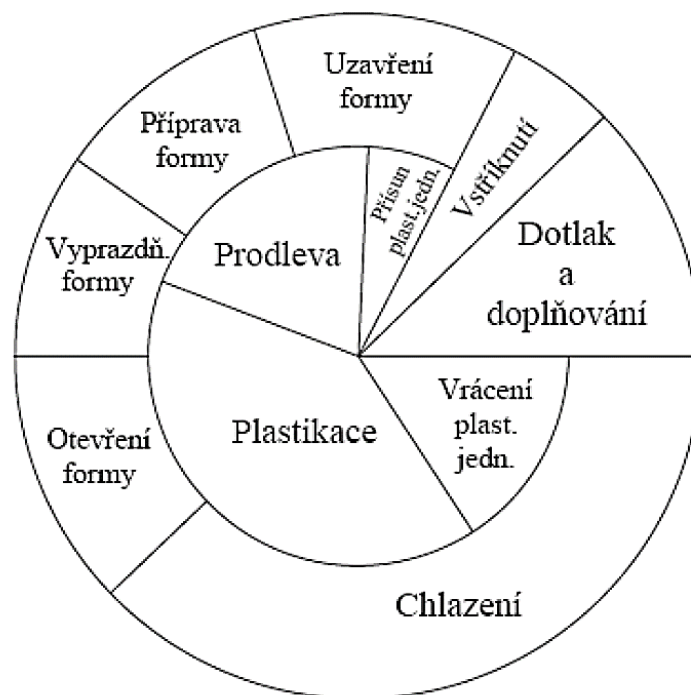
1.2 Vstřikovací cyklus

Vstřikovací cyklus slouží k popisu technologického postupu procesu vstřikování. Zahrnuje oblast plastikační jednotky a formy (uzavírací jednotky) a určuje sled a dobu trvání jednotlivých operací.[3]

Za počátek vstřikovacího cyklu bývá považováno uzavření formy. V průběhu uzavírání formy přijíždí plastikační jednotka s naplastikovaným materiálem. Pokud má forma horký

vtokový systém, tak plastikační jednotka může zůstat přisunuta po celou dobu cyklu. Po uzavření formy dochází k vstříknutí materiálu do dutiny formy. Doba, po kterou se dutina vstřikovací formy plní, se nazývá doba plnění. Po skončení plnění (90% - 99% finálního objemu dutiny formy) působí obvykle dotlak. Dotlak má buď stejnou, nebo nižší hodnotu tlaku než je vstřikovací tlak a není vždy nutností. Vstříknutí i dotlak je omezen v případě studeného vtokového systému zamrznutím vtokového ústí. Tyto dvě operace zahrnují činnost současně plastikační jednotky a formy. Po ukončení dotlaku je výrobek ve formě chlazen na vyhazovací teplotu a zároveň dochází k odjezdu plastikační jednotky a plastikaci nové dávky. Doba chlazení je obvykle nejdelší časový úsek z celého cyklu. Po ochlazení výrobku následuje otevření vstřikovací formy a vyhození výrobku. Dále bývá v cyklu zahrnuta prodleva na přípravu formy.[4][5]

Vstřikovací cyklus lze vyjádřit jako časově závislý kruhový diagram, kde vnitřní kruh popisuje operace plastikační jednotky a vnější prstenec popisuje operace uzavírací jednotky s formou. Operace vstřikování a dotlak konají obě jednotky současně, jak už bylo zmíněno.



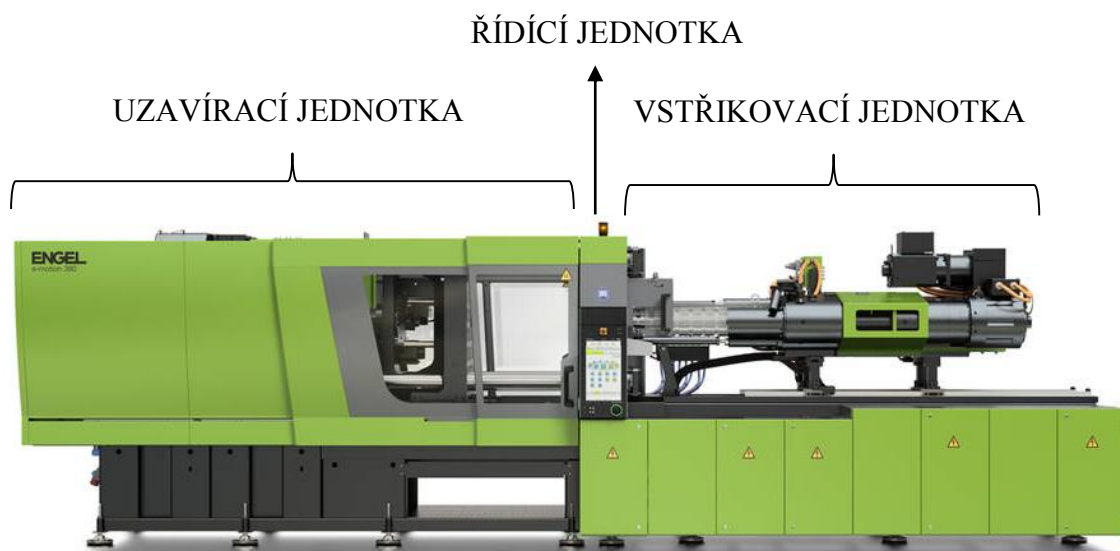
Obr. 1-1 Vstřikovací cyklus – kruhový diagram.

1.3 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj je zařízení, které přímo ovlivňuje kvalitu jím vyráběných výrobků. Umožňuje zplastikování a homogenizaci polymeru, vstříknutí do dutiny formy a zajištění správné stabilizace tvaru výrobku. Vstřikovací stroj se obecně skládá ze tří částí:[3]

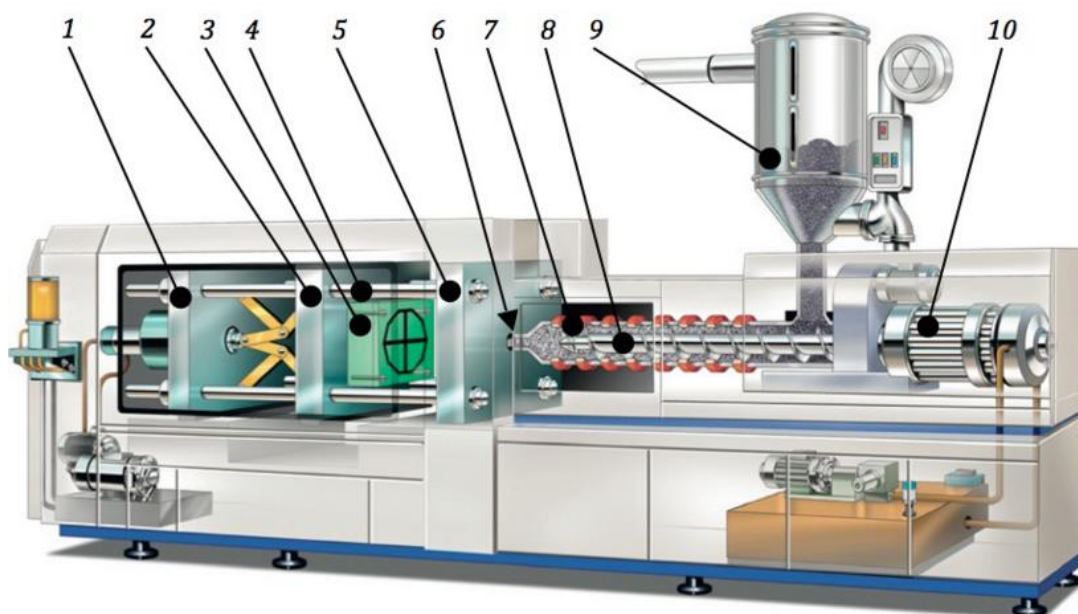
- vstřikovací (plastikační) jednotka,
- uzavírací jednotka,
- řídicí a ovládací jednotka.

Na moderních strojích je vstřikování plně automatizované a dosahuje se vysoké produktivity. V dnešní době se výrobou vstřikovacích strojů zabývají např. firmy Sumitomo Demag, Arburg, Krauss mafei, Netstal, Mitsubishi a Engel.[6]



Obr. 1-2 Vstřikovací stroj od firmy Engel. [8]

Základní komponenty vstřikovacího stroje jsou znázorněny na obr. 1-3, kde 1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstřikovacího stoje, 3 – pohyblivá část vstřikovací formy, 4 – vodící sloupky vstřikovacího stroje, 5 – pevná upínací deska vstřikovacího stoje, 6 – čelo špičky vstřikovací trysky vstřikovacího stoje, 7 – tavící komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku. [5]



Obr. 1-3 Náhled do vstřikovacího stroje. [5]

Vstřikovací stroje se dělí dle hledisek:

- zpracovávaný materiál (termoplast, reaktoplast a elastomer),
- typ vstřikovací jednotky (s ředplastikací a bez předplastikace),
- typ plastikační jednotky (pístové, šnekové a kombinované),
- vzájemné polohy vstřikovací a uzavírací jednotky,
- objem vstřikované dávky,
- pohon vstřikovací a uzavírací jednotky (hydraulické, hydraulicko-mechanické, elektrické a případně mechanické). [7]

Základní parametry vstřikovacího stroje:

- vstřikovací kapacita stroje (udává maximální hmotnost výstřiku v gramech vztahovou většinou k materiálu PS),
- plastikační kapacita stroje (udává množství materiálu v kg, které lze za 1 hod. převést do taveniny vyhovující kvality),
- vstřikovací tlak (MPa),
- uzavírací síla (síla potřebná k uzavření formy),
- přidržovací síla (síla, která drží formu v uzavřené poloze při procesu vstřikování),
- maximální rozměry upínacích desek (jsou omezeny vzdálenostmi mezi vodícími sloupy),
- maximální otevírací zdvih vstřikovacího stroje. [3]

1.3.1 Vstřikovací jednotka

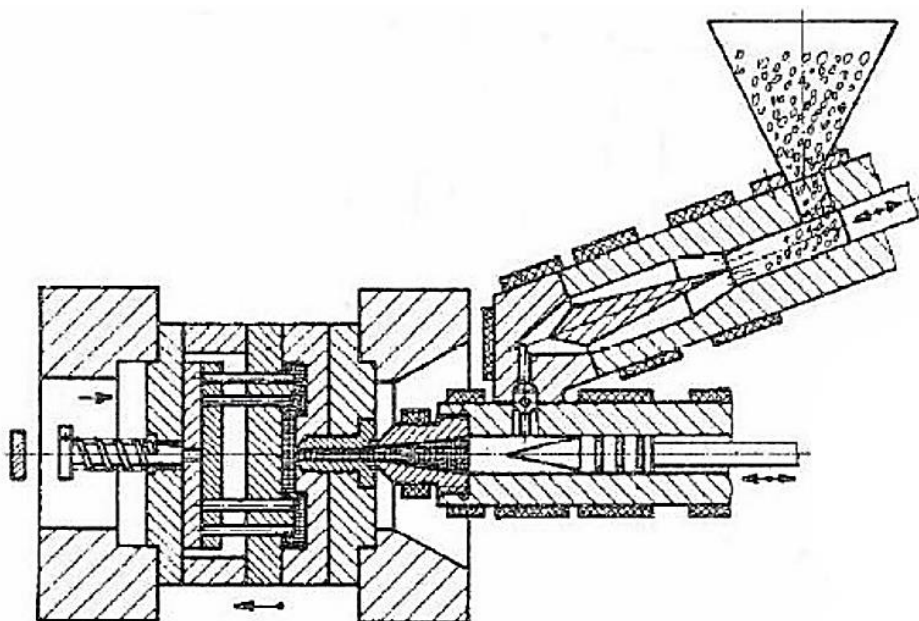
Úkolem vstřikovací jednotky je zpracování polymerního materiálu a doprava do dutiny formy. Materiál (termoplast) nejčastěji vstupuje z násypky ve formě granulátu, méně častěji pak ve formě prášku. Množství dopravované taveniny musí být menší, než je kapacita vstřikovací jednotky při jednom zdvihu.[1]

Vstřikovací jednotka s předplastikací

Vstřikovací jednotka s předplastikací zajišťuje vysoký plastikační výkon a dokonalou homogenizaci díky rozdělení vstřikovací jednotky na část plastikační a část vstřikovací. Zpracováváný materiál se plastikuje v oddělené plastikační jednotce a takto připravená tavenina se dopravuje do vstřikovacího válce, odkud se pak vstříkne pístem do formy. Toto uspořádání umožňuje výrazné zkrácení vstřikovacího cyklu. [6]

Pístová předplastikace

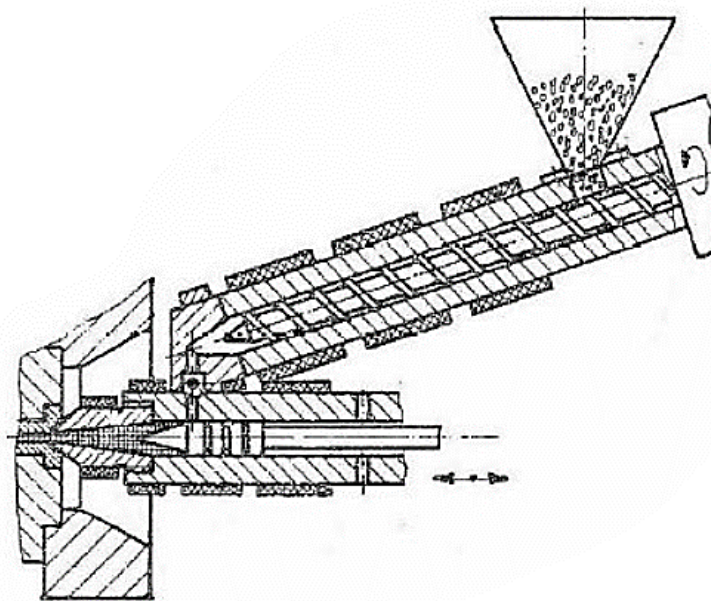
U velkých jednotek může být plastikační část rozdělena do dvou stupňů. Dvoustupňovým uspořádáním se zmenší tlakové ztráty. Konstrukce tavící komory je analogická jako u pístové plastikace. Plastikační a vstřikovací část musí být rozdělena zpětným ventilem, aby vstřikovací tlak, vyvolaný vstřikovací částí nevracel taveninu zpět do plastikační části. Vstřikovací jednotky s pístovou předplastikací jsou konstrukčně jednoduché, ale málo využívané.[9]



Obr. 1-4 Pístová předplastikace [6]

Šneková předplastikace

U šnekové předplastikace tvoří první stupeň předplastikační část se šnekem. Druhý stupeň tvoří vstřikovací část se vstřikovacím pístem. Uvedené spojení umožňuje využít výhody šnekové předplastikace s výhodami pístového vstřikování. Díky lepšímu ovládní plastkačních podmínek dosahuje tento typ vstřikovací jednotky především rychlého a dokonalého zplasticování zpracovávaného materiálu a tím i vyšších výkonů. Pohon šneku zajišťuje elektromotor nebo hydromotor, zatím co pohyb pístu je ovládán hydraulicky.[9]



Obr. 1-5 Šneková předplastikace [6]

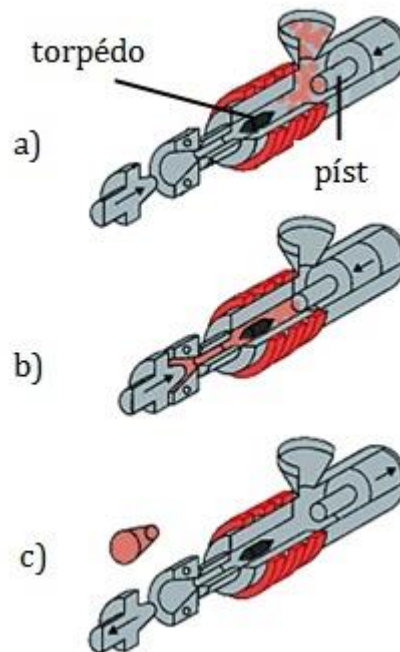
Vstřikovací jednotka bez předplastikace

Ve vstřikovací jednotce bez předplastikace probíhá plastikace materiálu u pístové plastikace v tavicí komoře nebo šnekové plastikace v pracovním válci.

Pístová plastikace

Při pístové plastikaci se dávkuje zpracovávaný materiál dávkovacím zařízením do tavicí komory a to buď objemově, nebo hmotnostně. V tavicí komoře se materiál roztaví a tavenina se vstříkne pomocí pístu do dutiny formy. Teplotu tavicí komory zajišťují topné pásy. Výhodou vstřikovacích jednotek s pístovou plastikací je jednoduchá konstrukce a snadné docílení poměrně vysokých vstřikovacích tlaků (přes 100 MPa). Naopak nevýhodou je horší

homogenizace naplastikovaného materiálu (taveniny). V dnešní době se tyto jednotky téměř nepoužívají.[6]

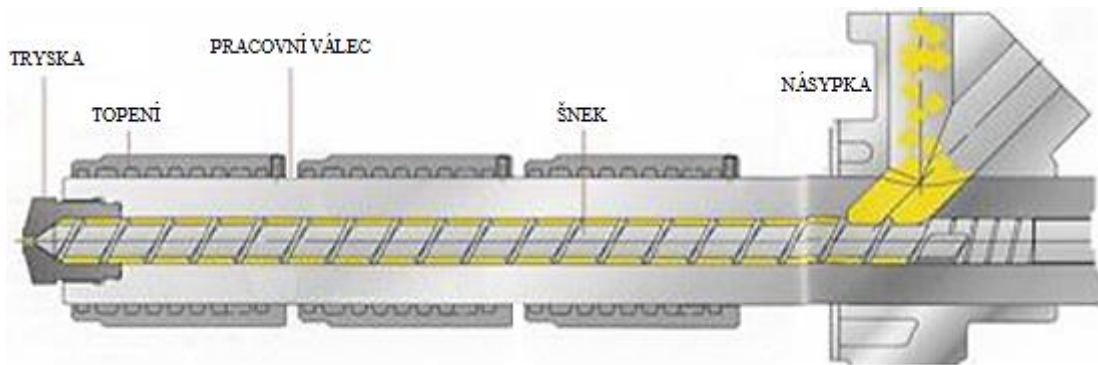


*Obr. 1-6 schéma průběhu vstřikovacího cyklu pístové plastikace
(a) dávkování granulátu, (b) plastikace dávky a vstříkování taveniny,
(c) odformování výrobku [10]*

Šneková plastikace

U vstřikovacích jednotek se šnekovou plastikací vstupuje materiál z násypky do pracovního válce. Pracovní válec pod násypkou nebývá temperován (vyhříván), aby nedošlo k natavení granulátu již ve vstupním pásmu šneku a nedošlo k zalepení otvoru přívodu materiálu z násypky. V pracovním válci se materiál šnekem plastikuje, homogenizuje a dopravuje před čelo šneku. Šnek se otáčí a zároveň posouvá dozadu, čímž vytváří prostor pro taveninu. Po zplastikování potřebného množství se materiál axiálním pohybem šneku vstříkne do formy. Po vstříknutí a případném dotlaku musí před čelem šneku zůstat množství taveniny tzv. polštář, který by měl být velký přibližně 0,1 násobku průměru šneku. Pracovní válec je opatřen topením. Potřebné množství tepelné energie k plastikaci kromě topných pásů je dodáváno i disipací (přeměnou mechanické energie na tepelnou).[11]

Přímočarý i rotační pohon šneku bývá většinou zajištěn přímočarým a rotačním hydromotorem. Méně se využívá i elektropohonu s mechanickým převodem. V praxi je šneková jednotka bez předplastikace nejpoužívanější. [11]



Obr. 1-7 Řez vstřikovací jednotkou se šnekovou plastikací.[12]

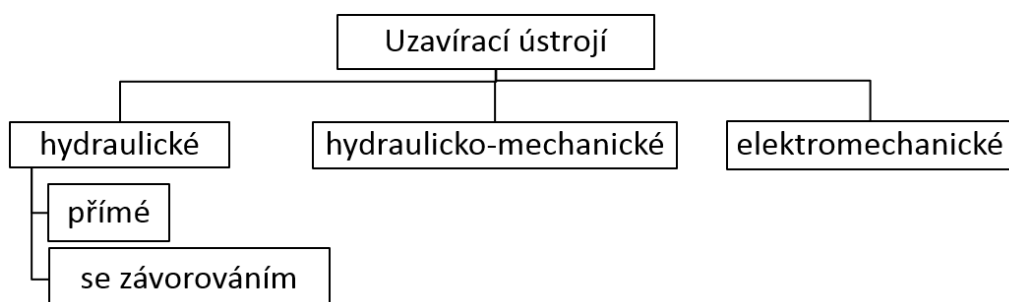
Z důvodu tendence taveniny vracet se při vstřiku zpět do šnekového kanálu je na čele šneku zabudován zpětný ventil. Tyto ventily umožňují dosažení vysokých vstřikovacích tlaků a zajišťují dostatečnou dobu setrvání materiálu ve šnekovém kanálu. Teplotní režim a geometrie šneku závisí na druhu zpracovávaného materiálu.[11]



Obr. 1-8 Příklady zpětných uzávěrů (vlevo) a příklady šneků (vpravo).[12]

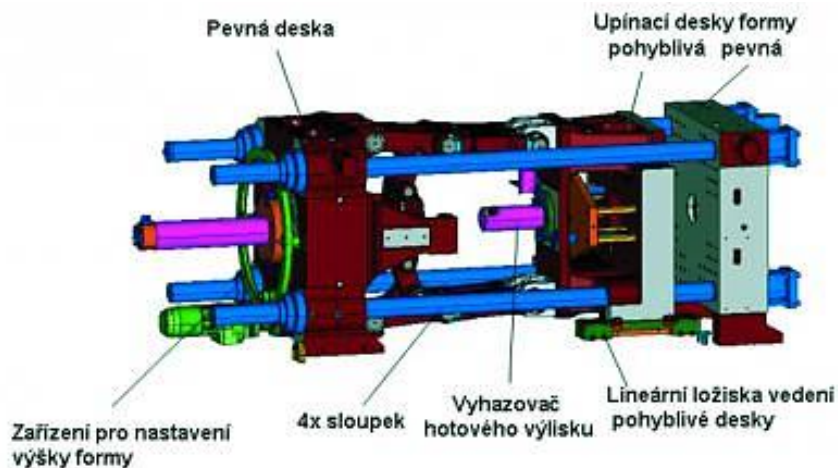
1.3.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je rychlé uzavírat a otevírat formu, a také přidržovat uzavřenou formu větší silou, než je síla vyvolaná tlakem taveniny na stěny dutiny vstřikovací formy. Uzavírací síla bývá vždy menší než přidržovací síla.[1],[3]



Uzavírací jednotka se skládá z těchto hlavních částí (obr. 1-9):

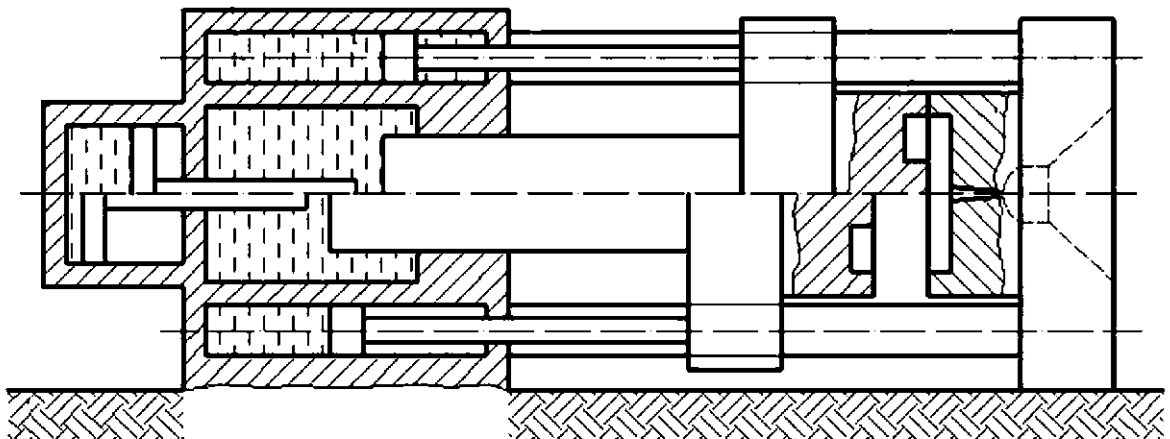
- opěrné desky;
- upínací desky pevné a pohyblivé;
- vodicích sloupků;
- uzavíracího mechanismus.



Obr. 1-9 základní části uzavírací jednotky. [14]

Hydraulická uzavírací jednotka

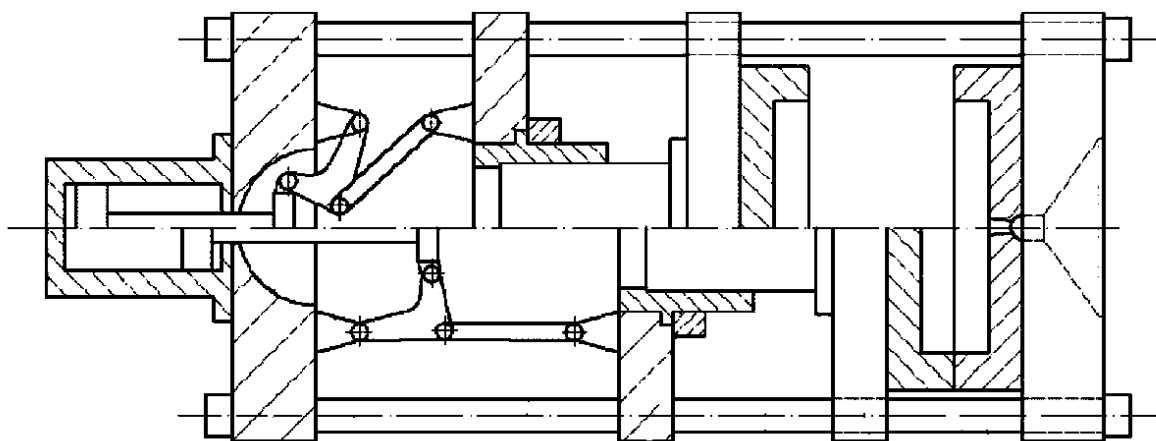
Uzavírací rychlost hydraulické uzavírací jednotky je řízena uspořádáním a ovládáním hydraulického obvodu. Výhodou této jednotky je nastavení libovolné hloubky otevření formy a jednoduchá konstrukce. Nevýhodou je, velikost hydraulického válce potřebného pro vyvynutí velkých uzavíracích sil a pro dosažení velkých rychlostí je zapotřebí velké množství hydraulické kapaliny. Tyto nevýhody lze odstranit zavedením pomocných válců (obr. 1-10).[11]



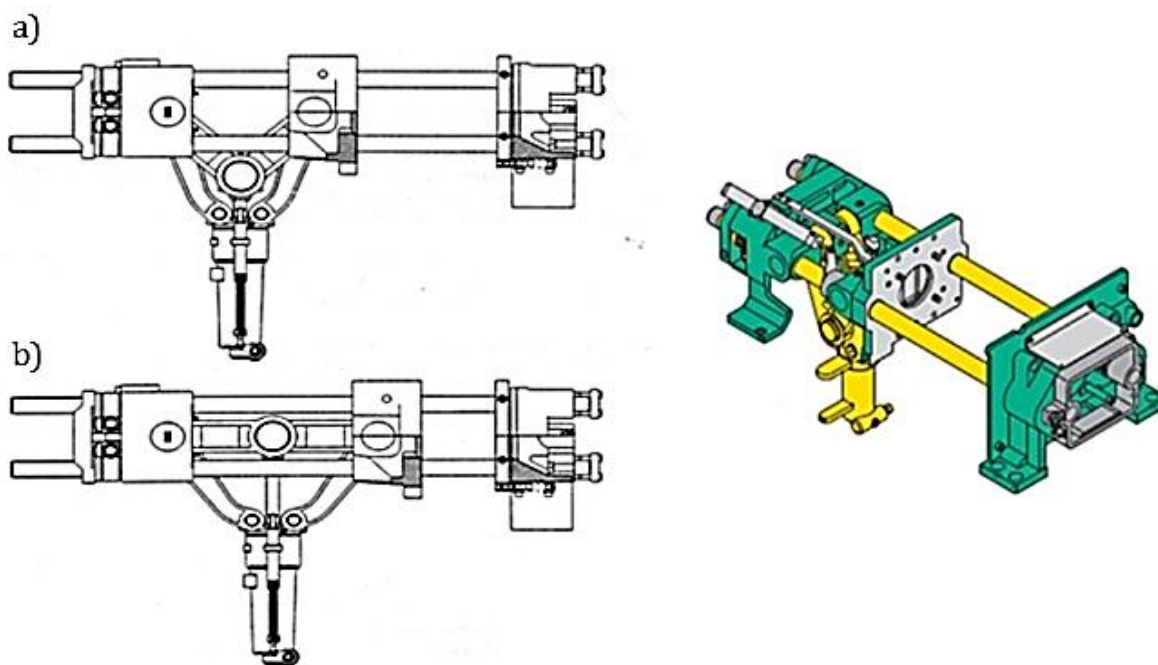
Obr. 1-10 Hydraulická uzavírací jednotka s pomocnými válci. [6]

Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka

U Hydraulicko-mechanické uzavírací jednotky je oproti čistě hydraulické uzavírací jednotky potřeba k dosažení velkých uzavírací síla mnohem menším hydraulickým válcem, kterým je ovládán kinematický mechanismus. Rychlost uzavírání je dána kinematickým uspořádáním mechanismu, což umožňuje docílení minimálních došedových rychlostí. Dále hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka poskytuje dostatečnou tuhost. Hydraulický válec může ležet buď v ose vstřikovacího stroje (Obr. 1-11), nebo mimo ni (Obr. 1-12). [11]



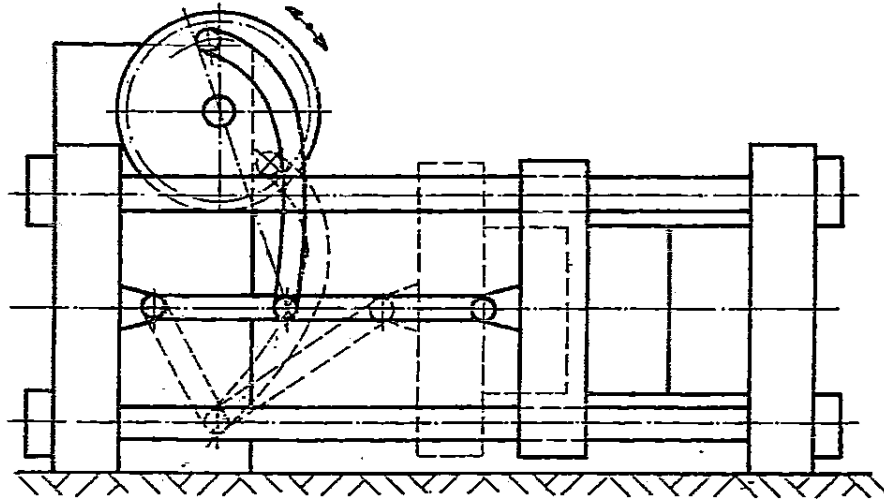
Obr. 1-11 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka s válcem v ose stroje. [6]



Obr. 1-12 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka s válcem kolmo na osu stroje. Kde a) otevřená poloha, b) uzavřená poloha. [10]

Elektromechanická uzavírací jednotka

Vysoká energetická náročnost hydraulických jednotek vede ke snaze je nahradit elektrickým pohonem, jehož úkolem je ovládání klikového mechanismu. Účinnost elektromotoru se pohybuje v rozmezí 0,85-0,95 a je dána jeho konstrukcí a způsobem provozu. Elektromechanické uzavírací jednotky jsou konstrukčně jednoduché, vyvolávají vysokou uzavírací sílu a mají snadnou automatizaci celého pracovního cyklu.[6],[11]



Obr. 1-13 Elektromechanická uzavírací jednotka.[6]

1.3.3 Řídící a ovládací jednotka

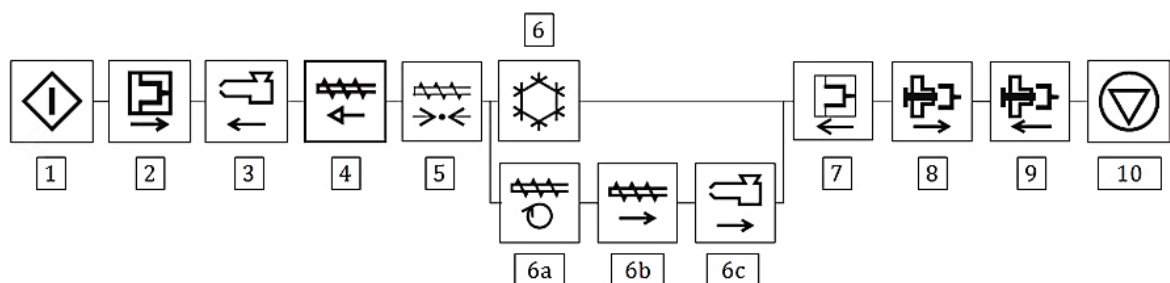
Řídící a ovládací jednotka je nezbytnou součástí vstřikovacího stroje. Umožňuje optimální naladění výrobních procesů a tím dosáhnout výroby kvalitních výstřiků. Při řízení a regulaci výrobního procesu je třeba snímat a závisle na tom nastavovat technologické a strojní parametry vstřikovacího stroje, mezi které patří:[1]

- doba vstřikování,
- doba chlazení,
- teplota formy,
- teplota taveniny,
- tlak při vstřikování a dotlačování,
- otáčky šneku,
- délka posuvu šneku a rychlost uzavírání,
- rychlost posuvu šneku při vstřikování,
- otevírání formy.

K umožnění zadávat vstupní údaje a v možnosti řídit činnost celého vstřikovacího stroje obsahuje každý vstřikovací stroj ovládací panel, jehož schopností je i ovládání externích zařízení. Použití této jednotky nám umožňuje vysoký stupeň automatizace celého procesu, avšak zvyšuje požadavky na kvalifikaci obsluhy a údržby stroje i cenu stroje.[6]

Programování vstřikovacího cyklu

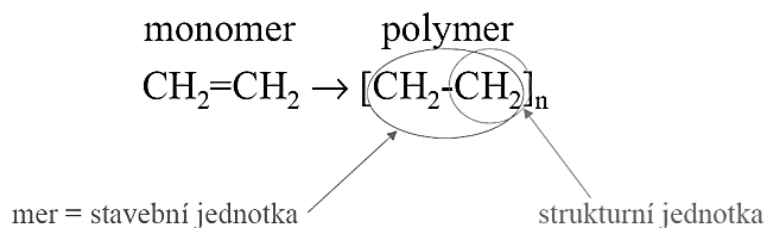
Průběh vstřikovacího cyklu je u současně používaných strojů programovatelný. Symbol na pozici 1 představuje start cyklu. Během tohoto procesu dochází ke kontrole, zda jsou všechny systémy ve správných pozicích pro spuštění cyklu, případně dojde k najetí jednotlivých systémů do startovacích pozic (kontrola správné pozice pohyblivé části formy, vstřikovací jednotky a vyhazovačů). Symbol č. 2 představuje uzavření vstřikovací formy, na které navazuje příjezd vstřikovací jednotky do pracovní pozice (pozice 3). Hned po najetí trysky vstřikovací jednotky do vtokové vložky vstřikovací formy a vybudování potřebného přitlaku mezi nimi začíná vlastní vstřikování (pozice 4). Symbol na pozici 5 představuje přepnutí na dotlakovou fázi. Po skončení dotlaku začíná chlazení na pozici 6. Souběžně s chlazením stroj provádí další procesy, které jsou na pozicích 6a až 6c. (uvolnění tlaku, kterým po plastikace působí čelo šneku na taveninu) a odjetí vstřikovací jednotky do zadní pozice 6c, aby nedocházelo ke zbytečnému ohřevu vstřikovací formy tryskou vstřikovací jednotky. Po ukončení chlazení výrobku a všech souběžně prováděných operací je otevřena vstřikovací forma (pozice 7), dále dochází k vyjetí vyhazovačů a odformování výrobku (pozice 8). V posledním kroku zajedou vyhazovače zpět do formy (pozice 9). Symbol 10 představuje konec výrobního cyklu. Pod každým symbolem jsou potom jednotlivé nastavitelné procesy, kterými je daný proces řízen. Každý výrobce vstřikovacích strojů používá vlastní grafické zpracování jednotlivých symbolů. Princip sestavování vstřikovacího cyklu z bloků představující jednotlivé dílčí procesy je však všeobecným standardem.[10]



Obr. 1-14 Programování vstřikovacího cyklu.[10]

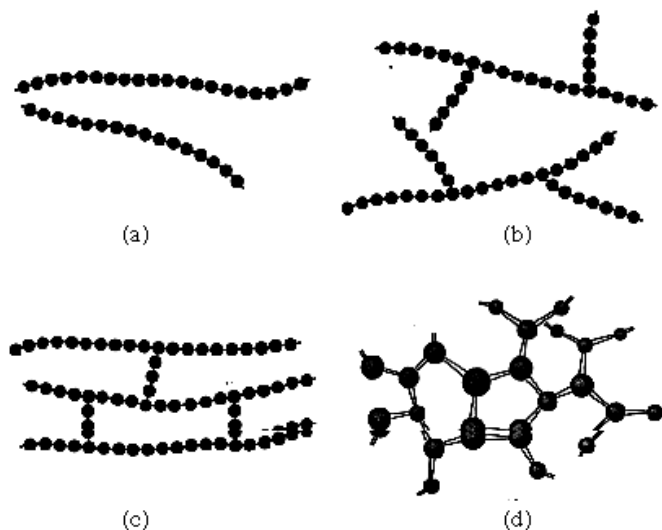
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Polymery jsou chemické látky obsahující ve svých makromolekulách nejčastěji atomy uhlíku, vodíku, dusíku, chlóru, síru, kyslíku a jiných prvků. Jak již samotný název napovídá, polymer se skládá z mnoha opakujících se jednotek nazývaných mer. Tvoří tak dlouhé molekuly, jejichž relativní molekulová hmotnost je v řádech desítek tisíc až milionů. Makromolekula, jak se nazývá základní stavební částice polymeru, vzniká spojením molekul nízkomolekulárních látek (monomerů) chemickými vazbami.[18],[19]



Obr. 2-1 Polymerace (polyetylen)

Polyreakce je děj, při kterém se spojují strukturální jednotky a vznikají makromolekulární látky. Každá strukturální jednotka musí mít minimálně dvě schopná místa chemicky reagovat s dalšími molekulami. Pokud v těchto dvou reakčních místech jsou molekuly schopny se chemicky vázat se dvěma sousedícími molekulami, tak vznikají lineární molekuly ve tvaru řetězce vytvářející lineární polymer. Mezi těmito pružnými řetězci působí slabé Van der Waalsovy vazby.[18]

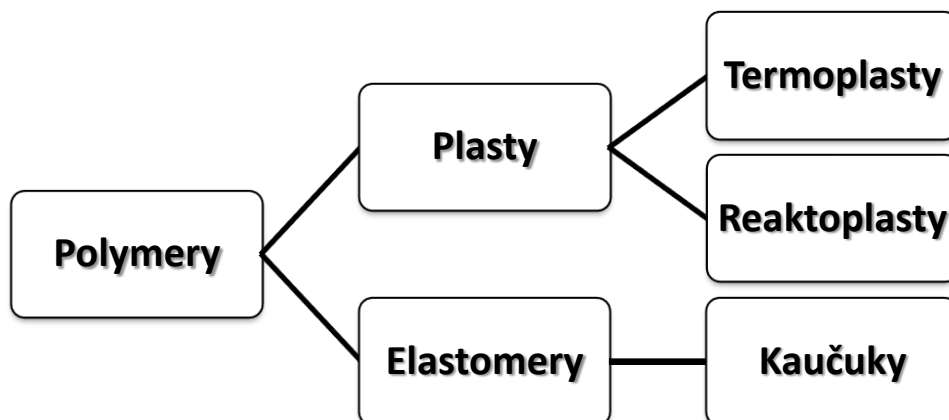


Obr. 2-2 Struktura polymerů a) lineární; b) rozvětvená; c) se zkříženými články; d) zesíťovaná [16]

2.1 Rozdělení polymerů

Polymery lze dělit podle mnoha různých hledisek. Mezi základní dělení patří rozdělení podle původu na polymery přírodní a syntetické, dále rozdělení podle struktury makromolekul na polymery lineární, rozvětvené a zesíťované. Mezi další hlediska dělení polymerů patří dělení podle vzniku, aplikace, polaritě, druhu přísad a typu nadmolekulární struktury.[16],[17]

Polymerní materiály dělíme do dvou základních skupin. První skupina plastů a druhá skupina elastomerů. Dále plasty dělíme na reaktoplasty a termoplasty.



Termoplasty – jsou polymerní materiály složené z lineárních makromolekul s dlouhým řetězcem, které můžeme opakovaně převádět z tuhého do plastického stavu. Řetězce jsou navzájem drženy jenom mezimolekulární interakcemi (van der Waalsovými silami, vodíkovými můstky, interakcemi dipól-dipól). Po zahřátí tyto interakce slábnou a polymer měkne. Mezi termoplasty patří: polyetylén (PE), polyvinylchlorid (PVC), polystyren (PS), polymethylmethakrylát (PMMA) a jiné. [18]

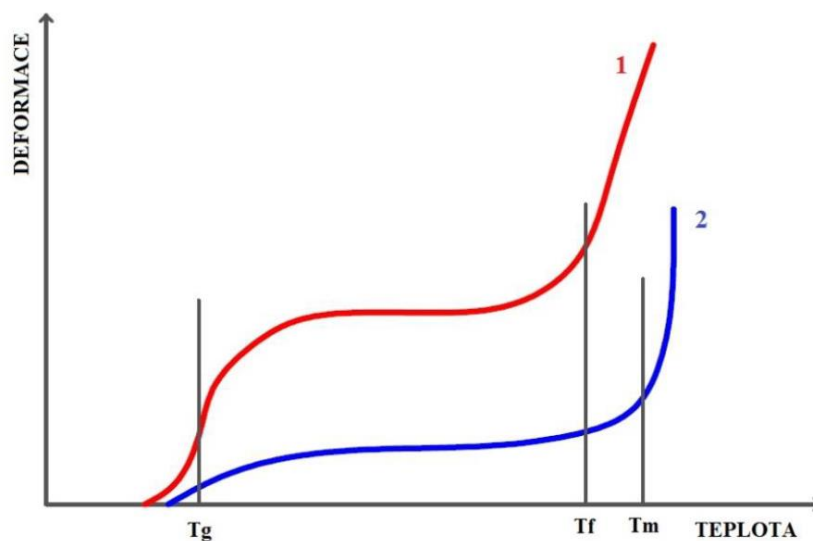
Reaktoplasty – se na rozdíl od termoplastů nedají opakovaně tepelně zpracovávat, protože jejich teplota tání je nad teplotou degradace materiálu. Reaktoplasty vytvářejí trojrozměrnou síť. Výsledkem chemické reakce (zesíťování) za zvýšené teploty a tlaku je tudíž nevratná změna. Mezi reaktoplasty patří: epoxidové pryskyřice, polyesterové pryskyřice, atd. [19]

Elastomery – jsou polymerní materiály schopné velké elastické (pružné) deformace při mechanickém zatížení. To znamená, že po odlehčení se materiál vrací do původního tvaru. Zástupcem elastomerů jsou kaučuky, které mohou být přírodní i syntetické. [18]

2.2 Termoplasty

Termoplasty se označují makromolekulární látky, jejichž řetězce jsou přímé (lineární polymery) anebo s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Ohřevem na danou teplotu řetězce ztratí svoji soudržnost a hmota se stane viskózní. V tomto stavu je možné termoplasty tvářet. Po ochlazení se řetězce vrátí do původního stavu. Tyto polymery, lineární či rozvětvené, u kterých tvoří řetězce vždy jen jeden druh základní chemické skupiny, se nazývají homopolymery. Pokud jsou řetězce složeny z více než jednoho druhu základních chemických skupin, mluvíme o kopolymerech.[2]

Nadmolekulární struktura (stupeň uspořádanosti makromolekul) může být popsána jednak jako amorfni a jednak jako krystalická. Lineární makromolekuly vytváří, na rozdíl od rozvětvených makromolekul, uspořádanější nadmolekulární strukturu a zesíťované makromolekuly strukturu neuspořádanou. Termoplasty tak mohou mít amorfni nebo semikrystalickou nadmolekulární strukturu, zatímco reaktoplasty pouze strukturu amorfni.[6]



Obr. 2-3 Termomechanická křivka amorfního (1) a semikrystalického (2) polymeru.[25]

Amorfni struktura

Amorfni strukturou rozumíme strukturu bez jakékoliv uspořádanosti (struktura chaotická). Amorfni termoplasty jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou pevností a modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu (1,4 až 1,6) průhledné, resp. dle propustnosti světla čiré, transparentní anebo průsvitné. Součinitel teplotní roztažnosti α je menší než

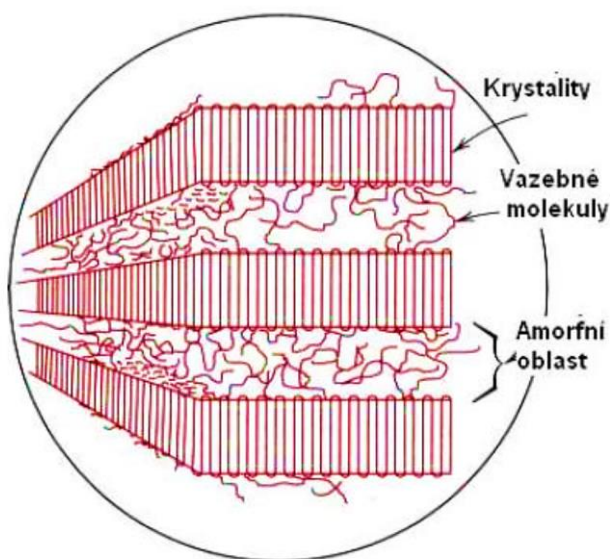
u semikrystalických polymerů. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty skelného přechodu T_g . Základním morfologickým útvarem této struktury jsou globuli (neboli klubička) o velikosti 10–30 nm, které jsou vytvořeny z chaoticky stočených makromolekul. [15],[16]



Obr. 2-4 Nadmolekulární struktura amorfních plastů.[16]

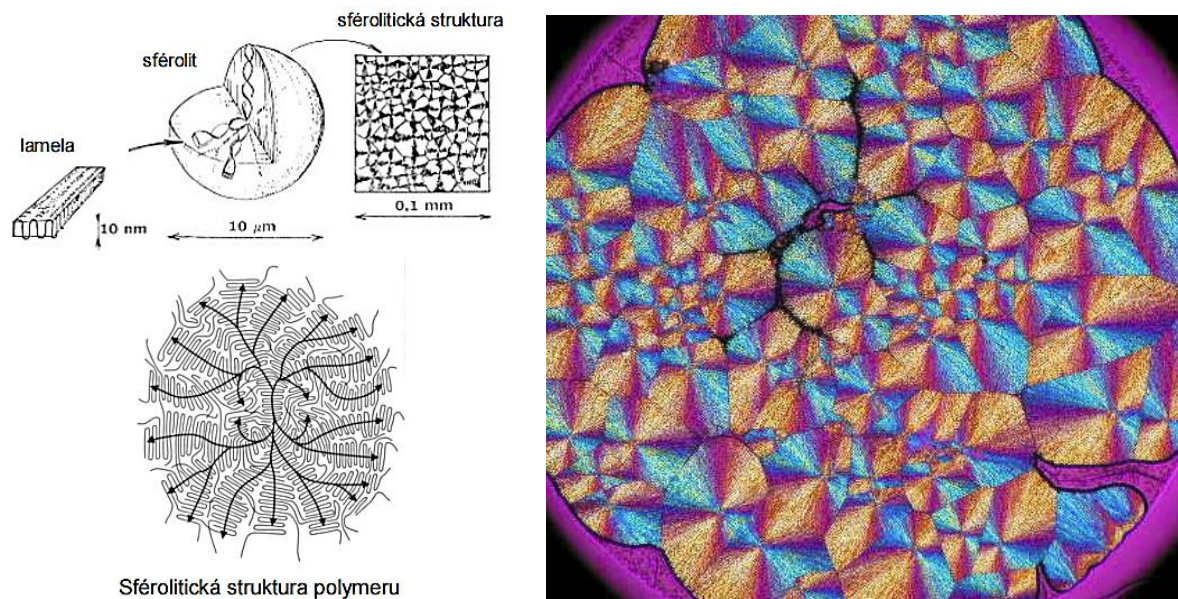
Semikrystalická struktura

Semikrystalické polymery vykazují určitý stupeň uspořádanosti, který se označuje jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %). Tento stupeň krystalinity vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi oblastmi amorfními. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako semikrystalické. Jsou mléčně zakalené, index lomu je větší oproti amorfním polymerům, jsou charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání T_m . Základním morfologickým útvarem jsou tzv. lamely, fibrily. [15],[16]



Obr. 2-5 Semikrystalický polymer.[15]

U reálných výrobků se při tuhnutí z tavenin polymerů vytvářejí útvary, nazývané sférolity. Jedná se o shluky lamel, které vychází ze společného centra a rozrůstají se na všechny strany, často jsou vrtulovitě stočené. Krystalizující polymery nemají v reálných podmínkách technologického zpracování možnost dokonalé krystalizace, tzn., že krystalizace se nezúčastní veškerá polymerní hmota, ale krystalizuje jen určité procento polymeru. Část takového polymeru je krystalická, zbylá část zůstává v amorfním stavu. [16]



Obr. 2-6 Struktura sférolitů.[13]

2.3 Volba vhodného termoplastického materiálu

Při návrhu vhodného termoplastu pro konstruovanou součást je třeba uvážit konkrétní podmínky jejího provozního zatížení i celkového využití. Taková součást musí mít mimo požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností také k výrobě vhodný tvar s dosažitelnými rozměry i jakostí povrchu.[2]

Optimální volba plastu se posuzuje z následujících hledisek:[2]

- funkce součásti musí splňovat definované požadavky po co možno nejdelší dobu;
- zvolená technologie výroby součásti musí být reálná a na určeném stroji poměrně snadno realizovatelná, při dodržení požadovaných parametrů;
- ekonomická výhodnost při výběru plastu, z hlediska technologie výroby součásti i vstřikovací formy.

Zhodnocením uvažovaných hledisek může konstruktér stanovit vhodný plast nebo i více podobných materiálů. Mezi zvolenými jednotlivými typy potom rozhodují již jen méně významné vlivy, jako je dostupnost plastu, jeho estetické vlastnosti apod. Obecně proto platí, že tvar výrobku a jeho vlastnosti musí odpovídat použitému plastu a zvolené technologii. Optimální návrh konstrukce vstřikovaného výrobku a volba jeho materiálu vyžaduje obsáhlé znalosti, proto je při vývoji výrobku nutná spolupráce konstruktéra, technologa a materiálisty.[2]

2.4 Příprava materiálu před vstřikováním

Před zpracováním plastů vstřikováním se materiál upravuje v souladu s technologickým postupem. Tyto postupy jsou pro konkrétní typy materiálů zcela odlišné. U termoplastů se nejčastěji jedná o sušení granulátu, mísení s drceným recyklátem, barvení granulátu, míchání s nadouvadlem apod.[2]

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

2.4.1 Vstupní kontrola

Vstupní kontrola je využívána hlavně pro omezení potíží spojených se zpracováním a aplikací materiálu. Rozděluje se na vstupní hodnocení materiálů a kontrolní přejímku běžně využívaných plastů. Vstupní kontrola stanoví:[20]

- fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu (viskozita a tepelné a elektrické vlastnosti),
- chemicko-analytické složení (obsahy nízkomolekulárních podílů, molekulová hmotnost apod.),
- mechanické vlastnosti (pevnost, tažnost a jiné),
- ostatní hodnocení.

2.4.2 Sušení termoplastů

Většina termoplastů je navlhavých, tzn., že mají schopnost absorbovat vodu z okolního vzduchu. Příčinou navlhavosti je chemické složení termoplastu. Nejvíce absorbují vodu polární plasty s hydrofilními skupinami v makromolekule (-OH, -COOH, -NH, -O-). Další příčinou navlhavosti termoplastu jsou aditiva. Jaké množství vlhkosti z atmosférického vzduchu absorbuje navlhavý polymer, závisí na teplotě polymeru a na relativní vlhkosti vzduchu.

Navlhavý polymer vystavený atmosférickému vzduchu bude absorbovat vodní páry až do okamžiku, kdy nastane rovnováha s okolním vzduchem. Tento proces může trvat několik minut, ale také i několik dní. Záleží na typu polymeru a na relativní vlhkosti vzduchu. Proces absorbování vlhkosti i proces sušení je vratný a je řízen tedy těmito základními parametry:[21]

- teplotou polymeru
- relativní vlhkostí vzduchu (popř. rosným bodem vzduchu obklopující polymer)
- dobou sušení v předepsaném prostředí
- cirkulací vzduchu v sušárně
- velikostí granulátu

Sušení nejčastěji probíhá v komorových pecích s cirkulujícím vzduchem. Díky cirkulaci vzduchu dochází k většímu obtékání granulátu plastu vzduchem, a tudíž je odebírání molekul vody více účinné. Doba sušení je jiná pro různé typy plastů a je závislá i na velikosti granulátu. U vstřikovacích strojů s nevytápěnou násypkou je nutné vysušený granulát do 30 minut zpracovat. Některé plasty se předsoušet nemusí.[21]

Obsah vody (i velmi malý) způsobuje výstřikům jak zhoršení mechanických vlastností, tak zejména povrchové vady - stříbření, nerovnoměrný lesk- matování, lokální změny barevného odstínu, stopy po unikající páře. Dále může mokřý materiál v plastikační jednotce vstřikovacího stroje degradovat (hydrolytická degradace), zejména u tlustostěnných výrobků se mohou objevovat bubliny.[1]

2.4.3 Barvení granulátu termoplastů

Materiál dodávaný od výrobce obsahuje pouze v určité barevné odstínu. Tento odstín základního granulátu omezuje rozsah možných změn barvy výrobku. Barvení materiálu se provádí buď pomocí dávkovacího zařízení na vstřikovacím stroji, nebo přimícháním malého množství stejného materiálu v jiném odstínu do primárního materiálu před vstřikováním. Po homogenizaci ve vstřikovacím stroji se docílí požadované barvy výrobku.[20]

2.4.4 Recyklace termoplastů

Vadné výstřiky a odpady (studený vtok a jiné) vzniklé při vstřikování se mohou opakovaně několikrát zpracovávat. S výhodou se této vlastnosti využívá, protože podíl odpadu, hlavně při výrobě malých výstřiků, je značný. Neznečištěný plastový odpad se drtí obvykle v nožových mlýnech. Tento recyklát se smíchá s čistým granulátem a znovu se zpracuje.

Výsledná směs má obvykle nižší fyzikálně-mechanické vlastnosti a horší povrchový vzhled. Míra snížení fyzikálně-mechanických vlastností závisí na velikosti podílu recyklátu v čistém granulátu. Transparentní a silně namáhané plasty se míchat s recyklátem nemohou. Nesplnily by požadované vlastnosti. Pokud se do granulátu přidává přibližně 15–30 % recyklátu, nemají výstřiky příliš zhoršené mechanické vlastnosti. V některých případech jsou výrobky vyráběny i pouze z recyklátu, např. zatravnovací pásy, zahradní dlaždice, plotovky a jiné.[2]

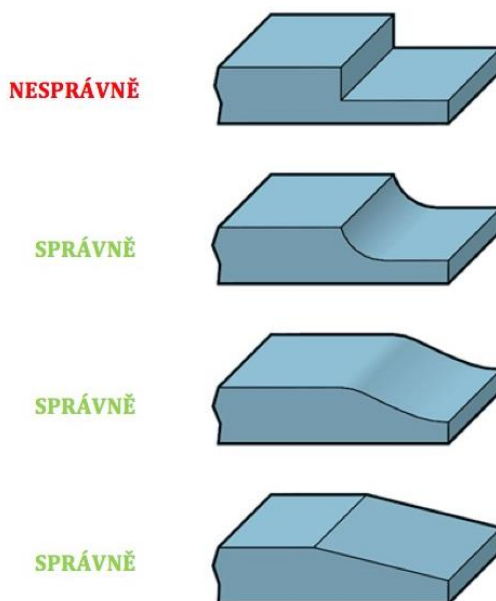
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

3.1 Tloušťka stěn výrobku

Tloušťka stěny výrobku ovlivňuje mnoho důležitých charakteristik plastového výstřiku, mezi které patří zejména mechanická odolnost, povrchové vlastnosti, celkový vzhled, zpracovatelnost a ekonomika výstřiku. [5]

Ohled na tloušťku stěny výrobku musí být brán i s pohledu technologie vstřikování a to konkrétně délky tečení taveniny plastu v dutině formy. [5]

Tloušťka stěny by v ideálním výrobku měla být všude stejná, ale toho nelze vždy dosáhnout. Snižování tloušťky stěny vstřikovaného dílu je převážně využíváno z důvodu technologických, jako jsou dosažení vhodnějších rozměrů či snížení hmotnosti, ale i z důvodu ekonomického. Při nerovnoměrné tloušťce stěn dochází v úzkých dutinách k rychlému ochlazení a tedy k tuhnutí polymeru, naopak tlusté stěny vyžadují dlouhou dobu chlazení. Z tohoto se na výstřicích objevují povrchové vady jako propadliny a lunkry. Změny tlouštěk na výrobcích jsou řešeny postupnými plynulými přechody, aby nevznikaly ostré hrany. Dalším způsobem je daný výrobek vylehčit a vyhnout se tak silné stěně. Tloušťka bočních stěn, nebo žeber se zaoblenou přechodovou hranou by neměla překročit 0,8 násobek tloušťky hlavní stěny.[2],[5]

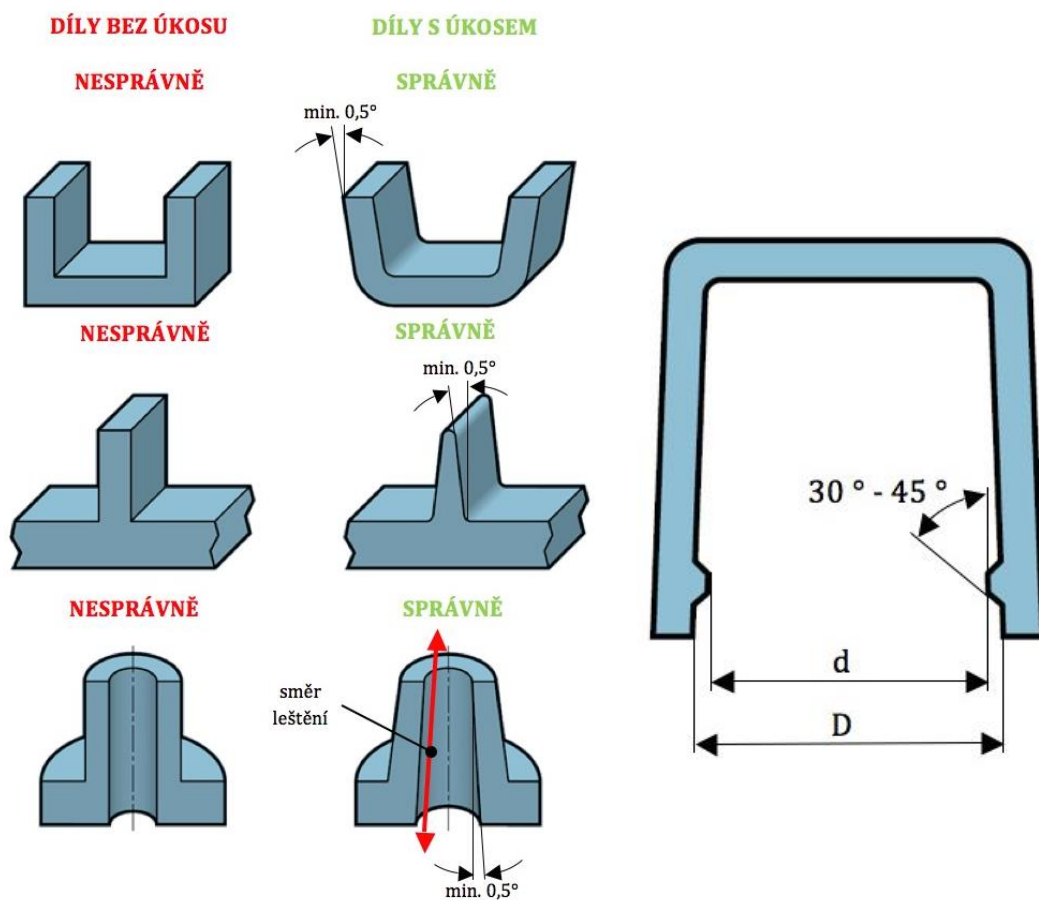


Obr. 3-1 Přejechy různých tlouštěk stěn.[5]

3.2 Úkosy a podkosy

Hlavním důvodem opatření určitých částí vstřikovaného dílu (boční stěny, žebra, komínky apod.) je zlepšení odformovatelnosti vstřikovaného dílu, z tohoto důvodu určuje umístění a velikost úkosů způsob zaformování dílu. Prvky jako např. komínky, žebra či výztuhy tvořené slepými otvory ve formě se zužují směrem ke svému konci. Povrch tvořený pohyblivým jádrem obvykle nemusí být opatřeny úkosem, v případě, že je prvek dílu odformován ještě před otevřením vstřikovací formy. V neposlední řadě patří mezi pravidla návrhu úkosu:[5]

- všechny povrchy rovnoběžných se směrem odformování opatřeny úkosem.
- ulehčeno odformování za pomoci úkosů všech stěn a ostatních prvků, které jsou zaformovány v obou polovinách formy.
- Standardní použití úhlu 1°
- Minimální úkos $0,5^\circ$ pro většinu materiálů.



Obr. 3-2 Doporučené úkosů (vlevo) a podkosy (vpravo) na vstřikovaném dílu.[5]

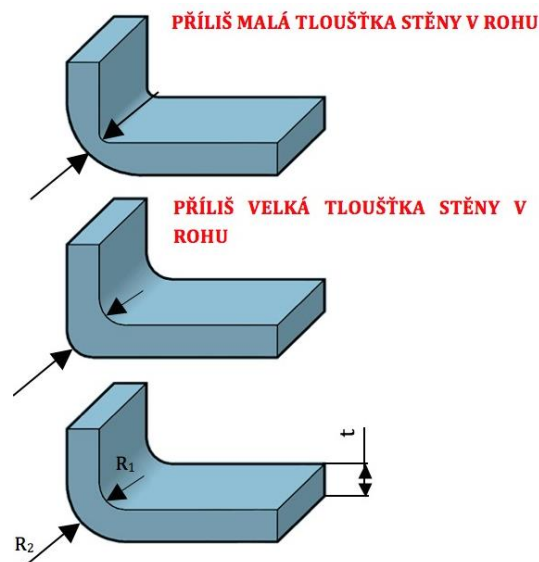
Opakem úkosů jsou podkosy, kteří zabraňují vyjímání výstřiku z formy. Mnohdy jsou voleny tak, aby výstřik záměrně zůstal na levé (pohyblivé) části formy, na které je zajištěno

vyhazování, přičemž musí mít vstříkovaný díl dostatečný prostor pro pružnou deformaci, kterou je k vyhození přes podkos potřeba překonat. Stejný účinek mají také výstupky, nálitky, zápichy apod. Umístění podkosů je mimo tuhé oblasti vstříkovaného dílu (žebra, rohy dílu apod.). Základním pravidlem pro správný návrh odformovatelného podkosu je dodržení procentuálního poměru (3.1) mezi vnitřním rozměrem dílu a vnitřním rozměrem podkosu. Procentuální poměr podkosu pro obr. 3-2 se vypočítá dle vztahu: [5],[22]

$$\% \text{ podkosu} = \frac{D-d}{D} \cdot 100 [\%] \quad (3.1)$$

3.3 Zaoblení hran, rohů a koutů

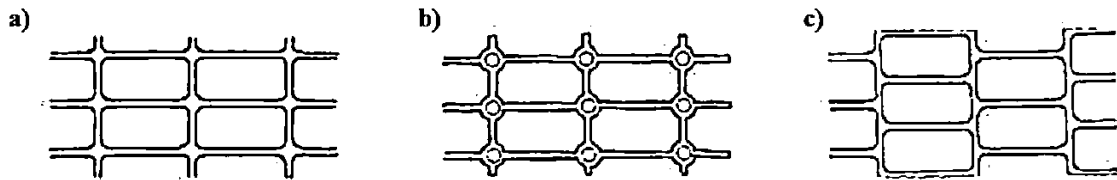
Plastový vstříkovaný díl by neměl být opatřen ostrými rohy. V oblasti ostrých hran totiž dochází ke koncentraci napětí vyvolaného mechanickým zatěžováním, čímž dochází ke snížení mechanické odolnosti dílu. Jeho rázová houževnatost klesá až o 50%. Dále ostré hrany znesnadňují tok taveniny a tím přispívají k většímu opotřebení formy. Z těchto důvodů se vstříkované výrobky opatřují zaoblením. Není vhodné všechny hrany opatřovat rádiusem, jelikož některé části dílu mohou být z tohoto důvodu obtížněji zaformovatelné, což může ve svém důsledku vést ke zvýšení nákladů na výrobu vstříkovací formy. Minimální velikost radiusu k tloušťce stěny (R/t) by měla být 0.5. [4],[5]



Obr. 3-3 Porovnání vnitřních a vnějších radiusů vstříkovaného dílu.[5]

3.4 Výztužná žebra

Výztužná žebra mohou plnit funkci konstrukční nebo technologickou. Konstrukční žebra mají vliv zejména na zvýšení tuhost a pevnost výrobku. Technologická žebra napomáhají toku taveniny a měla by být navržena ve směru toku taveniny.[2]

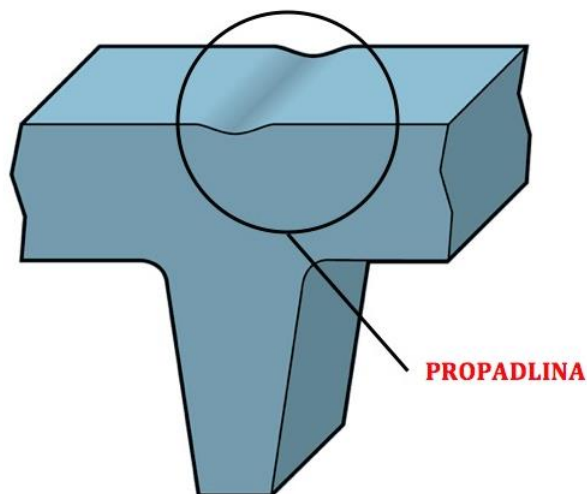


Obr. 3-4 a), b) technologická žebra; c) konstrukční žebra[2]

3.4.1 Návrh žebrování

Správný návrh žebra je definován poměrem tloušťky žebra k tloušťce stěny, výškou žebra, umístěním, počtem žebek a v neposlední řadě vyrobiteľností (odformovatelností).

Tloušťku žebek ovlivňuje mnoho faktorů. Žebra s velkou tloušťkou způsobují propadliny na protilehlém povrchu vstřikovaného dílu, jak lze vidět na obr. 3-5. Vliv na vznik propadlin na protilehlém povrchu má kromě tloušťky žebra i materiál, drsnost povrchu, barva, vzdálenost od vtokového ústí a řada technologických parametrů vstřikování.[5]



Obr. 3-5 Vznik propadliny.[5]

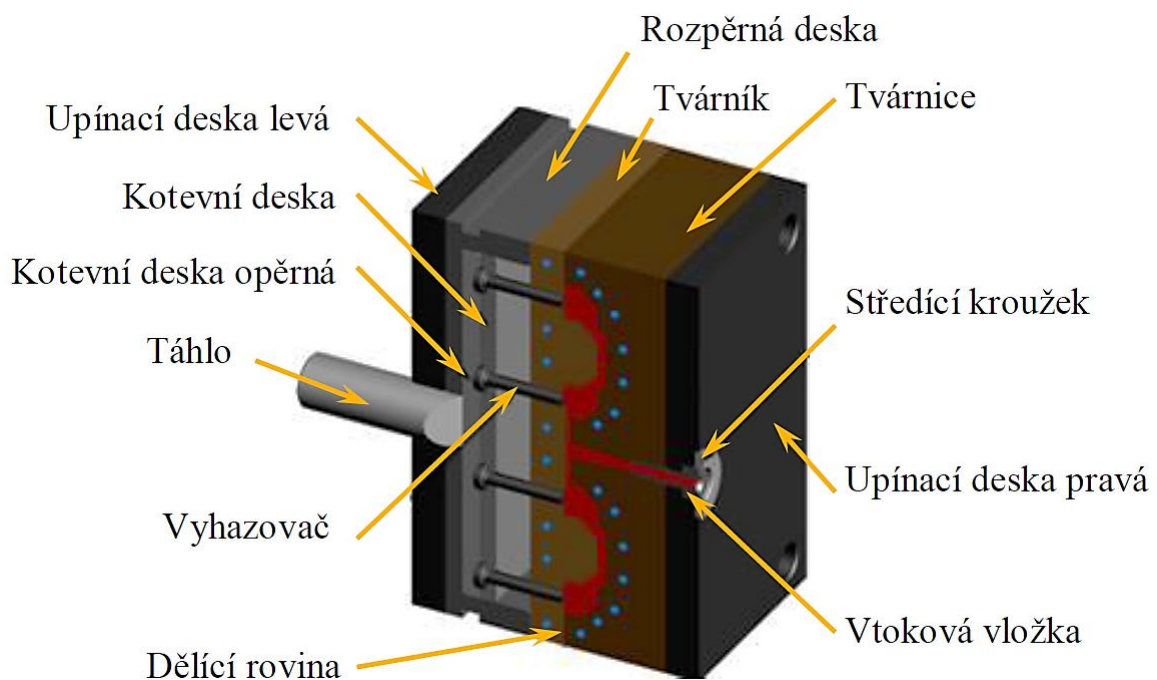
Aby byla zaručena odformovatelnost dílu s žebrováním, musí být i žebra opatřena úkosem a to minimálně $0,5^\circ$ z každé strany. Úkos vyšší než 1° na každé straně může vést k nežádoucímu razantnímu poklesu tloušťky žebra, který může způsobit problémy s plněním dutiny vstřikovací formy.[5]

4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je vyměnitelný nástroj vstřikovacího stroje. Na jednom stroji můžeme používat více forem podobného typu, velikosti a hmotnosti. Její funkcí je dát tavenině konečný tvar výstřiku, tento výstřik ochladit do tuhého stavu, kdy se již dál nedeformuje. Výstřik lze pak vyjmout z dutiny formy.[3],[12]

Z konstrukčního hlediska vstřikovací forma musí odolávat vysokým tlakům, poskytovat výstřiky o přesných rozměrech a v požadované jakosti, forma musí mít optimální životnost, umožnit snadné a rychlé vyjmutí výstřiku, musí být produktivní, spolehlivá a to při maximální automatizaci výroby.[3]

Nejdůležitější částí vstřikovací formy je tvárník a tvárnice, které spolu svírají plochu nazývanou dělicí rovina (hlavní). Když je forma uzavřena, je prostor mezi tvárníkem a tvárnicí vyplněn taveninou, která vytvoří požadovaný tvar. Počet všech jednotlivých částí a desek tvořící formu je individuální ať už podle zvoleného vtokového systému (horký, studený anebo jejich kombinace) nebo podle způsobu vyhazování (stírací deska, vyhazovače apod.). Základní zástupce je vstřikovací forma se studeným vtokovým ústím a vyhazovači. Obvykle se skládá ze šesti ocelových desek a ve většině případů i ze dvou izolačních desek pro omezení přestupu tepla mezi vstřikovacím strojem a formou.[2]



Obr. 4-1 Řez vstřikovací formou.[23]

Velké množství vstřikovacích forem se dnes sestavuje z dílů, které jsou u většiny forem podobné nebo stejné. Proto se mnoho firem začalo specializovat výhradně na výrobu těchto normalizovaných součástí. Mezi tyto firmy patří např. Hasco, Meusburger, Fibro, Delta a jiné. Využití těchto normálíí vede k návrhu forem stavebnicovým způsobem, což značně zkracuje čas potřebný k výrobě jedné vstřikovací formy. V současné době existuje celá řada typů forem, která se dá rozdělit podle několika základních hledisek [12]:

- násobnosti formy (jednonásobné, vícenásobné),
- typ vstřikovacího stroje (se vstřikováním do osy, se vstřikováním do dělicí roviny),
- konstrukce (jednoduché, čelistové, s výsuvnými jádry, šroubovací a etážové),
- vstřikovaný materiál (termoplast, reaktoplast a elastomer).

4.1 Násobnost vstřikovací formy

Násobností vstřikovací formy se rozumí počet tvarových dutin (počet vystříknutých dílů za jeden cyklus). Volí se s ohledem na požadované množství, velikost výrobku, složitost výrobku a dále podle strojních možností. Neplatí vždy, že pro malé výstřiky je vhodnější malý stroj a naopak. Pouze správnou technologickou a ekonomickou volbou se určí správný výsledek násobnosti formy. [20]

Pro malé či ověřovací (zkoušecí) série se volí zpravidla jednonásobné a jednoduché formy s předpokladem minimálních výrobních nákladů. U forem pro hromadnou výrobu je zapotřebí se řídit zpracovaným technologickým a ekonomickým návrhem. Z tohoto návrhu se musí určit nejvhodnější konstrukce formy pro největší výkon formy. Optimální násobnost forem můžeme vypočítat s ohledem na: [2],[20]

a) *vstřikovací kapacitu stroje*

$$n = \frac{0,8 \cdot M_C}{M \cdot A} \quad [-] \quad (4.1)$$

kde: M - hmotnost jednoho výstřiku [g],

M_C - vstřikovací kapacita stroje [g],

A - koeficient vtokového zbytku (1,05 – 2).

b) *plastikační výkon stroje*

$$n = \frac{0,8 \cdot Q_P \cdot t_C}{3,6 \cdot M \cdot A} \quad [-] \quad (4.2)$$

kde: M - hmotnost jednoho výstřiku [g],
 A - koeficient vtokového zbytku (1,05 – 2),
 Q_P - plastikační kapacita stroje [kg·h⁻¹],
 t_C - doba vstřikovacího cyklu [s].

c) *uzavírací sílu stroje*

$$n = \frac{0,8 \cdot F}{p_V \cdot S} \quad [-] \quad (4.3)$$

kde: F - uzavírací síla stroje [N],
 p_V - vstřikovací tlak [MPa],
 S - plocha průmětu výstřiků a vtokových kanálků do směru uzavírání formy [mm²].

d) *požadovaný termín dodávek výrobků*

$$n = \frac{N \cdot t_C}{t_P \cdot k \cdot 3600} \quad [-] \quad (4.4)$$

kde: N - celková požadovaná produkce výstřiků [ks],
 t_C - doba vstřikovacího cyklu [s],
 t_P - doba produkce [h],
 k - koeficient využití výrobního času (0,7 – 0,9).

e) *ekonomické hledisko (optimální násobnost formy)*

$$n = \sqrt{\frac{N \cdot t_C \cdot K_P}{k_f \cdot 3600}} \quad [-] \quad (4.5)$$

kde: N - je celková produkce během životnosti formy [ks],
 t_C - doba vstřikovacího cyklu [s],
 k_f - konstanta úměrnosti (k_f / N je míra amortizace formy) [-],
 K_P - provozní náklady [Kč].

4.2 Zaformování

Zaformování výrobku vychází vždy ze složitosti vstřikovaného výrobku. Vzhledem k tomu, že směr otevírání formy je daný konstrukcí vstřikovacího stroje (vodících sloupů), je nutné

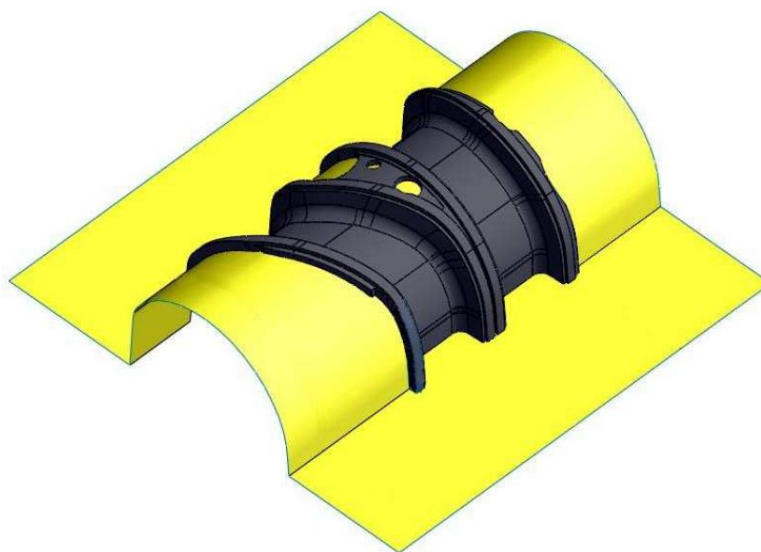
o směru otevírání formy uvažovat relativně ve vztahu k umístění a orientaci dutiny vstřikovací formy. Pokud je totiž směr otevírání daný, je nutné vhodně umístit a naorientovat dutiny vstřikovací formy tak, aby byl vstřikovaný díl odformovatelný a použitý vstřikovací tlak co nejméně namáhal vstřikovací formu. Podmínkou tohoto je:[5]

- Orientace dutiny ve formě tak, aby plocha kolmého průřezu vstřikovaného dílu vzhledem k dělicí rovině byla minimální z důvodu snížení potřebné uzavírací síly.
- Orientace dutiny tak, aby při otevírání formy bylo umožněno jednotlivým částem vstřikovaného dílu (např. žebrování, komínky pro šrouby, výstupky atd.) plynulé odformování z pevné části vstřikovací formy a při vysouvání vyhazovačů i odformování celého dílu z pohyblivé části vstřikovací formy.

Konstruktor musí brát při návrhu odformování i faktory jako je násobnost formy, umístění pohledových míst, vyhazovací a temperační systém. Všechny tyto podmínky a faktory musí být zohledňovány, ale přitom je snaha o co nejmenší rozměry výsledné formy.[2]

4.2.1 Dělicí rovina

Dělicí rovina je kontaktní plocha mezi pevnou a pohyblivou částí vstřikovací formy. Patrně nejdůležitějším účelem dělicí roviny je kvalitní utěsnění dutiny vstřikovací formy a tím zabránění úniku taveniny. Toto těsnění je dosaženo vyvinutím uzavíracích sil v řádu několik desítek až tisíců tun, které působí na dělicí rovinu. Dělicí rovina může být rovinného či obecného tvaru. Ke správnému návrhu dělicí roviny je nejprve nutné provést návrh směru otevírání vstřikovací formy.[5]

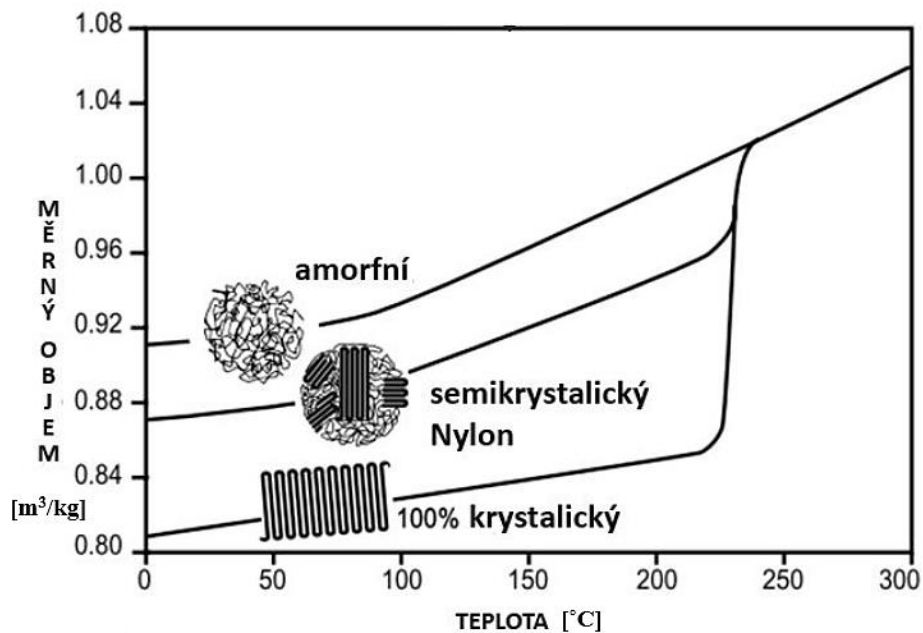


Obr. 4-2 Návrh dělicí roviny (obecného tvaru).[24]

S ohledem na umístění dělicí roviny lze rozlišit rovinu hlavní a vedlejší. Hlavní dělicí rovina je kolmá ke směru uzavírání formy (v případě že je rovinného tvaru), ostatní dělicí roviny jsou vedlejší. Vedlejší roviny se vyskytují u výrobků s bočními otvory, výstupky, či zápichy. [22]

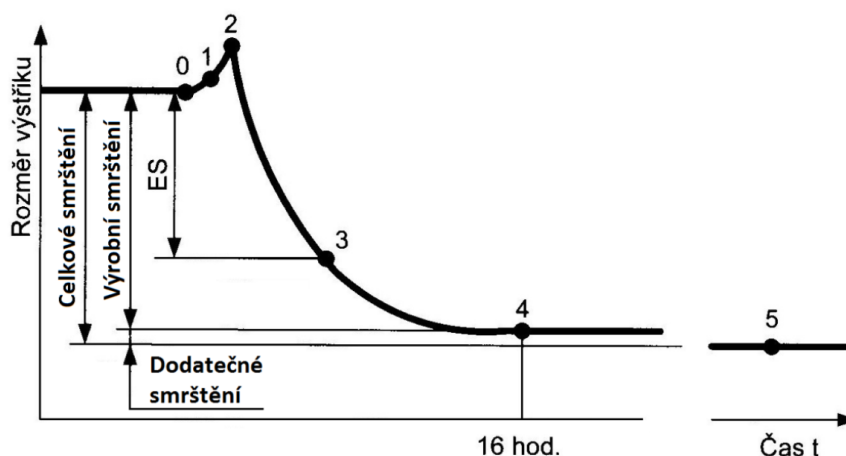
4.2.2 Smrštění vstřikovaných dílů

Velikost smrštění je rozdíl mezi rozměrem dutiny formy a skutečným rozměrem výrobku. Z tohoto důvodu je nutné velikost dutiny formy o velikost smrštění vstřikovaného materiálu naddimenzovat. Smrštění závisí jak na druhu zpracovaného materiálu, tak na technologických parametrech a čase. U amorfních termoplastů je smrštění i jeho rozptyl menší, než u krystalických termoplastů vzhledem ke změnám struktury (obr. 4-3). Analogicky plněné polymery mají menší smrštění než polymery neplněné, protože plniva se zpravidla smršťují méně než samotný polymer.



Obr. 4-3 Podstata mechanismu smrštění – příklad PA 6.[29]

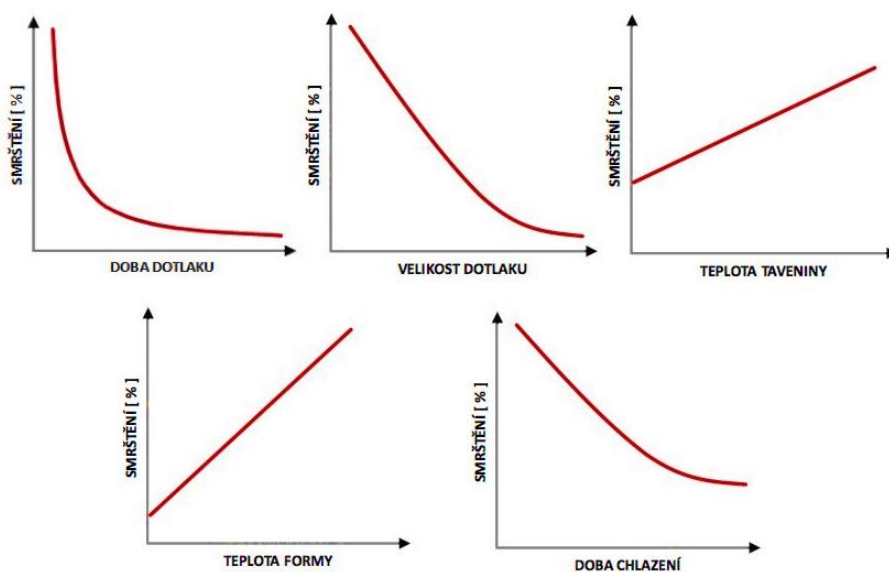
Smrštění se rozděluje do dvou časových fází. První fáze se nazývá výrobní smrštění. Stanoví se 24 hodin po výrobě součásti a představuje až 90 % z celkové hodnoty smrštění. Druhá fáze se nazývá dodatečné smrštění, které probíhá poměrně dlouho v závislosti na typu polymeru. Smrštění lze urychlit temperací (stabilizace výrobku). [2],[22]



Obr. 4-4 Rozměr jako funkce času - průběh smršťování výstřiku. [1]

Kde: 0 – rozměr ve studené formě, 1 – rozměr ve vytemperované formě, 2 – rozměr v uzavřené formě po dotlaku, 3 – rozměr výstřiku při vyhození z formy, ES – hodnota smrštění při vyhození výstřiku z formy, 4 – doba měření výrobního smrštění dle normy DIN 16 901 (16 hodin), 5 – rozměr po delším čase. Pro názornost je hodnota dodatečného smrštění zakreslena hned za hodnotu výrobního smrštění, ale při výstřiků dodatečné smrštění běžně probíhá souběžně s funkčními rozměrovými změnami. [1]

Smrštění nemusí být ve všech směrech stejné, záleží na směru proudění taveniny, orientaci makromolekul, plnivu, druhu polymeru, tvaru výrobku, teplotaci, apod. Smrštění se zpravidla udává hodnotami kolmo na směr toku a ve směru toku.[1]



Obr. 4-5 Vliv vybraných technologických parametrů vstřikování termoplastů na smrštění vstřikovaných dílů.[5]

4.3 Vtokový systém

Konstrukce vtokové soustavy určuje společně s technologickými parametry tokové poměry při plnění formy a je tak důležitým článkem z hlediska kvality výstřiku. Musí zajišťovat správné rovnoměrné naplnění dutiny formy, snadné odtržení, nebo oddělení od výstřiku, snadné vyhození vtokového zbytku a objem vtokové soustavy omezit na minimum. Vtoková soustava je navrhována podle počtu tvarových dutin, jejich rozmístění, konstrukčního provedení výstřiku a vstřikovaného materiálu. Typ a umístění vtoku má podstatný vliv na proudění taveniny ve formě, vytváření studených spojů, orientaci makromolekul, plniva apod. U vícenásobných forem má tavenina dorazit ke všem ústím vtoku současně za stejného tlaku (vyvážený vtokový systém).[28]

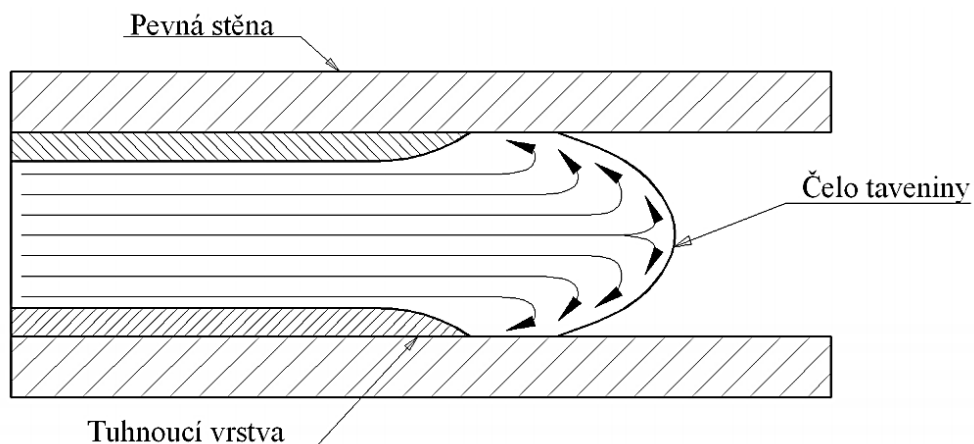
Z konstrukčního hlediska můžeme vtokový systém rozdělit na:

- studený - má vtokový zbytek,
- horký - bez vtokového zbytku
- kombinovaný – kombinace horkého a studeného vtoku

4.3.1 Tok taveniny ve formě

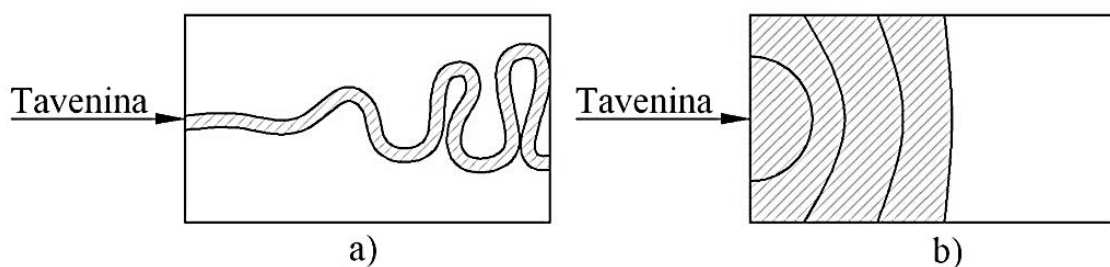
Obecně se tokem látek zabývá vědní obor reologie. Určení tokových vlastností a znalost reologického chování taveniny je důležité jak pro výrobu plastu, tak pro konstrukci strojů a nástrojů pro jejich zpracování. Polymerní tavenina je viskoelastická látka a její chování je pseudoplastické. K jeho popisu se nejvíce používá empirický vztah, tzv. mocninový zákon. Experimentálně se tokové vlastnosti konkrétního polymeru vyjadřují ve zpracovatelském rozsahu smykových napětí pomocí tokových křivek. Tyto křivky jsou konstruovány jako závislost experimentálně naměřených smykových napětí na rychlosti smykové deformace.

Při vstřikování termoplastů je teplota stěny vtokového kanálu nižší, než je T_m , resp. T_f . Proto při toku polomeních tavenin dochází k časově neustálenému toku. Na chladné stěně vtokového kanálu tavenina tuhne v rostoucí vrstvě, zatím co pod tuhnoucí vrstvou směrem ke středu kanálu tavenina nadále teče (obr. 4-6). Tento typ toku se nazývá fontánový tok a je to nejvhodnější způsob toku při plnění dutiny formy. [2],[24]



Obr. 4-6 Fontánový tok.[26]

Pokud nedojde k vytvoření kontaktu taveniny se stěnou, dochází k jevu nazývanému „jetting“ – tryskový tok (obr. 4-7 a). Jetting je defekt, který vyplývá ze špatné kombinace vysokého objemového průtoku ústí vtoku, nízkou pevností roztaveného polymeru a nevhodný návrh vtoku. Jestliže je vstříknut polymer skrz ústí vtoku bez kontaktu se stěnou a nevytvoří tvar toku tvaru vějíře (obr. 4-7 b), existuje předpoklad pro vznik tryskového toku. Výsledkem tryskového toku je vznik několikanásobného počtu studených spojů a tím pádem snížení mechanických vlastností výrobku. Nejefektivnějším řešením, jak se vyvarovat tohoto jevu je vhodné umístění vtoku tak, aby vytvořil kontakt se stěnou formy. Další možností je snížení vstřikovací rychlosti což má za následek prodloužení vstřikovacího cyklu.[27]



Obr. 4-7 Výstup taveniny z ústí vtoku a) jetting, b) ideální plnění dutiny.[27]

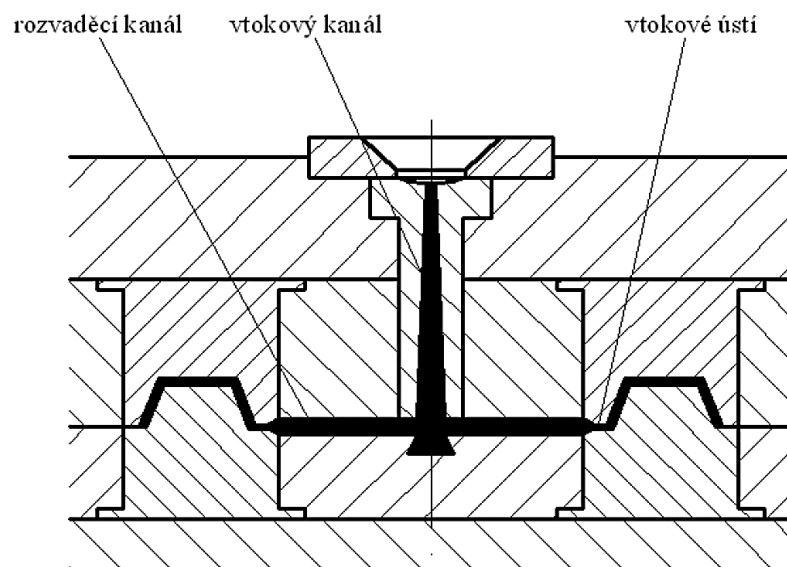
4.3.2 Studený vtokový systém

Při volbě vtokového systému se vychází z předpokladu, že se tavenina vstříkuje vysokou rychlostí do studené formy. Při průtoku vtokovým systémem viskozita taveniny prudce roste na vnějším povrchu, nejnižší je uprostřed toku. Vysoká viskozita potřebuje vysoké tlaky v systému (40 až 200 MPa).[22]

Při proudění polymerní taveniny studeným vtokovým systémem dochází vlivem disipace (přeměna mechanické energie na tepelnou) k výraznému zvýšení teploty v místech, kde je nejvyšší smykové napětí. Nárůst teploty je sice krátkodobý, ale vlivem nízké tepelné vodivosti plastů může (u citlivých plastů) docházet k degradaci.[30]

Studený vtokový systém má jednodušší konstrukci než horký vtokový systém, ale při jeho použití vznikají ztráty materiálu v podobě vtokových zbytků. Dráha toku taveniny musí být co nejkratší, z důvodu rychlého ochladnutí taveniny v kontaktu s formou. Pro zachycení studeného čela taveniny je vhodné nakonec tokového kanálu umístit jímku. Materiál je do formy dopravován systémem složeným z (obr. 4-8):[2]

- vtokové vložky (vtokový kanál),
- rozváděcích kanálů,
- ústí vtoku.

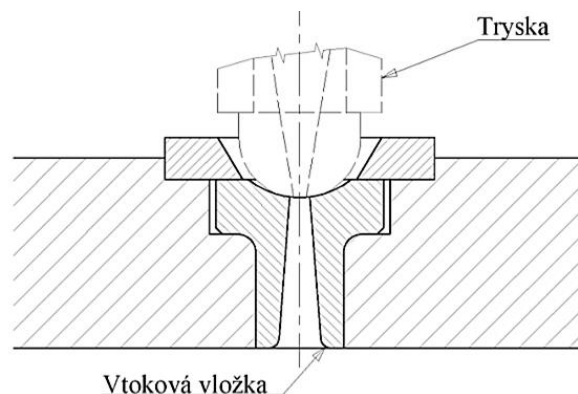


Obr. 4-8 Studený vtokový systém.

Vtokový kanál

Vtokový kanál se nachází v tokové vložce. Vtoková vložka je vyrobena z pevné, houževnaté, ořezuvzdorné a tepelně upravené oceli, protože je vystavena velkému mechanickému a tepelnému namáhání. Zjišťuje spojení trysky plastikační jednotky s rozvodnými kanály. Průřez vtokového kanálu by měl být co největší s co nejmenším povrchem, kvůli tepelným ztrátám. Tomu nejlépe odpovídá kruhový průřez vtokového kanálu. Průřez vtokových kanálů dále musí být dostatečně velký, aby po naplnění formy zůstalo jádro vtokového kanálu dostatečně dlouho v plastickém stavu, což umožní efektivnost dotlaku jako kompenzaci při

smršťování výstřiku. Pro lepší vytažení vtokového zbytku z formy má vtokový kanál kuželové provedení s úkosem minimálně $1,5^\circ$. [2]

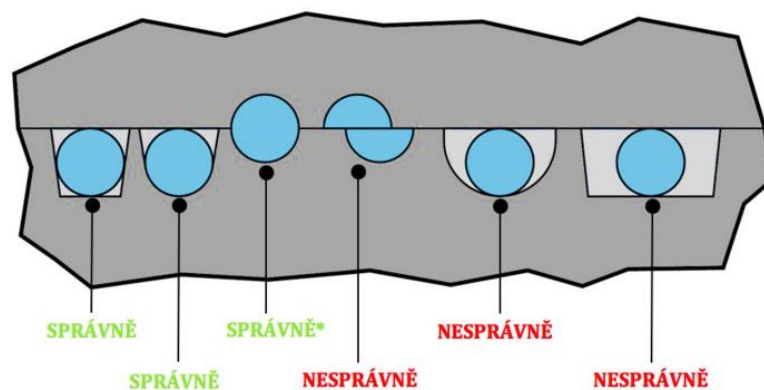


Obr. 4-9 Souosost trysky a vtokové vložky. [2]

Dosedací plochy trysky a vtokové vložky spolu musí lícovat. Jsou-li kulovité, musí být poloměr koule na trysce o $(0,4 - 0,6)$ mm menší než na vtokové vložce. Aby bylo zajištěno, že tavenina nezateče do dělicích ploch, musí mít otvor na výstupu z trysky menší průměr než je vstupní průměr otvoru na vtokové vložce. [31]

Rozvodný kanál

Rozvodné kanály slouží k dopravě taveniny z vtokového kanálu k vtokovému ústí. V případě vícenásobné formy zajišťuje rovnoměrné plnění. Jejich délka a průměr závisí na tloušťce stěny výrobku, hmotnosti výrobku, tokové dráze, teplotních poměrech a vstříkovaném materiálu. Průřezy vtokových kanálů pro krystalické polymery jsou větší, než pro polymery amorfní. Stejně jako u vtokového kanálu je potřeba i u rozvodného kanálu zachovat maximální objem při minimálním povrchu pro minimalizaci tepelných ztrát, dostatečnou velikost průřezu pro bezproblémové zaplnění dutiny a minimální možnou velikost průřezu pro redukci odpadu. [2], [26]



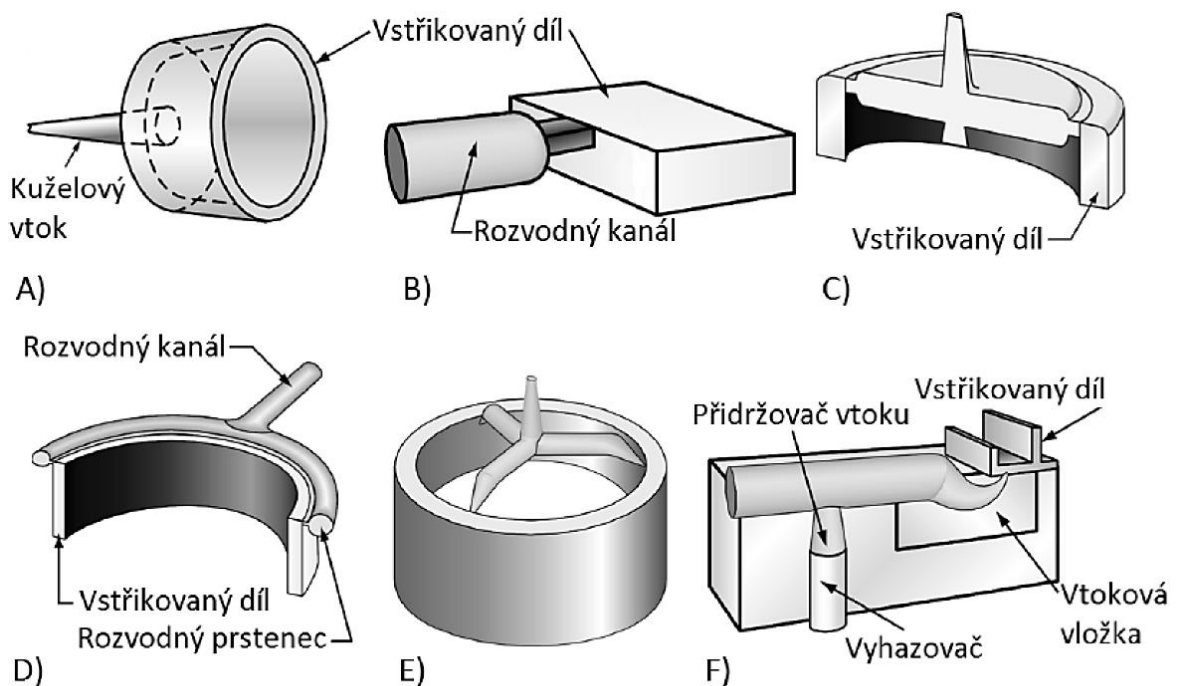
Obr. 4-10 Porovnání provedení rozváděcích kanálů. [5]

Vtokové ústí

Až na výjimečné případy je ústí vtoku spojovacím prvkem mezi rozváděcím kanálem a vstříkovaným dílem. Ústí vtoku by mělo mít menší tloušťku, než je tloušťka rozváděcího kanálu a tloušťka stěny vstříkovaného dílu z důvodu zvýšení teploty před vstupem do dutiny formy vlivem smykových rychlostí, zamrznutí materiálu v ústí vtoku a tím zabránění unikání materiálu zpět do rozváděcího kanálu po dotlakové fázi a snadné oddělení dílu od rozváděcích kanálů.[2],[5]

Druhy studených vtoků:

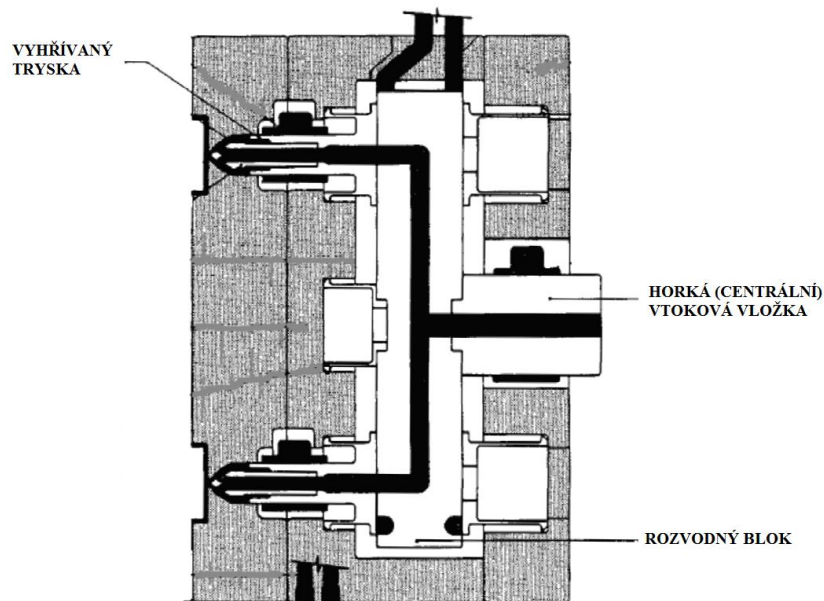
- plný kuželový vtok,
- obdélníkový vtok,
- talířový vtok,
- filmový vtok,
- tunelový vtok,
- banánový vtok.



Obr. 4-11 Vtoková ústí: A) Plný kuželový vtok, B) Obdélníkový vtok, C) Filmový - talířový vtok, D) Filmový vtok, E) Tunelový vtok, F) banánový vtok.

4.3.3 Horký vtokový systém

Neustálá snaha po vyšší automatizaci výrobního procesu a menších materiálových ztrátách vedla ke vzniku horkých vtokových systémů. Tyto systémy jsou sestavy vyhřívaných komponentů (horká vtoková vložka - centrální, rozvodový blok, trysky a ovládání jehly), které udržují vstříkovaný polymer při konstantní teplotě a dopraví jej do dutiny formy. Polymer má zaručenou stálou viskozitu v celém průřezu a délky rozváděcího systému od začátku vtoku, až do ústí dutiny formy.[32]



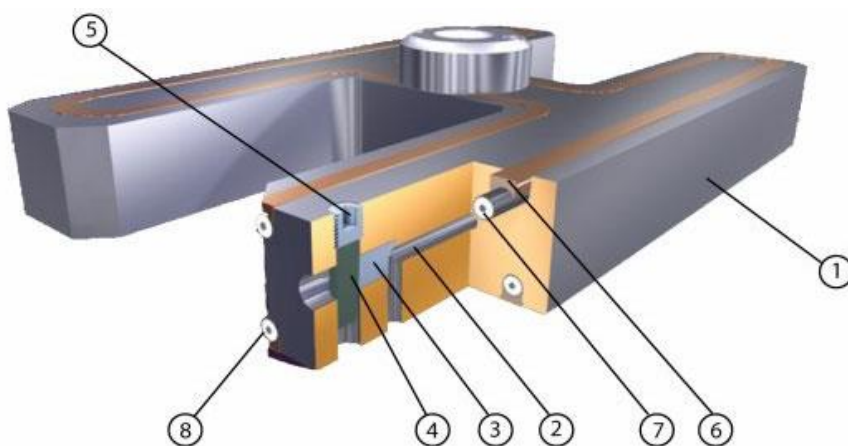
Obr. 4-12 Vyhřívaná vtoková soustava.[27]

Mezi výhody horkého vtokového systému patří: časové snížení výrobního cyklu, není zapotřebí výroba vtokových kanálů, eliminace odpadu (klesají náklady na dokončovací operace), odpadá obnova vtokové soustavy, doba vstříkování je snížena v důsledku odstranění vtokových kanálů, výrazné zmenšení tlakových ztrát v důsledku dopravení horké taveniny přímo do dutiny formy, ovládání (regulace) teploty se ovlivní vlastnosti vstříkovaného výrobku, modularita jednotlivých systémů, relativně jednoduchá výměna poškozeného vtoku, možnost postupného otevírání jednotlivých trysek – řízená poloha studených spojů a menší uzavírací síla stroje (odpadá vtoková soustava).

Mezi nevýhody horkého vtokového systému patří: náročnější konstrukční zástavba do formy, větší pořizovací náklady a nároky na provoz, obtížné dodatečné změny polohy vtoků, v porovnání se studenou soustavou (komplexní změna formy) a nelze použít pro některé materiály s velkou citlivostí na teplo.

Horký rozvodný blok

Rozvodné bloky se používají pro rozvedení taveniny ve více násobných formách. Tvary bloků a jejich uspořádání je závislé na velikosti, tvaru a násobnosti vstřikovaných dílů. Vyrábí se ve tvaru: I, H, Y, X, hvězdy atd. Bloky jsou vyhřívány elektrickými odporovými vodiči, které jsou umístěné v drážkách na povrchu bloku. Pro správnou funkci je nutné rovnoměrné rozmístění vodičů na rozvodovém bloku. Aby nedocházelo ke zbytečným tepelným ztrátám, jsou vodiče v krytech topení, které jsou vyrobeny z vysoce tepelně vodivých materiálů (měď, mosaz). Vyprodukované teplo přechází přímo do bloku. Aby nedocházelo k přenosu tepla z rozvodového bloku na okolní komponenty formy, je mezi rozvodovým blokem a komponenty formy vzduchová mezera.[32]

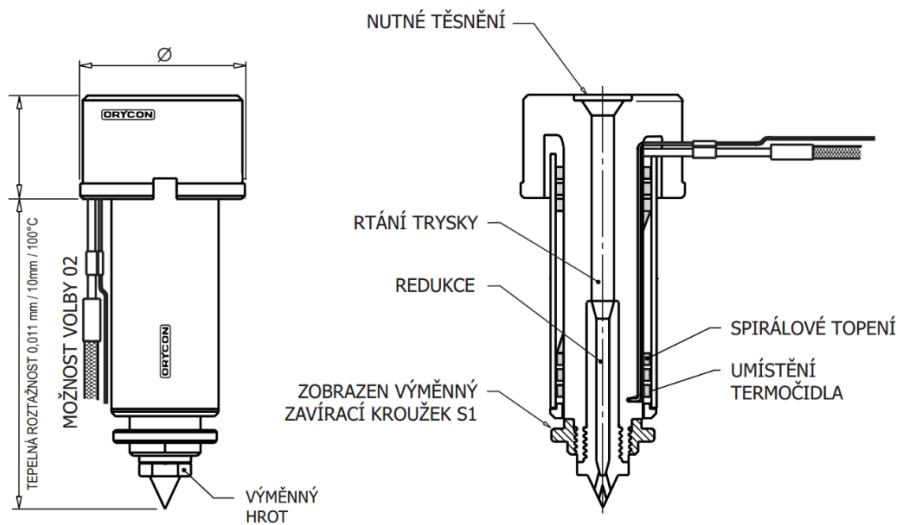


Obr. 4-13 Rozvodný blok: 1- tělo rozvaděče, 2- kanál, 3- koncovka, 4- šikmý kolík, 5- seřizovací šroub, 6- kryt topení, 7- tubulární topení, 8- druhá sada topení.[33]

Horké vtokové trysky

Jejich konstrukce umožňuje propojení vstřikovacího stroje s dutinou formy. Tryska má vlastní topný článek i s regulací nebo je ohřívána jiným zdrojem vtokové soustavy. Vyhřívána tryska musí mít takové vtokové ústí, které umožňuje, aby byl polymer na jedné straně tekutý a na druhé ztuhlý bez ucpávání, táhnutí vlákna nebo vytékání. Rozlišujeme přímo a nepřímou vyhřívání trysky. Ústí trysek může být:[2],[26]

- otevřené,
- s uzavírací jehlou,
- se špičkou pro plasty, které táhnou vlas,
- speciálně upravené.



Obr. 4-14 Popis horké vtokové trysky.[33]

4.4 Temperace vstřikovací formy

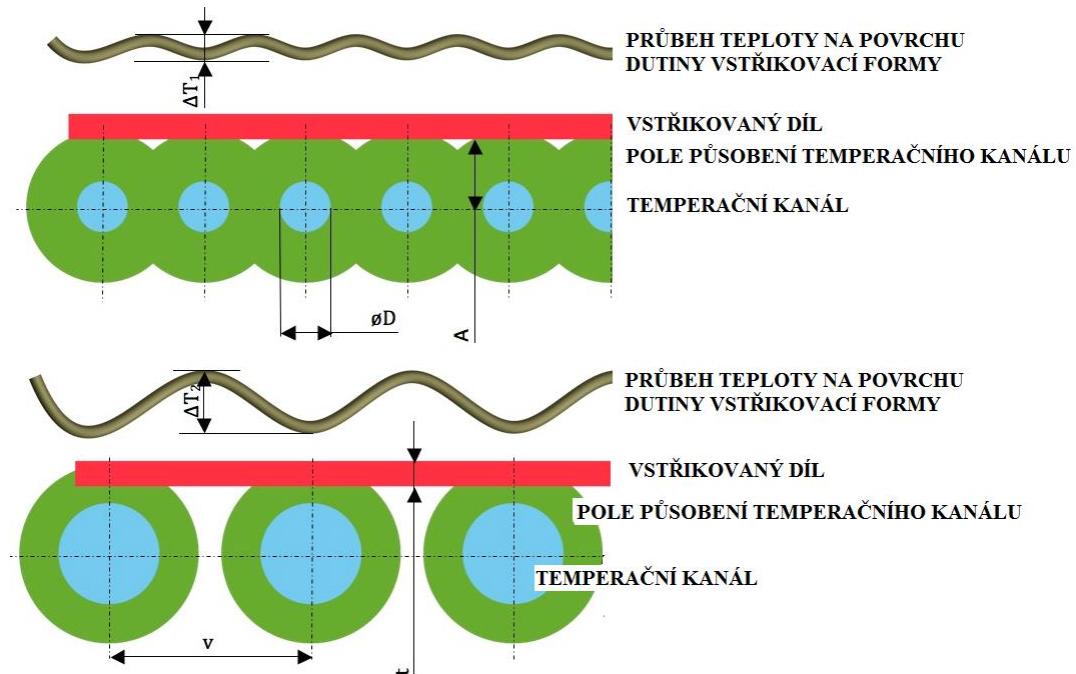
Hlavním úkolem temperačního systému vstřikovací formy během procesu vstřikování plastů je ustavit požadovanou teplotu dutiny vstřikovací formy v krátkém časovém okamžiku a udržet tuto teplotu v minimálním rozsahu. Temperace formy zahrnuje také činnost odvodu tepla při chlazení výrobku tak, aby mohl být vyjmut z formy, popřípadě i činnost vyhřívání dutiny formy s cílem dosáhnout vhodné teploty pro vstříknutí plastu. Teplota i její časový průběh ovlivňuje chování taveniny (výrobku) během výroby i poté, včetně výsledných vlastností a to jak mechanických, tak i smršnění, kvality povrchu, stupně krystalinity (u semikrystalických plastů), velikosti vnitřního napětí a celkové doby vstřikovacího cyklu (fáze chlazení - zaujímá převážnou část).[5]

4.4.1 Návrh temperačního systému

Temperační kanály s proudícím médiem jsou nejrozšířenějším způsobem ustavení vhodné teploty vstřikovací formy, ať už se jedná o vytápění formy při startu výroby popř. použití vyšších teplot vstřikovacích forem či chlazení formy při jejím provozu. Obvykle se tento systém skládá z následujících částí:[5]

- Temperační a řídicí jednotka.
- Temperační kanály.
- Spojovací prvky.
- Temperační médium.

Vhodnějším řešením temperačního systému je použití většího počtu temperačních kanálů s menším průměrem než menšího počtu temperačního kanálu s větším průměrem. Rozdíl mezi oběma řešeními spočívá v rovnoměrnosti rozložení teplot povrchu dutiny formy.[5]



Obr. 4-15 Porovnání efektu různého průměru temperačních kanálů.[5]

Kde: v – vzdálenost mezi kanály, t – tloušťka stěny výstřiku, A – vzdálenost kanálu od stěny dutiny vstřikovací formy, $\varnothing D$ – průměr kanálu, ΔT – rozdíl teplot

Síť temperačních kanálů by dále měla svým uspořádáním a pojetím splňovat následující kritéria:[5]

- Temperační okruh by neměl obsahovat tzv. mrtvá místa, kde neproudí kapalina z důvodu zvýšeného rizika zanášení nečistotami, vodním kamenem apod.
- Temperační kanály do průměru 6 mm je nutné provozovat s upravenou vodou či adekvátním temperačním médiem z důvodu rychlého zanášení malých průměrů např. vodním kamenem.
- Temperační účinek zesílit v oblasti vtokové vložky a ústí vtoku.

V případě víceokruhového temperačního systému je pro budoucí optimalizaci či řešení technologických problémů vhodné navrhnout síť temperačních kanálů tak, aby byla možná alespoň částečná změna cesty proudění temperačního média vstřikovací formou.

Pro rozvod temperačního média do míst, která by zůstala klasickými temperačními kanály nepokryta, se využívá přepážkového systému temperace vstřikovacích forem. Tento systém

se používá zejména z důvodu velmi obtížné vyrobiteľnosti adekvátního tvaru temperačního kanálu. Materiál obtokových přepážek bývá nejčastěji mosaz nebo měď, kvůli dobré tepelné vodivosti. Existují tři základní konstrukční podoby těchto systémů: [2],[5]

- ploché přepážky,
- spirálové přepážky,
- fontánky.

Mezi další temperační systémy rozvodu temperačního média do míst, které by zůstaly klasickými temperačními kanály nepokryty, patří systém Contura[®] a systém využívající tepelné trubice.[5]

4.5 Odvzdušnění dutin vstřikovací formy

Jak tavenina vstupuje do dutiny vstřikovací formy, velmi rychle před sebou vytlačuje vzduch, který po uzavření formy v dutině zůstal. Přestože určité množství vzduchu unikne přes dělicí rovinu popř. vodícími plochami vyhazovačů či pohyblivých jader, musí být většina vstřikovacích forem opatřena dalšími konstrukčními prvky, které umožní kompletní a rychlý odvod vzduchu z dutiny vstřikovací formy. V opačném případě by mohlo dojít k nedokonalému vyplnění tvarové dutiny taveninou plastu, k nebezpečnému zvýšení tlaku, k poklesu pevnosti v místech studených spojů nebo k tzv. diesel efektu, kdy může dojít až ke spálení materiálu. Odvzdušnění v dělicí rovině má být provedeno na protilehlém místě vtoku. Na dostatečné odvzdušnění formy má vliv umístění vtoku, způsob zaformování výstřiku, umístění vyhazovačů, přítomnost tvarových vložek apod.[5],[12]

4.6 Vyhazovací systém

Vyhazovací systém slouží k vyhození výstřiku z otevřené dutiny formy. Konstrukční řešení vyhazovacího systému jsou různá. Faktorem volby konstrukčního řešení jsou velikosti, tvaru a materiálu výstřiku. Jedná se o automatický výrobní cyklus a má v případě nejčastěji používaného mechanického vyhazování dvě fáze:

- dopředný pohyb (vlastní vyhození),
- zpětný pohyb (návrat vyhazovacího systému do své původní polohy).

K zajištění dobrého vyhození výstřiku se musí při konstrukci výrobku brát ohledy na několik parametrů. Výrobek musí mít hladký povrch a úkos stěn větší než $0,5^\circ$ ve směru vyhazování.

Při samotném vyhazování je třeba dodržet rovnoměrné vysunutí výrobku, aby nedocházelo k mechanickému poškození výrobku. [2]

Vyhazovací komponenty se dají využít i jako funkční části tvárníku. U studených vtokových systémů se vyhazovače používají i pro vyhození vtokových zbytků, které je možné při vyhození oddělit do výrobku. Pohyb vyhazovačů se zajišťuje: [14]

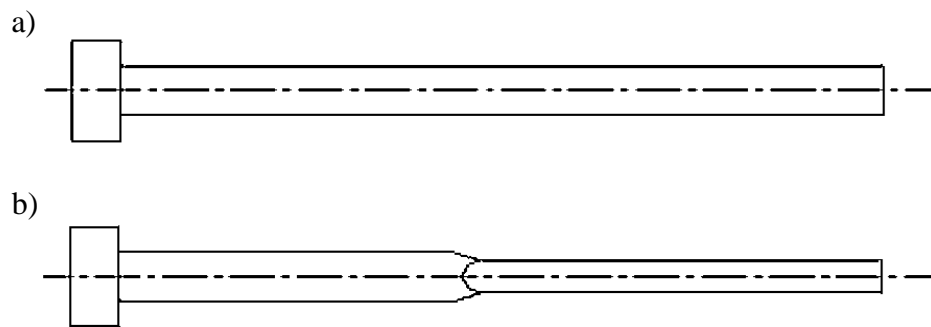
- narážecím kolíkem o traverzu vstřikovacího stroje při otevírání formy,
- hydraulickým, nebo pneumatickým zařízením, které je součástí vstřikovacího stroje (umožňuje měkké vyhazování),
- ručním vyhazováním nejrůznějšími mechanizmy (pro jednoduché a zkušební formy).
- pneumatickým manipulátorem, který může být součástí stroje.

4.6.1 Mechanické vyhození

Jedná se o nejrozšířenější systém vyhazování, který se používá kvůli své konstrukční jednoduchosti a ceně. Je to velmi spolehlivý systém. Má několik konstrukčních řešení:

a) *Vyhazovací kolíky*

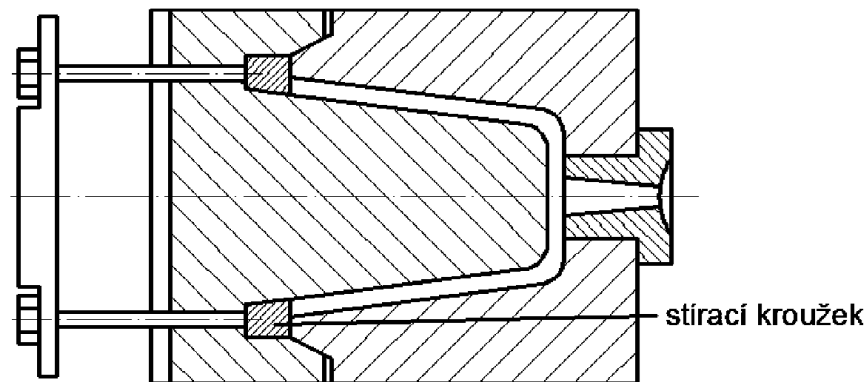
Tento typ je nejpoužívanějším, nejlevnějším a výrobně nejjednodušším systémem vyhazování. Lze jej umístit tam, kde je plocha výstřiku ve směru vyhození. Kolíky by měli být opřené o nepohledovou stěnu či žebro výrobku a nemělo by docházet k jeho borcení během vyhazování. Ovládání vyhazovacích kolíků zajišťují vyhazovací desky s táhlem, ve kterých jsou kolíky upevněny. Množství, velikost a způsob rozmístění vyhazovacích kolíků bývá často omezeno temperačním systémem. Vyhazovače musí být dostatečně tuhé a snadno vyrobitelné. Mohou být válcové, kuželové, prizmatické nebo i odlišného tvaru, který je potřeba pro daný výrobek. Ve formě jsou uloženy v tolerancích H7/g6, H7/h6, H7/j6 podle viskozity vstřikovaného polymeru. Vůle v uložení slouží jako odvzdušnění formy. [34]



Obr. 4-16 Vyhazovací kolíky: a) válcový kolík b) prizmatický vyhazovač [4]

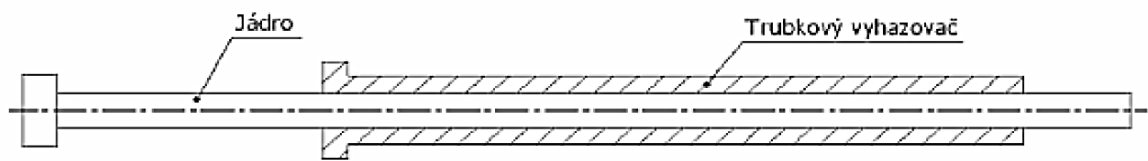
b) stírací desky a trubkové vyhazovače

Stírací deska se během vyhazování opírá do výstřiku po celém jeho obvodu a tím eliminuje stopy po vyhazovačích, které jsou typické pro vyhazování pomocí kolíků, jelikož je mezi deskou a výstřikem velká styčná plocha. Díky velké stírací síle nedochází k velkým deformacím, a proto je tento vyhazovací systém vhodný i pro tenkostěnné výrobky. Výstřik by měl na stírací desku dosedat v rovině, případně v mírně zakřivené ploše.[34]



Obr. 4-17 Stírací deska (kroužek).[34]

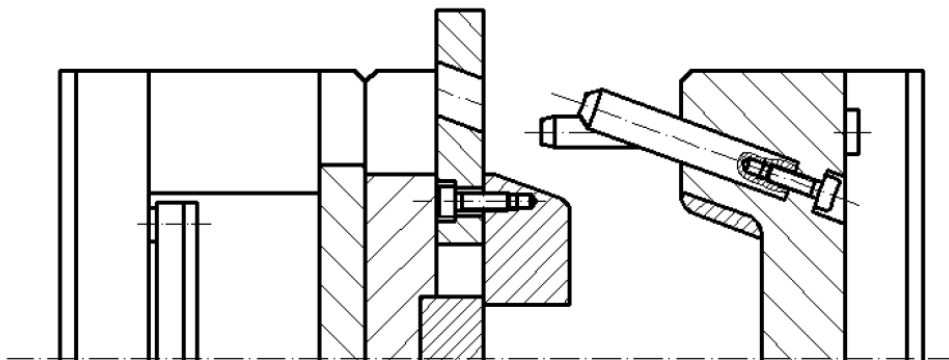
Zvláštním případem stírací desky je trubkový vyhazovač. Plní funkci stírací desky, ale pracuje jako vyhazovací kolík. Vyhazovací kolík je pevně ukotven v desce, nepohybuje se a tvoří pevné jádro.[34]



Obr. 4-18 Trubkový vyhazovač.[4]

c) šikmé vyhazování

Při vyhazování pomocí šikmých čepů nejsou vyhazovací kolíky kolmé k dělicí rovině, ale jsou uloženy pod různými úhly. Rozpětí úhlů, ve kterých lze šikmé čepy používat je od 15° až 25° ve speciálních případech až 30° . Využívá se pro odformování tvarově složitějších výrobků, které nelze odformovat standartním jednoduchým způsobem. Šikmý kolík provádí především otvírací pohyb. Otevřená poloha se zajišťuje např. kuličkou nebo jinou západkou. Uzavření je opět prováděno šikmým kolíkem, který je v čelisti veden v otvoru s vůlí.[2]



Obr. 4-19 Odformování pomocí šikmých čepů.[4]

d) Lomené kolíky

Vyhazování pomocí lomených kolíků je téměř stejné jako vyhazování pomocí šikmých čepů s tím rozdílem, že může dojít ke zpoždění odsunu posuvných čelistí při otvírání formy. Tím je možné vytáhnout čelist s jádrem při téměř jakémkoliv otevření formy. Výhodou oproti šikmým kolíkům je, že sklon uzavíracích ploch může být menší. Úhel sklonu kolíků bývá od 12° do 25° , a vůle mezi lomeným kolíkem a čelistí bývá 0,2 - 0,5 mm. Poměr stran u obdélníkových lomených kolíků bývá 1:1,5 až 2.[34]

4.6.2 Pneumatické vyhazování

Je vhodné pro vyhazování tenkostěnných výstřiků větších rozměrů ve tvaru nádob, které vyžadují při vyhazování zavzdušnit, aby se nedeformovaly. Běžné mechanické vyhazování

větších výstřiků vyžaduje značné zvětšení délky formy, kvůli zdvihu vyhazovačů. Pneumatické vyhazování zavádí stlačený vzduch mezi výrobkem a tvárník a tím vytvoří vzduchovou kapsu, která výrobek odtláčí od tvárníku. Vyloučí se místní přetížení a nevzniknou na výstřiku stopy po vyhazovačích. Použití pneumatického vyhazování je omezeno jen na některé tvary výstřiků.[34]

4.6.3 Hydraulické vyhazování

Využívá se k ovládní mechanických vyhazovačů, které nahrazuje pružnějším pohybem a velkou flexibilitou. Hydraulické vyhazování je zabudované přímo ve formě. Také se využívá k ovládní bočních posuvných čelistí pro svou jednoduchou konstrukci. Hydraulické systémy mají kratší a pomalejší zdvih ale velkou vyhazovací sílu a setkáváme se s nimi jen výjimečně. [34]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE

V diplomové práci byly stanoveny tyto základní cíle:

- vypracujte literární studii na dané téma,
- proveďte konstrukci 3D modelu vstřikovaného dílu,
- navrhnete vstřikovací formu pro zadaný díl,
- nakreslete 2D řez vstřikovací formou včetně příslušných pohledů a kusovníku,
- proveďte analýzu procesu vstřikování v programu Moldflow.

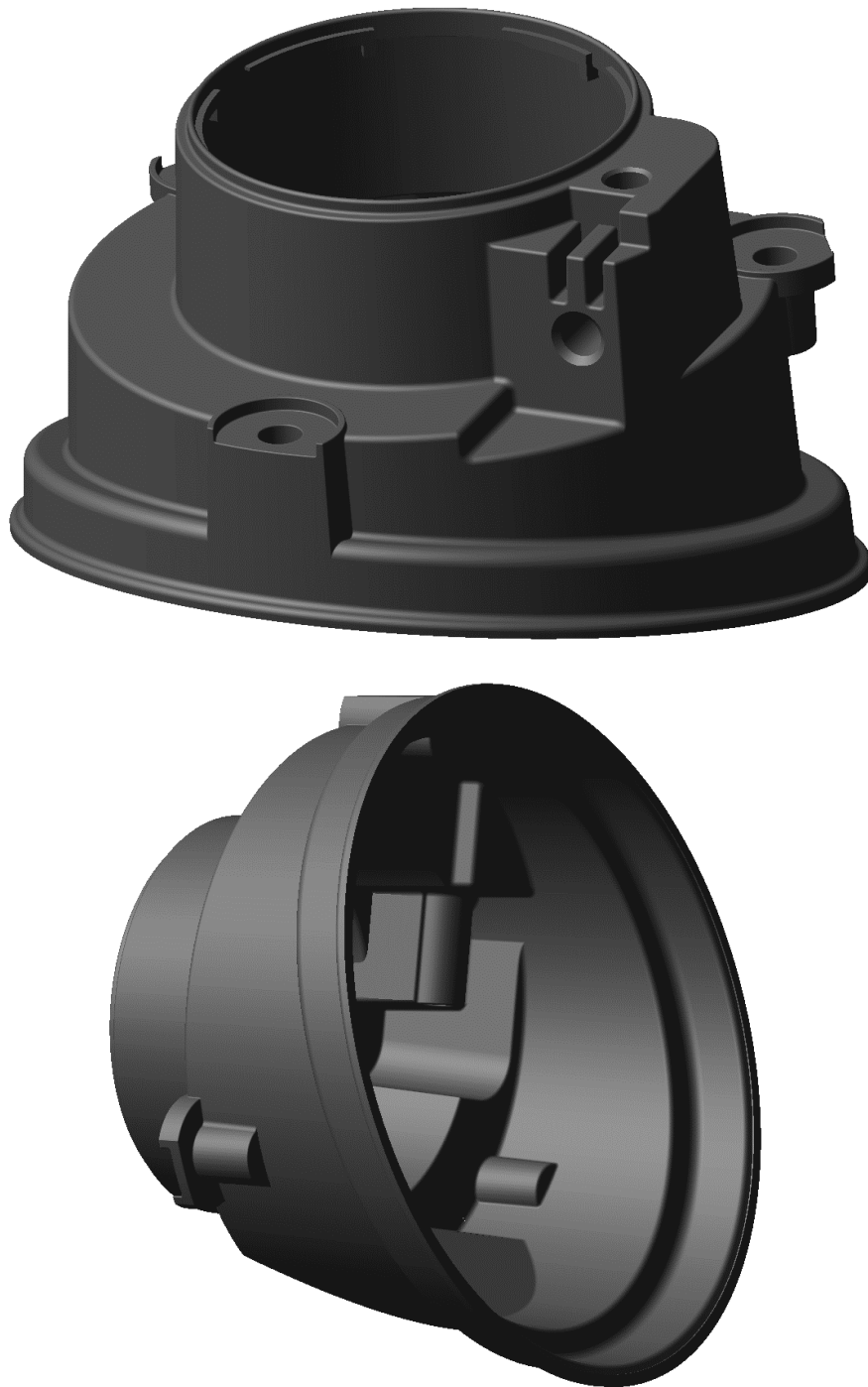
Literární studie zahrnutá v teoretické části popisuje problematiku technologie vstřikování, konstrukce vstřikovacích forem, konstrukce vstřikovaných výrobků a polymerních materiálů vhodných pro technologii vstřikování.

Při kreslení 3D modelu plastového dílu automobilu se vychází z již vyrobeného dílu, který je používán v mlhových světlech osobního automobilu.

Úkolem praktické části je na základě poznatků části teoretické a za čteného použití normálí navrhout konstrukci vstřikovací formy a zadaného dílu v programu CATIA V5R19. Dílčím cílem praktické části je také testování funkčnosti vstřikovací formy a její následná úprava na základě výsledků analýz z programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 (dále jen Moldflow).

6 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Vstřikovaný díl je komponent předního mlhového světla automobilu Renault Clio. Tento díl je uložen v plastovém dílu na spodní části předního nárazníku a ve vnitřní části tohoto dílu se nachází osvětlovací systém mlhového světla, tudíž tento díl nemá žádné pohledové plochy. Základní charakteristické rozměry výstřiku jsou 83 x 118 x 118 (v x š x d).



Obr. 6-1 Mlhový světlomet.

6.1 Materiál vstřikovaného dílu

Materiál byl zvolen PA6 plněný z 35% skelnými vlákny od společnosti Rhodia Engineering Plastics pod obchodním názvem Technyl Star S 218 V35 Black. PA6 je jeden z nejčastějších konstrukčních krystalických termoplastů. Jedná se o pevný, tuhý a pružný polymer odolávající i vyšším teplotám, což je pro tento případ výhodné. Chemická odolnost vůči slabým kyselinám, olejům, alkoholům a horké vodě je dobrá, naopak odolnost proti silným kyselinám a oxidačním činidlům je špatná. Materiálový list tohoto materiálu je vložen v příloze P I.[35]

Tab. 1 Materiálové parametry z databáze Moldflow pro Technyl Star S 218 V35 Black.

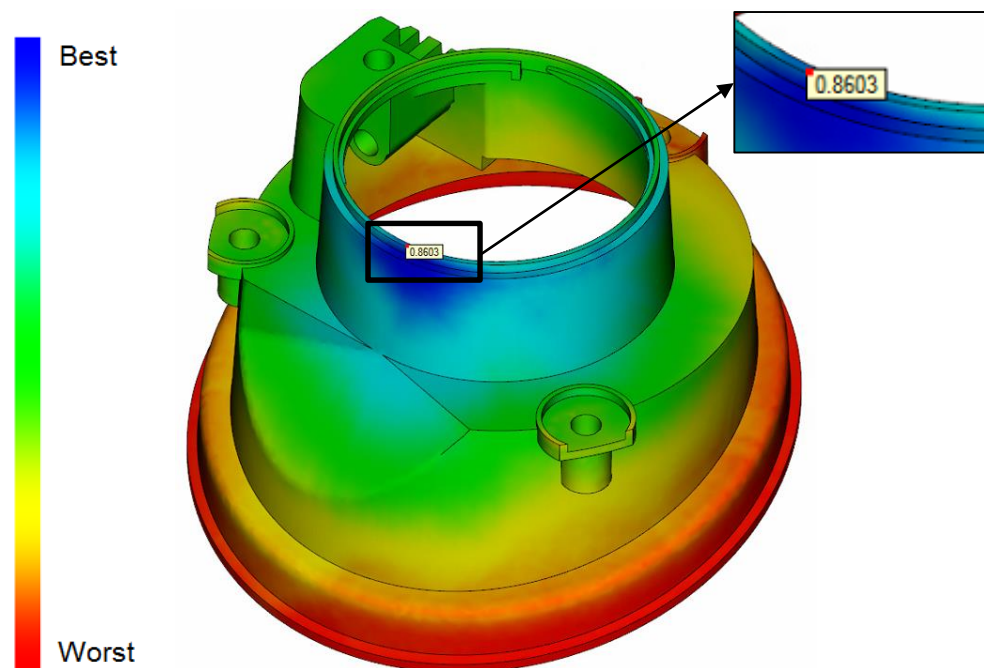
Materiálový parametr	Hodnota	Jednotka
Teplota povrchu formy	80	°C
Teplota taveniny	260	°C
Doporučený rozsah teploty formy	60 - 110	°C
Doporučený rozsah teplota taveniny	240 - 280	°C
Nejvyšší možná teplota taveniny	300	°C
Doporučená teplota při vyhazování	176	°C
Maximální smykové napětí	0,5	MPa
Maximální rychlost smykové deformace	100000	s ⁻¹
Průměrná hodnota smrštění	1,95	%
Modul pružnosti v tahu	10025	MPa
Modul pružnosti ve smyku	2527,7	MPa
Poissonovo číslo	0.4712	-

7 NÁVRH KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Návrh konstrukce vstřikovací formy spočíval v návrhu: násobnosti formy, vtokového systému, temperace, systému odformování a vyhození výrobku z formy (orientace vstřikovaného dílu ve formě). Pro zvýšení rychlosti výroby a snížení ceny byla snaha o maximální využití normálií. Mezi nejčastěji využívané výrobce normálií patří firmy Hasco a Meusburger.

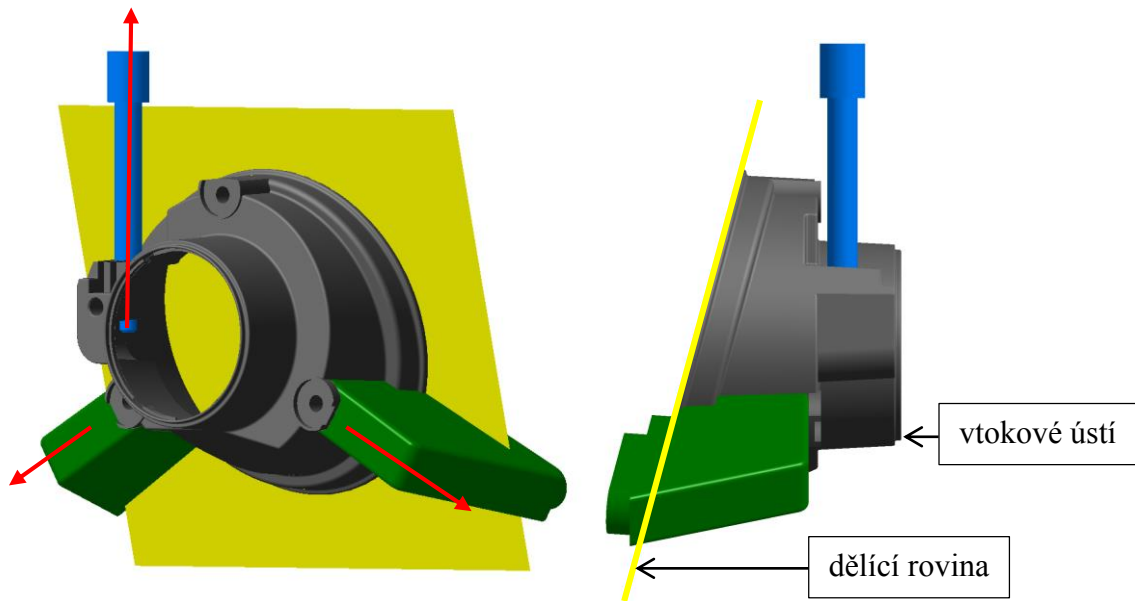
7.1 Orientace vstřikovaného dílu ve formě

Pro určení orientace výstřiku ve formě je důležité vhodně zvolit vtok a zároveň naorientovat výstřik tak, aby se dal co nejjednodušeji odformovat a následně vyhodit. V neposlední řadě musí orientace výstřiku umožnit návrh adekvátního chlazení. Pro určení optimálního umístění vtokového ústí na výrobku byla provedena tzv. analýza Gate location v programu Moldflow, která určí pomocí barevné škály vhodnost umístění vtokového ústí, kde modrá je nejvhodnější a červená nejméně vhodné místo pro vtok.



Obr. 7-1 Gate location.

Z tvarové složitosti výstřiku a s ohledem na umístění vtoku do co nejvhodnějšího místa (s procentuální vhodností přibližně 86% - obr. 7-1) byl výstřik naorientován tak, že osa rotace je shodná s osou plastikační jednotky, přičemž odformování dvou bočních výstupků zajišťují posuvné kostky a odformování otvoru je za pomoci hydraulického tahače jader. Výsledkem je pak šikmá dělicí rovina jak lze vidět na obr. 7-2.



Obr. 7-2 Orientace vstříkovaného dílu ve formě.

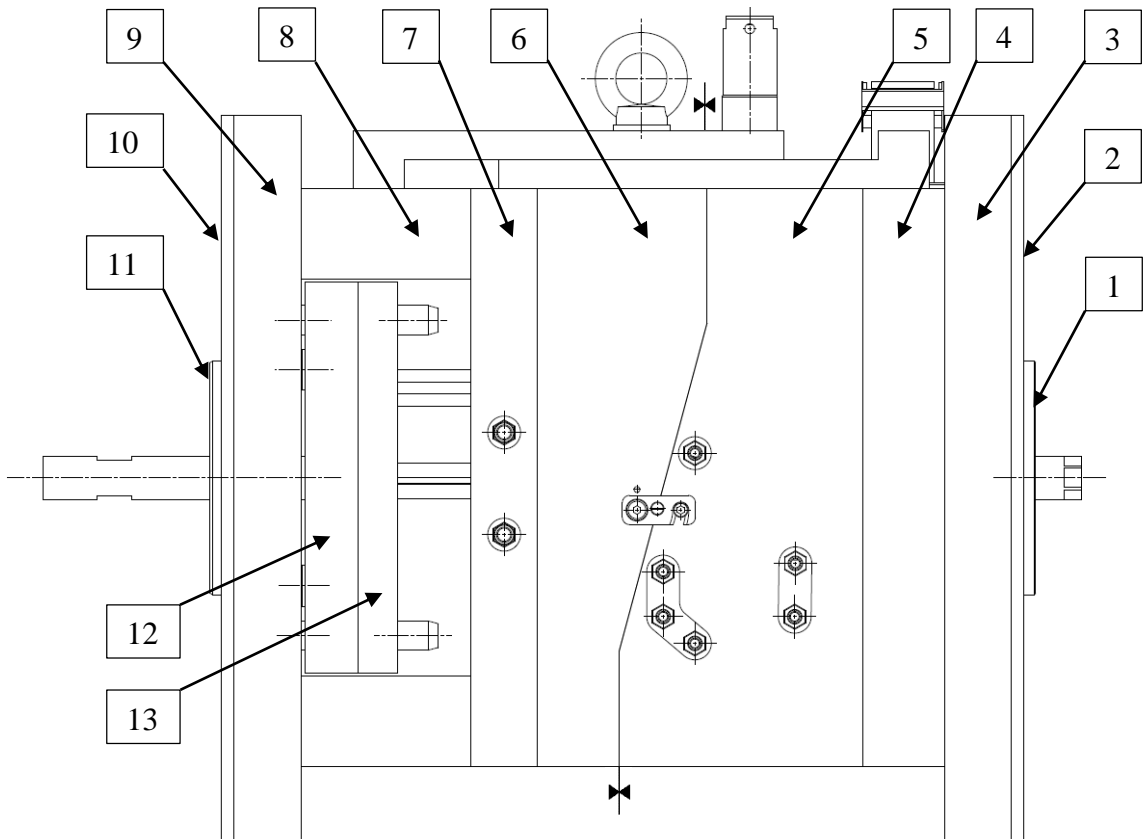
7.2 Konstrukce vstříkovací formy

Z důvodu složitosti odformování výstřiku a šikmé dělicí rovině je forma dvojnásobná přičemž se vstříkuje zároveň levý a pravý díl mlhového světla. Forma má jednu šikmou dělicí rovinu pod úhlem 15° a skládá se z pravé (nepohyblivé) části, levé (pohyblivé) části a mechanického vyhazovacího systému. Vtokový systém je horký se dvěma tryskami – do každé dutiny jedna. Odformování každého dílu je zajištěno dvěma posuvnými kostkami a hydraulickým tahačem jader. Díl je vyhozen pomocí sedmi kolíkových (válcových) vyhazovačů. Desky rámu jsou vybrány z normálií Hasco. Desky sloužily jako polotovar, protože se musely konstrukčně upravit. Rozměry vstříkovací formy jsou 496 x 896 x 550 (v x š x d).

7.2.1 Rám formy

Rám formy je založen na bázi: Mould base assembly 5 od firmy Hasco. Skládá se z pravé a levé izolační desky (2, 10), pravé a levé kotevní desky (3, 9), pravé a levé opěrné desky (4, 7), pravé a levé tvarové desky (5, 6), rozpěrek (8), opěrné vyhazovací (12) a kotevní vyhazovací (13) desky. Dále se skládá z pravého středícího kroužku E 1377 (1) a levého středícího kroužku E 1360 (11) od firmy Meusburger o vnějším průměru 160mm, které slouží k vystředění formy na stroj. Forma bude upnuta ke stroji pomocí upínek za kotevní desky. Rozmístění desek lze vidět na obr. 7-3.

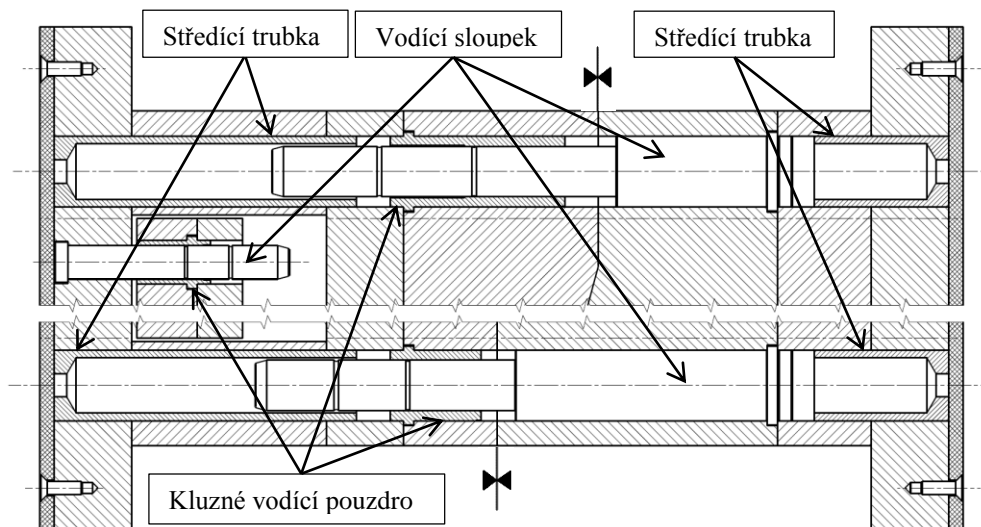
Postranní izolační desky jsou z polymeru plněným skelnými vlákny. Ostatní desky i středící kroužky jsou z oceli 1.1730.



Obr. 7-3 Rám formy.

7.2.2 Vodící a středící členy

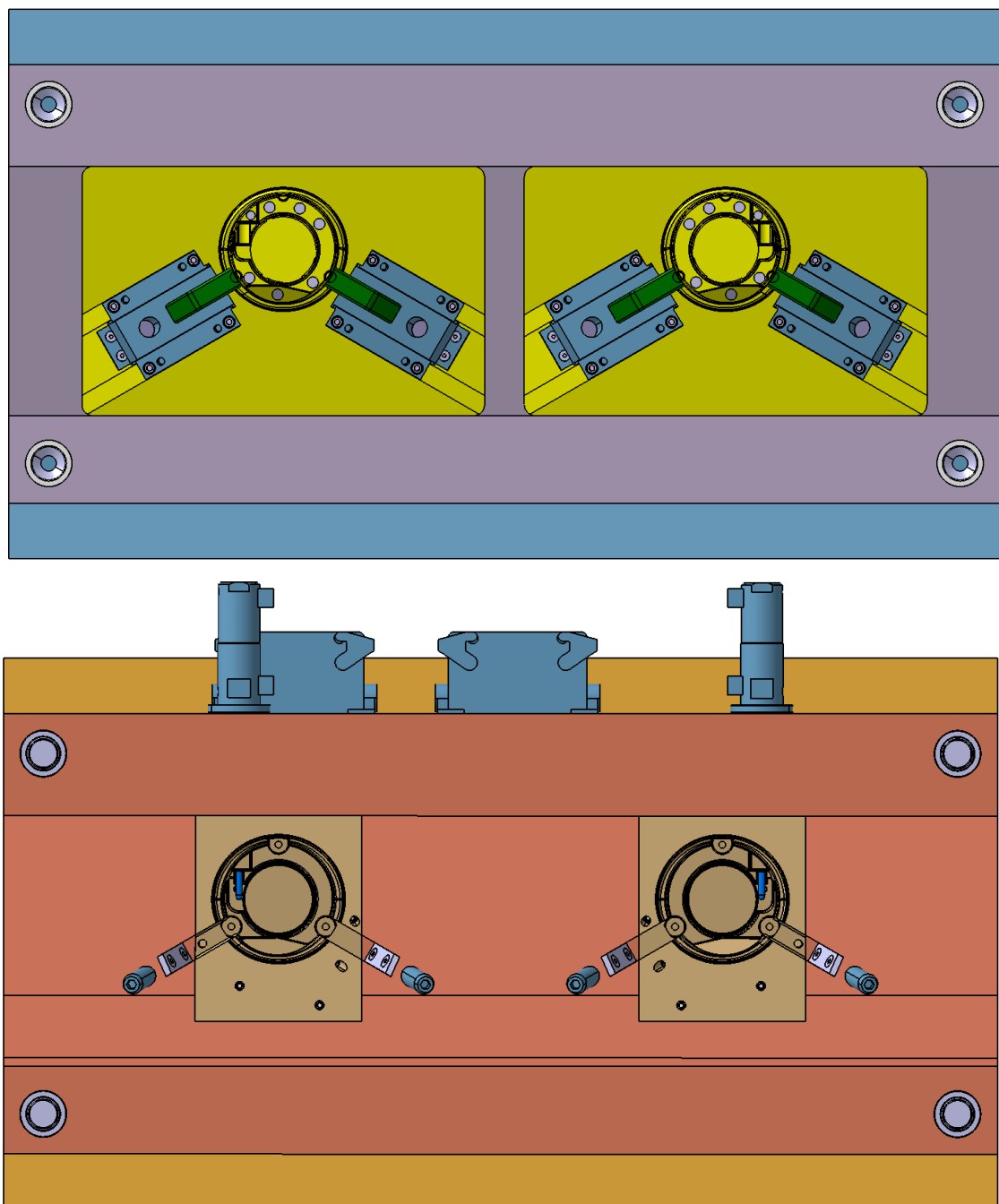
Vodící a středící prvky zajišťují plynulý chod vstřikovací formy a mechanického vyhazovacího systému, a jsou převzaty z normálií firmy Hasco. Středící prvky zároveň slouží k vycentrování jednotlivých desek formy vůči sobě. Z důvodu šikmé dělicí roviny jsou vodící sloupky a vodící pouzdra na spodní a horní straně formy v rozdílných délkách.



Obr. 7-4 Vodící a středící členy.

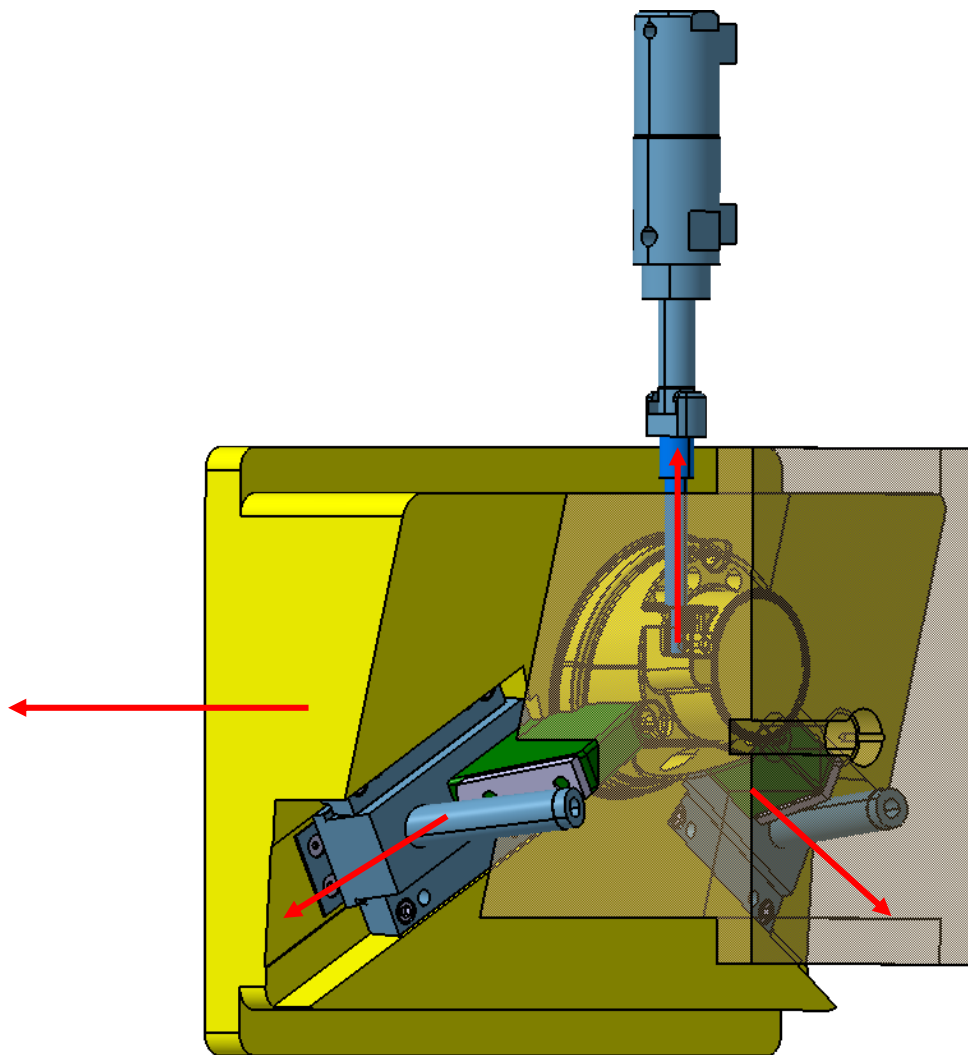
7.2.3 Odformovací systém

Tvar produktu vyrobeného vstřikováním je dán tvarovými vložkami, posuvnými tvarovými kostkami a jádrem. Všechny tyto komponenty jsou vyrobeny z oceli 1.2343, které jsou cementovány a kaleny na 55HRC. To je nezbytné, aby se vlivem abraze mezi polymerem a tvarovou vložkou minimalizovaly rozměrové změny dutiny formy. Tvárnicové i tvárníkové vložky jsou vůči sobě zrcadlově obrácené, jak lze vidět na pohledech do dělicí roviny (obr. 7-5). Dutina formy je zvětšena o průměrné smrštění vstřikovaného materiálu (1,95%).



Obr. 7-5 Pohled do dělicí roviny zprava (horní obr.) a z levé (dolní obr.).

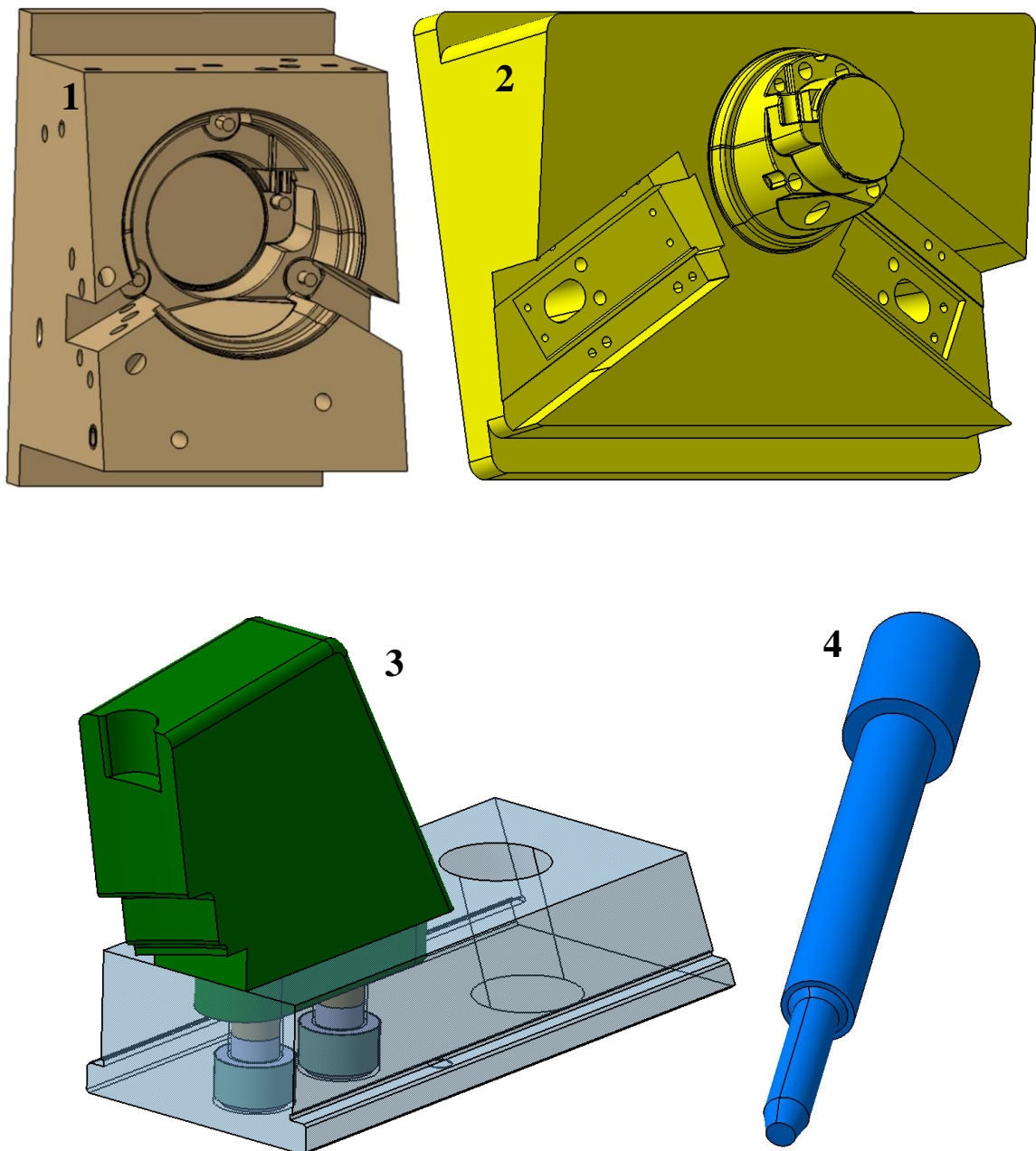
Tvarové vložky jsou vyrobeny tak, aby byly snadno samostatně vyměnitelné. V případě výměny tvárníku a tvárnice se tak nemusí měnit celá deska s dvěma obtisky, což by bylo finančně nákladné. Dále musí být tvarové vložky s tvarovými posuvnými kostkami a s jádrem mezi sebou kvalitně dolícovány, aby se polymer nedostal mimo dutinu formy.



Obr. 7-6 Odformovací systém.

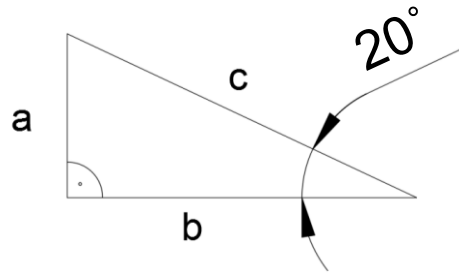
Na obr. 7-6 je znázorněno, kterým směrem se pohybují jednotlivé části odformovacího systému. V pravé části formy se nachází tvárnice vložky se šikmými čepky uloženými pod úhlem 20° , které jsou statické a při odformování nekonají žádný pohyb. Dále se na pravé straně nachází hydraulický tahač jader od firmy Hasco, který před samotným otevřením formy zajistí odformování otvoru. V levé části formy se nachází tvárnice vložky ve kterých jsou usazeny posuvné tvarové kostky přichyceny k šoupátkům pohybujících se v posuvných lištách na plochem vedení. Po vysunutí jádra hydraulickým tahačem odjíždí levá část formy a šoupátka se pohybují po statických šikmých čepkách, díky čemuž se tvarové

kostky vůči výstřiku rozevírají. Délka šikmého čepu je vypočtena tak, aby došlo k celému vysunutí posuvné kostky a zároveň aby nedošlo ke kontaktu šoupátka s tvarovou deskou. Šoupátka jsou zachycena ve vysunuté poloze pomocí stavěcích šroubů s kuličkou Meusburger E1250 a v zasunuté poloze zajištěny zámky v pravé tvarové desce. Šoupátko s posuvnými lištami a plochým vedením je od firmy Hasco.



Obr. 7-7 Tvarové segmenty: 1 – tvárnicová vložka, 2 – tvárníková vložka, 3 – tvarová kostka na šoupátku, 4 – jádro.

Výpočet délky šikmého čepu:



a_{\min} – potřebný zdvih kostky pro vyhození výstřiku = 8mm

a_{\max} – maximální zdvih kostky, aby šoupátko nenarazilo do tvarové desky = 26mm

a – zvolená délka posuvu tvarové kostky = 20,5mm

b – minimální vzdálenost, o kterou se musí forma otevřít:

$$\frac{a}{\operatorname{tg} 20^\circ} = \frac{20,5}{\operatorname{tg} 20^\circ} = 56,3\text{mm} \quad (7.1)$$

c – délka čepu:

$$\sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{20,5^2 + 56,3^2} = 59,9\text{mm} \rightarrow 60\text{mm} \quad (7.2)$$

Z výpočtů vyplývá, že délka vysunutí šikmého čepu je 60mm.

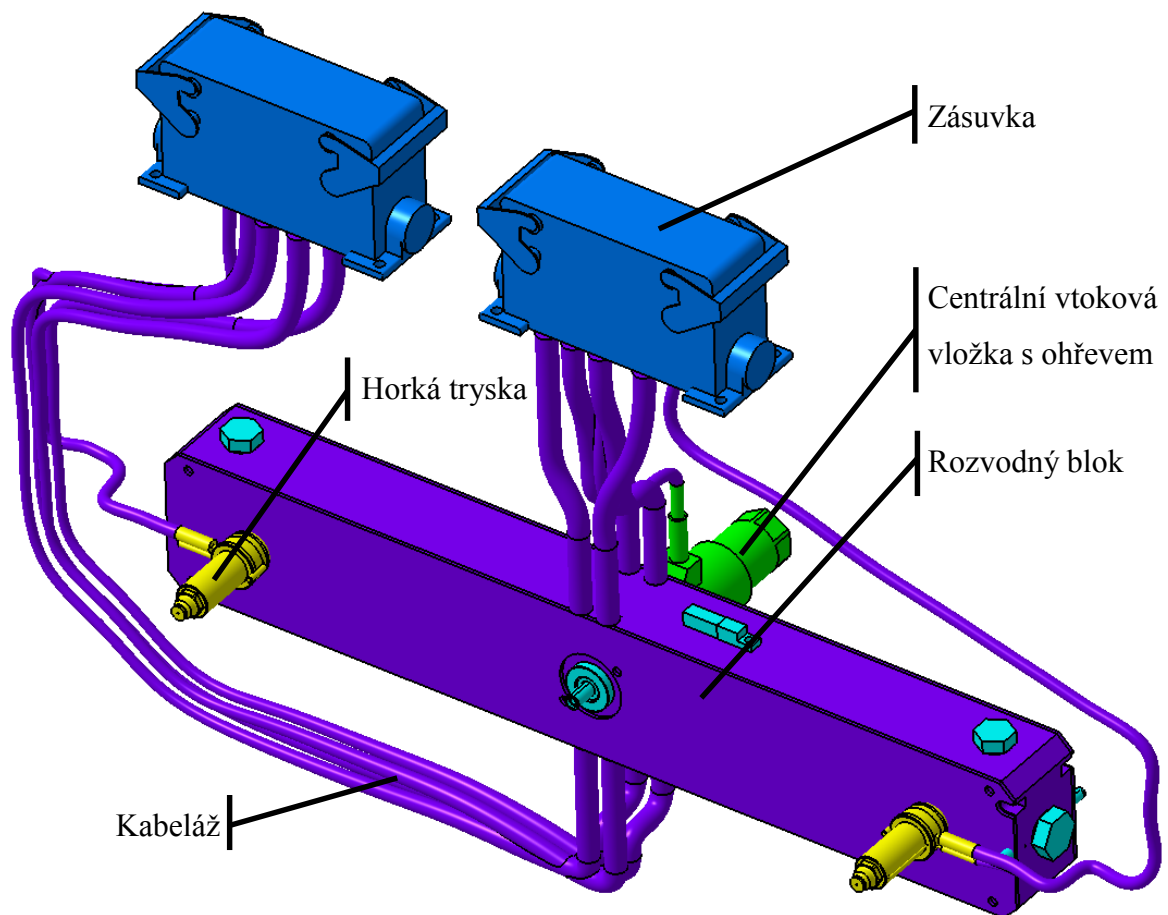
7.2.4 Odvzdušnění

Před vstříknutím polymeru do dutiny formy je tento prostor zaplněn vzduchem, který je potřeba odvést mimo dutinu. V opačném případě by se vlivem velké vstřikovací rychlosti vzduch stlačoval a zahříval. To by způsobilo spálená místa, degradaci vstřikovaného materiálu popř. nedotečení taveniny. V tomto návrhu je počítáno s tím, že vzduch uniká vůlí mezi dělicí rovinou, vůlí mezi posuvnými kostkami a vůlí mezi vyhazovači. Kdyby i tak vzduch zůstal v dutině, muselo by se provést dodatečné odvzdušnění, a to v podobě drážek v problematických místech.

7.2.5 Vtokový systém

Ve vstřikovací formě byl zvolen horký vtokový systém z důvodů složitosti výrobku a především velkému počtu vyráběných kusů. Nevýhodou toho systému oproti systému studeného vtoku jsou vyšší pořizovací a provozní náklady. Naopak výhodou je zamezení tvorby vtokových zbytků, což snižuje jak spotřebu polymeru, tak náklady spojené s likvidací vtokových zbytků. Tím pádem výrazně snižuje cenu výrobku při hromadné výrobě. Navržený

horky vtokový systém je od firmy Hasco a skládá se z centrální vtokové vložky Z1055/1/30x112 s vnitřním průměrem 12mm a s ohřevem Z1134/30x50/250, rozvodného bloku tvaru „I“ H4000/2/70x500x46/90 s vnitřním průměrem 10mm a dvou horkých trysek Z332011/25x63 se vzájemnou roztečí 400mm, vnitřním průměrem 4,5mm a průměrem na výstupu 1mm. Celý systém je napájen ze zásuvek pomocí kabeláže viz obr. 7-8.

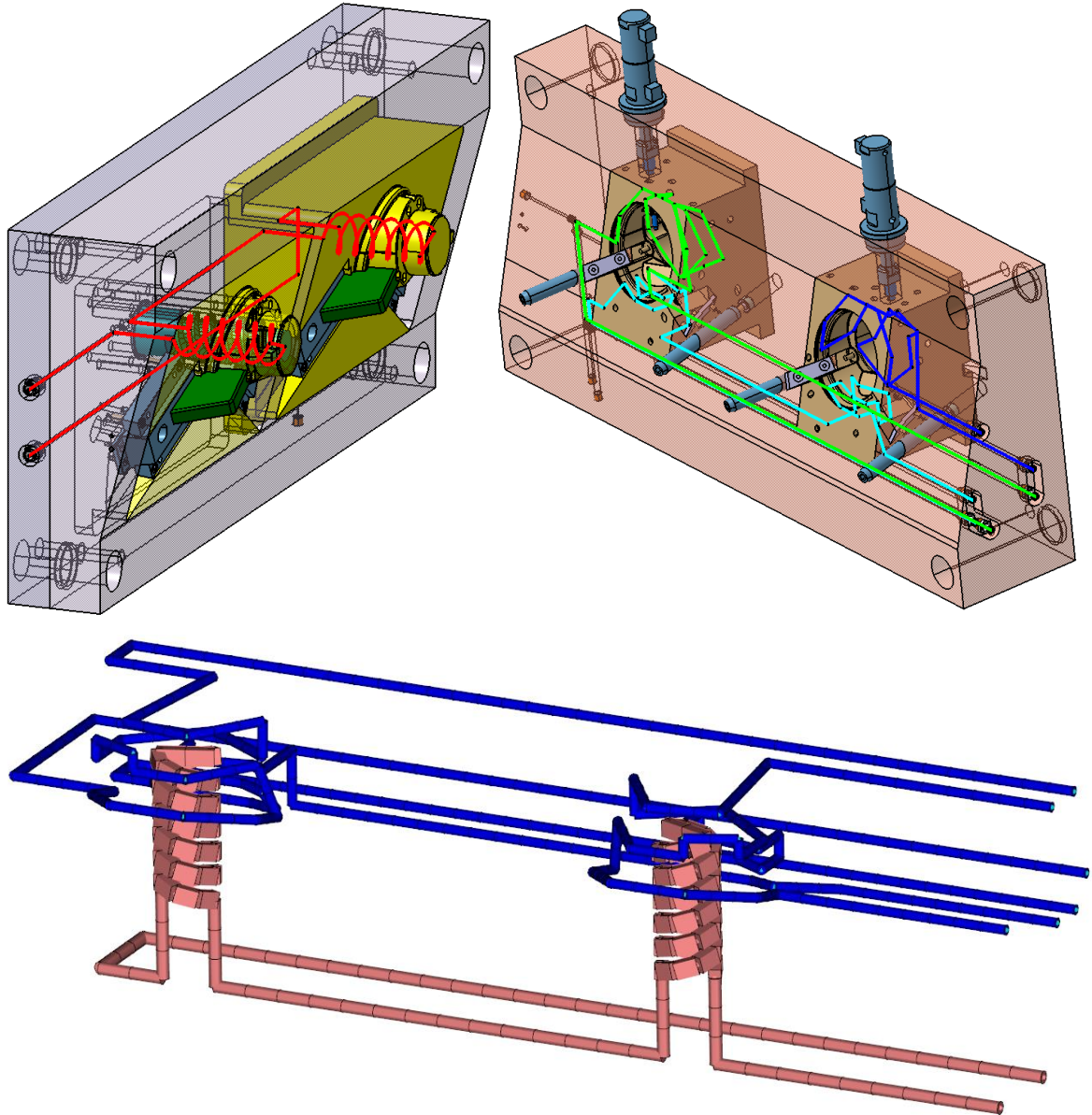


Obr. 7-8 Vtokový systém.

7.2.6 Temperační systém

Snahou temperačního systému formy je zajistit pro všechny vstříkované dílce co nejpodobnější podmínky chlazení. Celá forma obsahuje 4 samostatné temperační okruhy. Pravá strana formy vyžaduje velmi intenzivní chlazení z důvodu použití horké vtokové soustavy, která neúměrně ohřívá celou formu. Nachází se zde 3 samostatné okruhy s průměrem kanálů 8mm, přičemž první okruh vede spodní částí formy a je pro oba výstřiky společný. Druhý a třetí okruh jsou shodné a každý temperuje horní a boční část jednoho výstřiku. Na levé straně formy se nachází jeden okruh obsahující dvě obtokové spirály E2122/50x175 od firmy Meusburger propojené kanály o průměru 10mm. Ostatní použité normální v temperačním

systemu jsou od firmy Hasco. Všechny kanály vedoucí přes přechodové plochy jsou opatřeny těsníci kroužky. Jako temperační médium je zvolena voda, která je temperována na 65°C. Temperaci je možno zajistit temperační jednotkou SIC-9W-R2 od firmy Shini.

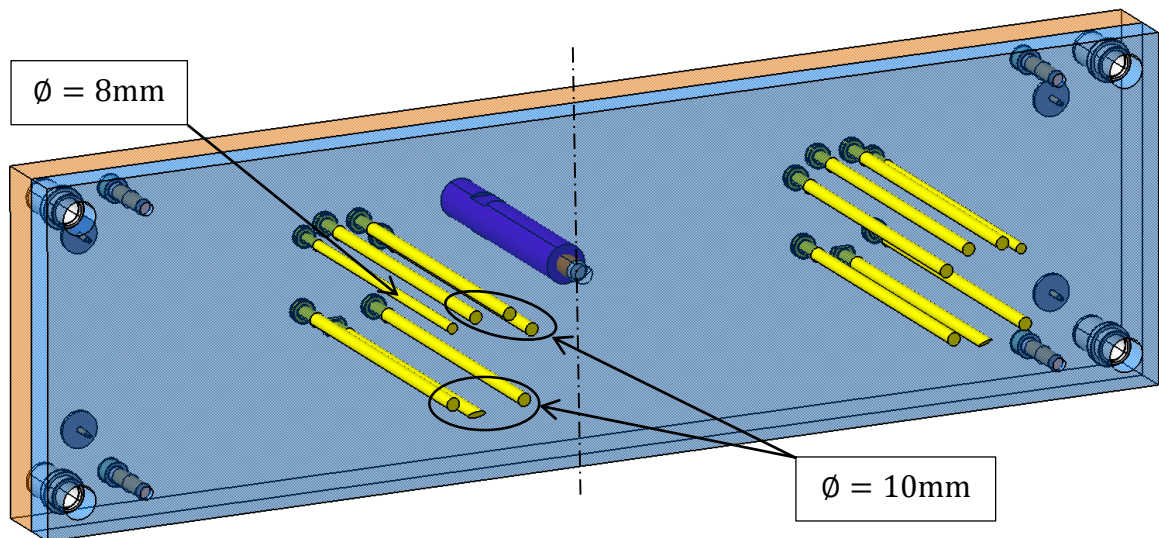


Obr. 7-9 Temperační systém.

7.2.7 Vyhazovací systém

Vyhazování výrobku je provedeno 14 válcovými vyhazovači o průměru 10mm a 8mm, kteří díl povyhodí a robotem, který vyjme výrobek pneumatickými tvarovými přísavkami z dutiny vstřikovací formy. Vyhazovače jsou převzaty z normálií Hasco ve formě polotovaru Z40 o délce 315mm a jsou následně upraveny na požadovanou délku a tvar. Dopředný a zpětný

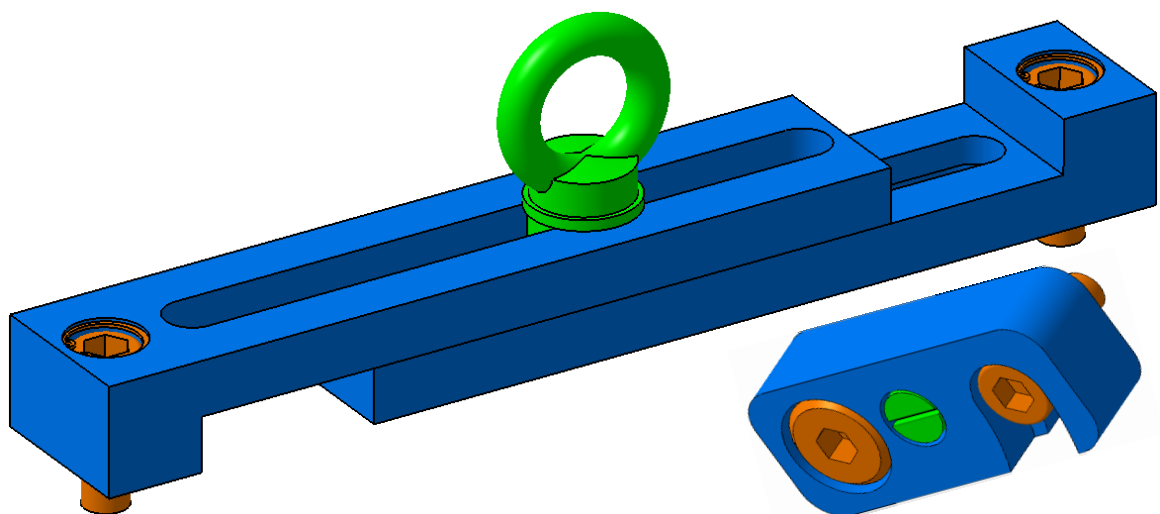
pohyb je zajištěn táhlem a vodícími členy. Dále je opěrná vyhazovací deska opatřena dora-zovými podložkami.



Obr. 7-10 Vyhazovací systém.

7.2.8 Manipulace s formou

Pro manipulaci a přemísťování je forma opatřena dvěma transportními můstky Z70 – typ 3, které jsou uchyceny v pravé opěrné desce a v rozpěrce. Dále je vstřikovací forma vybavena dvěma zámky Z73/12x20x50, které zabraňují rozevření pravé strany a levé strany vstřikovací formy během transportu. Zámky se využívají pouze při manipulaci s formou mimo vstřikovací stroj. Zámky a transportní můstky jsou převzaty z normálí firmy Hasco.



Obr. 7-11 Manipulační a pojistné prvky.

8 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

V této části byla nejdříve provedena volba a optimalizace sítě v programu Moldfow, následně více zmíněná analýza gate location (obr. 7-1). Po zvolení vtoku proběhla předběžná analýza plnění. Po návrhu konstrukce vstřikovací formy byla provedena prvotní (defaultní) celková analýza (chlazení + plnění + dotlak + smrštění), na jejímž základě byl zvolen stroj a byly optimalizovány procesní podmínky, které byly ověřeny v upravené celkové analýze.

8.1 Volba a tvorba sítě

Po naimportování vstřikovaného dílu upravené pro analýzu ve formátu *.stl do programu, byl zvolen typ sítě Dual–Domain, který je pro tento typ analýzy dostačující. Velikost stěn trojúhelníkových elementů byla zvolena 1,7mm. Poté byla síť upravena, aby splňovala potřebné podmínky:

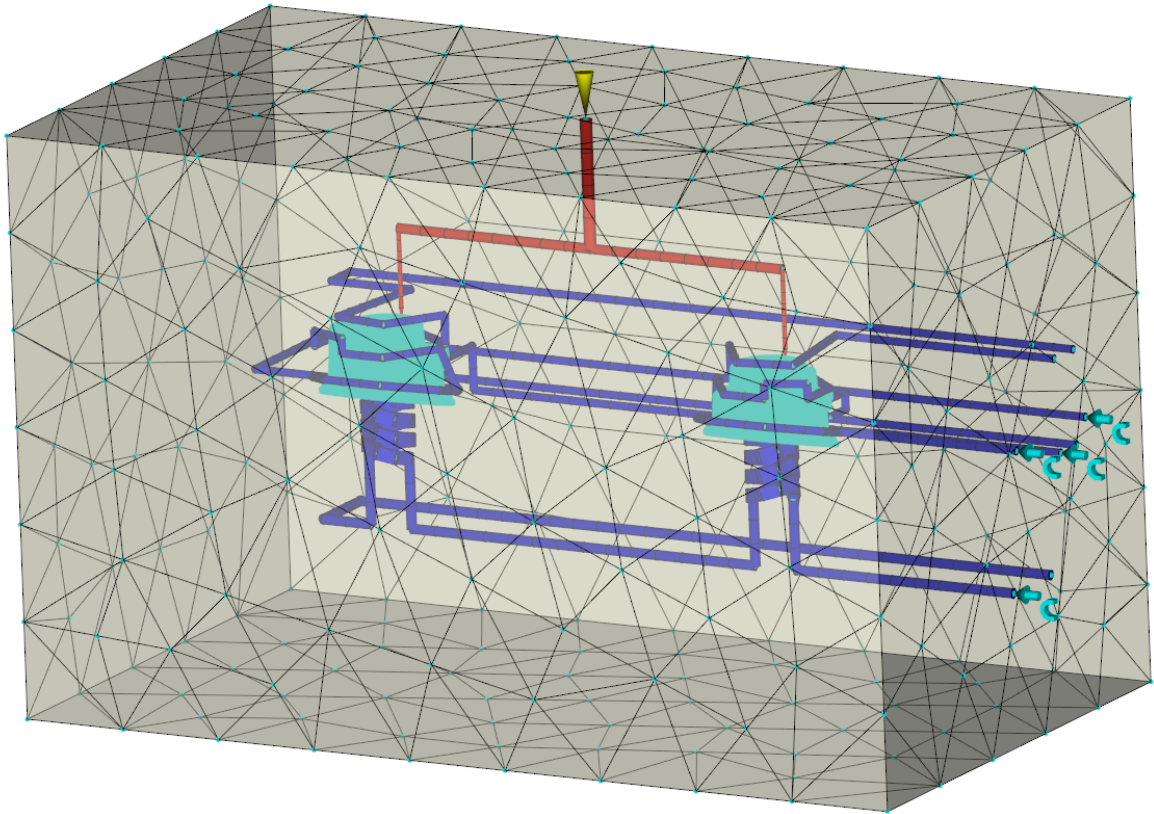
- žádné volné hrany (Free edges),
- duplicitní hrany (Non-manifold edges),
- špatně orientované elementy (Elements not oriented),
- protínající se elementy (Element intersections),
- překrývající se elementy (Fully over-lapping elements),
- poměr stran trojúhelníka (Maximum aspect ratio) v rozsahu 6 – 15,
- a „vystihnutí modelu“ (Match percentage) min. 90%

Entity counts:			Edge details:	
Triangles		58230	Free edges	0
Connected nodes		29113	Manifold edges	87345
Connectivity regions		1	Non-manifold edges	0
Invisible triangles		0	Orientation details:	
Area:			Elements not oriented	0
(Mold blocks and cooling channels are not included)			Intersection details:	
Surface Area:		554.654 cm ²	Element intersections	0
Volume by element types:			Fully overlapping elements	0
Triangle:		56.3321 cm ³	Match percentage:	
Aspect Ratio:			Match percentage	93.1%
Maximum	Average	Minimum	Reciprocal percentage	95.5%
9.25	1.61	1.16		

Obr. 8-1 Analýza sítě.

8.2 Prvotní (defaultní) analýza

Tato analýza obsahuje již navržený vtokový a temperační systém i rozmístění a orientaci výstřiku ve formě. Blok formy má rozměry $X = 896$ mm, $Y = 496$ mm, $Z = 550$ mm. Velikost bloku je volena podle velikosti navržené formy tak, aby veškerý systém byl uvnitř. Mimo blok musí být žlutý kužel, který představuje místo vtoku polymeru a vstup a výstup chladících médií. Vytvořený blok je zobrazen na obr. 8-2.



Obr. 8-2 Blok formy

Procesní podmínky byly ponechány na Default. Teplota byla nastavena dle obr. 8-3.

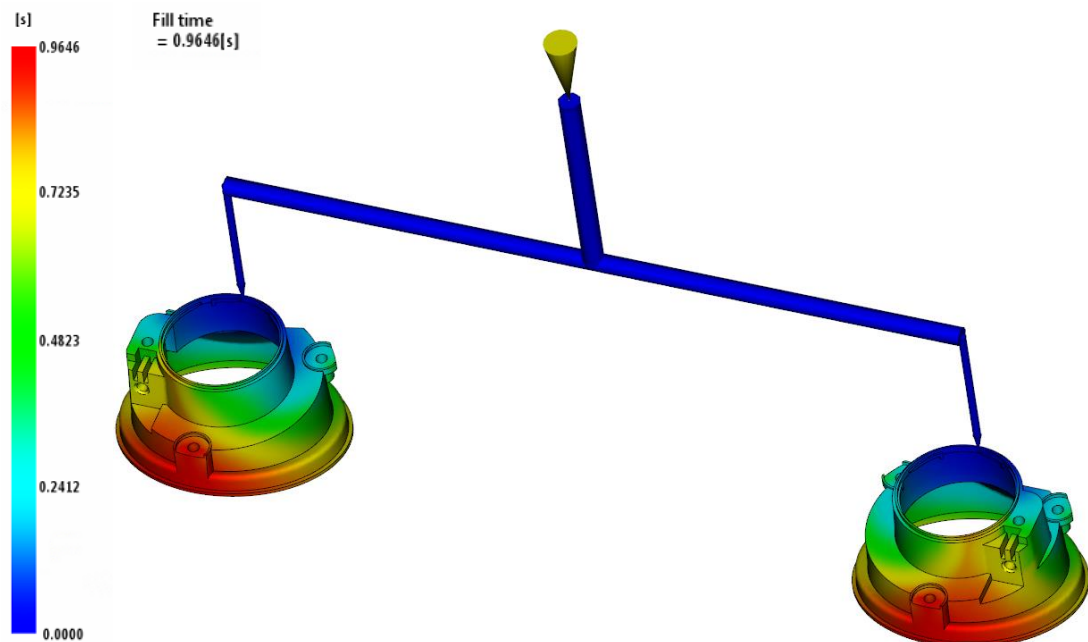
Coolant	
Water (pure) #1	<input type="button" value="Edit..."/> <input type="button" value="Select..."/>
Coolant control	
Specified flow rate	Flow rate <input type="text" value="15"/> lit./min (0:1.2e+004)
Coolant inlet temperature	<input type="text" value="65"/> C [-120:500]

Obr. 8-3 Nastavení teploty.

8.2.1 Čas plnění (Fill time)

Jedná se o grafické a numerické vyjádření doby, která je potřebná pro zaplnění dutiny formy taveninou. Dle tohoto výsledku lze usoudit, zdali je samotná analýza vůbec správně nastavena. Mohlo by se eventuálně stát případ, kdy by nebylo vhodným a správným způsobem nadefinované vtokové ústí. Výsledek nám dále pojednává o přibližném nastavení procesního parametru plnění a řekne, zda je plnění dutiny vstříkovaným materiálem vyváжено tzn., rovnoměrné plnění všech dutin.

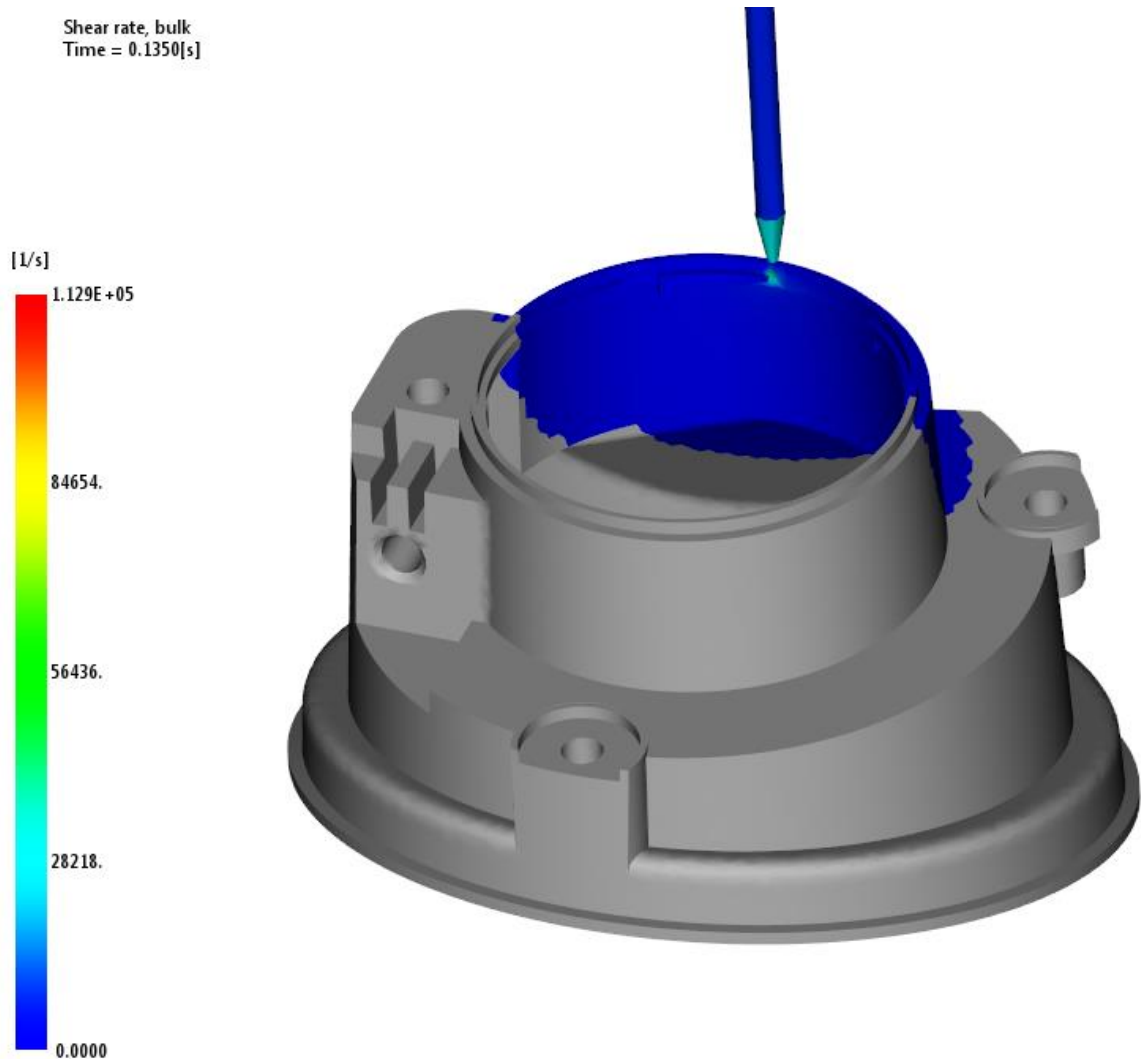
Z obr. je zřejmé, že vtokový systém je vyvážený a že tavenina vyplnila celou dutinu formy. Čas plnění při defaultním nastavením procesních podmínek je okolo 0,97 sekund.



Obr. 8-4 Čas plnění (Fill time).

8.2.2 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

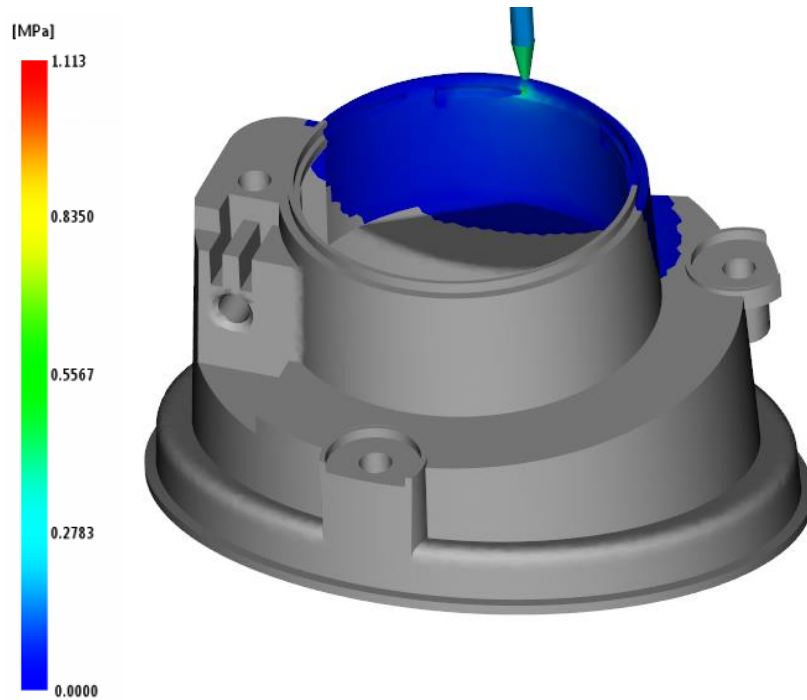
Z výsledků této analýzy je patrné, že rychlost smykové deformace s hodnotou $112\,900\text{ s}^{-1}$ přesáhla u vtokového ústí maximální dovolenou hodnotu rychlosti smykové deformace $100\,000\text{ s}^{-1}$. To znamená, že by daný materiál při vstříkovaní degradoval. Pro vyřešení tohoto problému je nutné buď změnit průměr vstříkovací trysky nebo snížit vstříkovací rychlost a zvýšit teplotu taveniny. Vzhledem k tomu, že změna průměru trysky neměla na hodnotu rychlosti smykové deformace téměř žádný vliv z důvodu úzké stěny výrobku, museli být upraveny vstupní procesní podmínky.



Obr. 8-5 Rychlost smykové deformace.

8.2.3 Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)

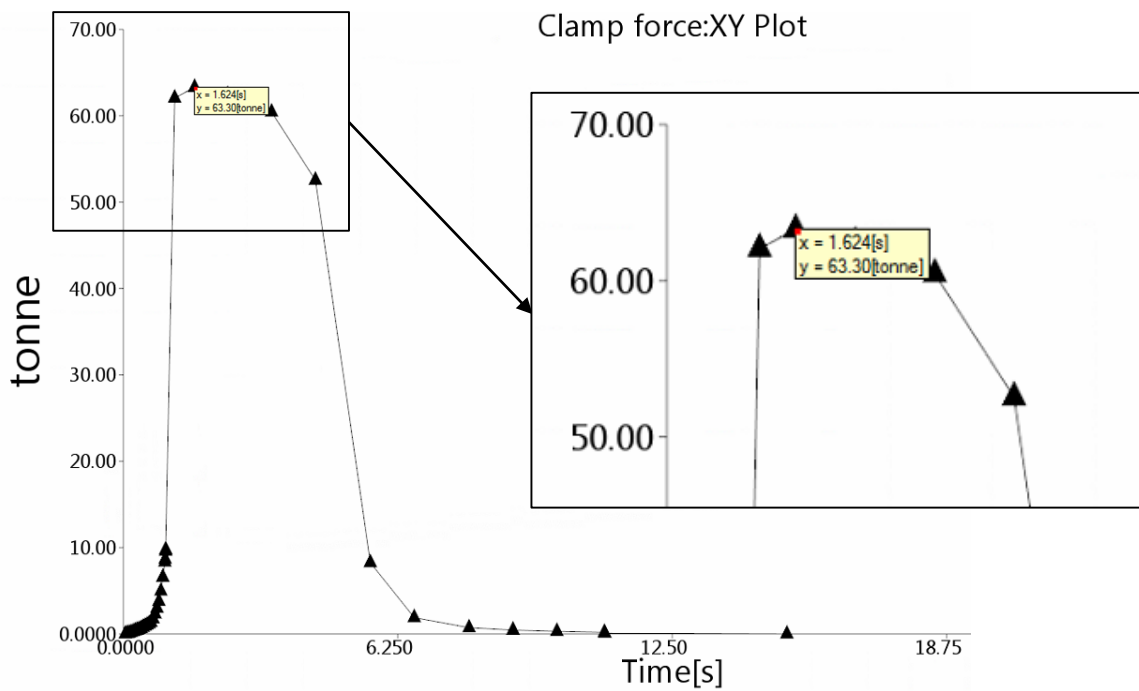
Obecně platí, že velikost smykového napětí nesmí být překročena, jak ve výrobku, tak i v celém vtokovém systému. Na obr. lze vidět, že maximální hodnotu smykového napětí na stěně je 1,113 MPa. Obdobně jako u rychlosti smykové deformace je i hodnota maximálního dovoleného smykového napětí na stěně 0,5 MPa u vtokového ústí překročena, což má vliv na kvalitu výrobku. Překročení této hodnoty by se projevilo nežádoucími efekty, jako jsou Shark skin, degradace materiálu a jiné. Řešením tohoto problému je zvýšení teploty taveniny a průměru vtokového ústí.



Obr. 8-6 Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall).

8.2.4 Uzavírací síla (Clamp force)

Velikost uzavírací síly je jeden ze základních parametrů potřebných pro správnou volbu stroje. Nejvyšší hodnota uzavírací síly je dosažena při největším tlaku a to při konci plněního cyklu. Velikost uzavírací síly se pohybuje okolo 63,3 tun což je 633 kN.



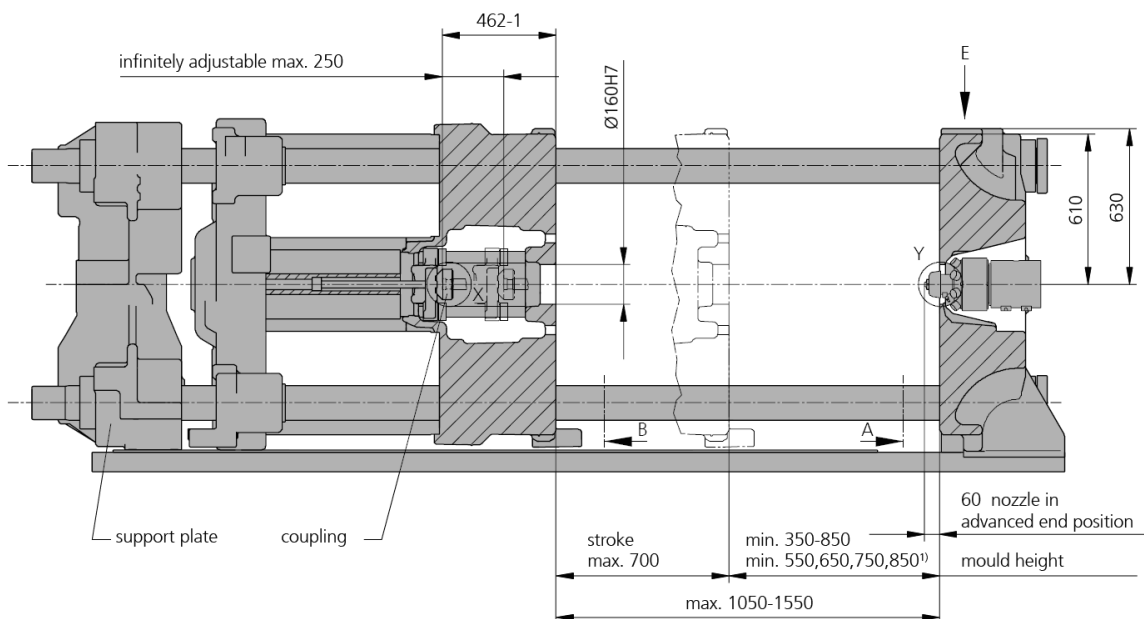
Obr. 8-7 Průběh uzavírací síly (Clamp force).

8.3 Volba stroje

Z výstupů prvotní analýzy a technických parametrů navržené vstřikovací formy byl zvolen hydraulický vstřikovací stroj od firmy Arburg ALLROUNDER 820 S – 4600 (90mm).

Tab. 2 Srovnání požadovaných parametrů a parametrů stroje.

Parametry	Požadovaná hodnota	Hodnota stroje
Uzavírací síla	760 kN	4000 kN
Objem dávky	162 cm ³	2290 cm ³
Středící kroužek	160 mm	160 mm
Rozměry formy	896x564 mm	820x820 mm
Vstřikovací tlak	43 MPa	200 MPa
Vstřikovací rychlost	44 cm ³ /s	392 cm ³ /s
Plastikační výkon	140 kg/hod	150 kg/hod
Hmotnost formy	1810 kg	10000 kg



Obr. 8-8 Rozměrové možnosti uzavírací jednotky.

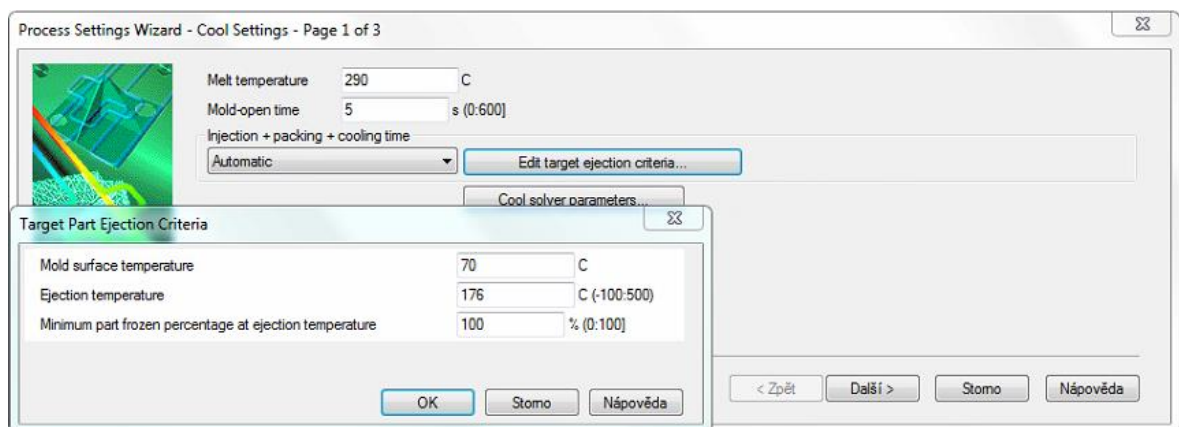
Z obr. 8-8 je zřejmé, že forma s délkou 550 mm odpovídá minimální délce pro uložení do stroje Arburg ALLROUNDER 820 S. Forma v minimálním rozevřeném stavu pro vyhození výstřiku měří 900 mm, což splňuje limit stroje 1050 mm. Potřebný posuv vyhazovačů je 20 mm, přičemž maximum stroje je 250 mm. Veškeré parametry stroje jsou uvedeny v příloze P II.

8.4 Upravená analýza

V této analýze je stejný vtokový a temperační systém ve stejném bloku formy jako u analýzy prvotní. Změnily se pouze procesní podmínky a byl přiřazen příslušný stroj Arburg Allrounder 820 S.

Nastavení procesních parametrů bylo provedeno v Process settings wizard. V první části bylo nastaveno chlazení – Cool setting:

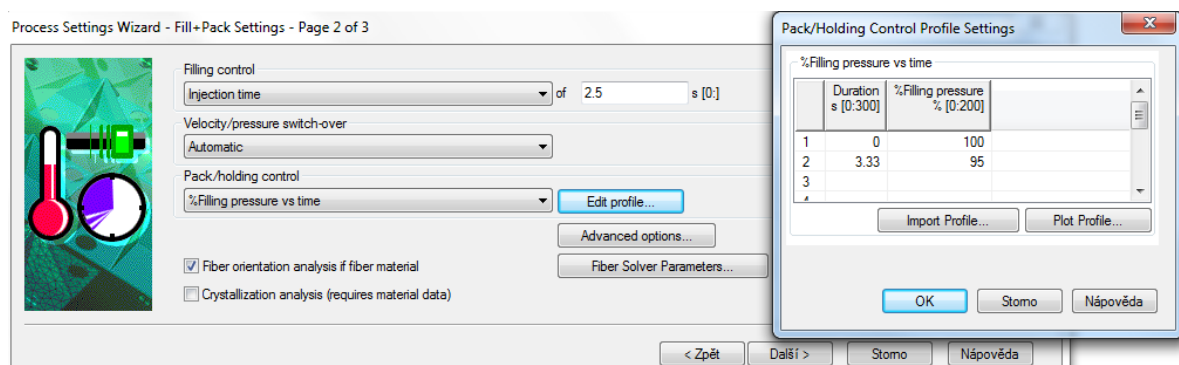
- Teplota taveniny: 290 °C
- Doba otevření vstřikovací formy: 5 s
- Teplota povrchu formy: 70 °C
- Vstřík + dotlak + čas chlazení: Automatic, Edit (obr.)



Obr. 8-9 Nastavení vstřík + dotlak + čas chlazení.

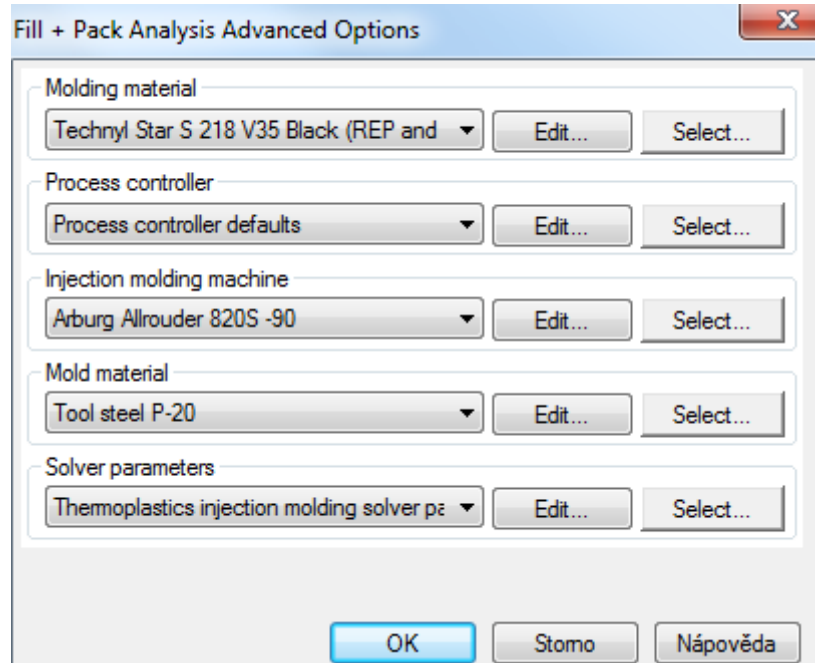
V druhé části se nastavuje doplnění hodnot pro fázi plnění a dotlaku – Fill + Pack setting:

- Čas plněn: 2,5 s
- Fáze dotlaku: kontrolována podle relativního plnicího tlaku (obr. 8-10), kde 100 % je maximální vstřikovací tlak.



Obr. 8-10 Nastavení Fill + Pack

V záložce pokročilé nastavení (advanced options) byl vybrán vstřikovací stroj. Poté byly zaškrtnuty položky: nesmí být překročena maximální uzavírací síla stroje. Další položka v nastavení byl materiál formy, který zůstal defaultní Tool Steel P-20.

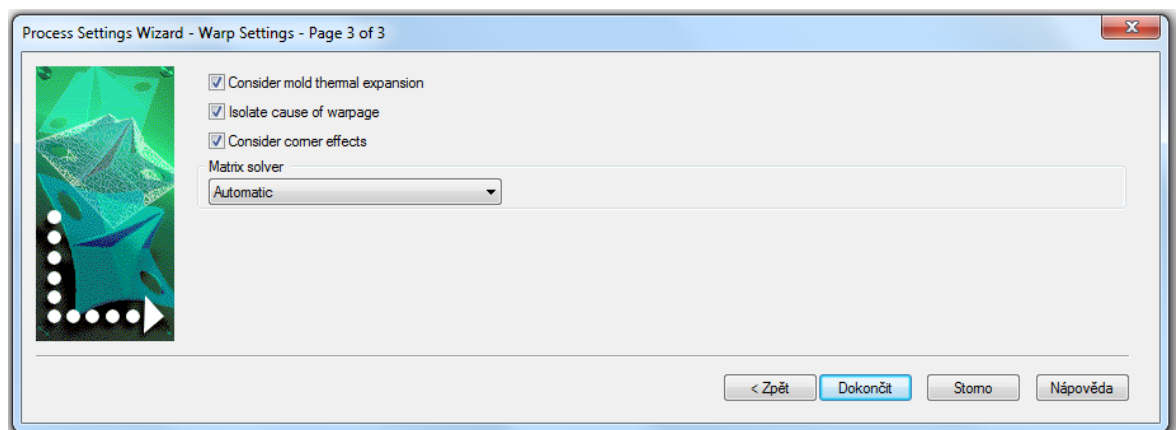


Obr. 8-11 Advanced options

V poslední části se nastavuje smrštění – Warp setting. Byly zaškrtnuty tyto možnosti:

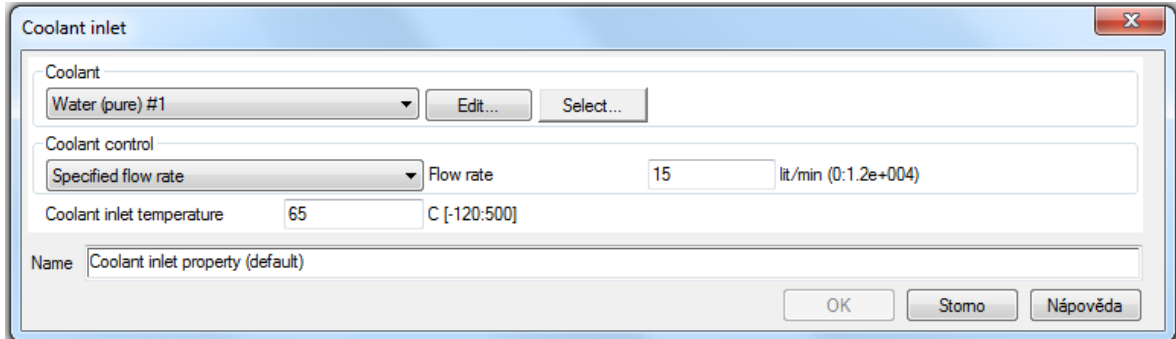
- Sledování teplotní roztažnosti vstřikovací formy
- Izolovat příčiny deformace
- Zvážit rohový efekty

Výpočtová matice, která slouží pro nastavení výpočtů v programu MF, byla ponechána na Automatic (obr. 8-12).



Obr. 8-12 Nastavení smrštění.

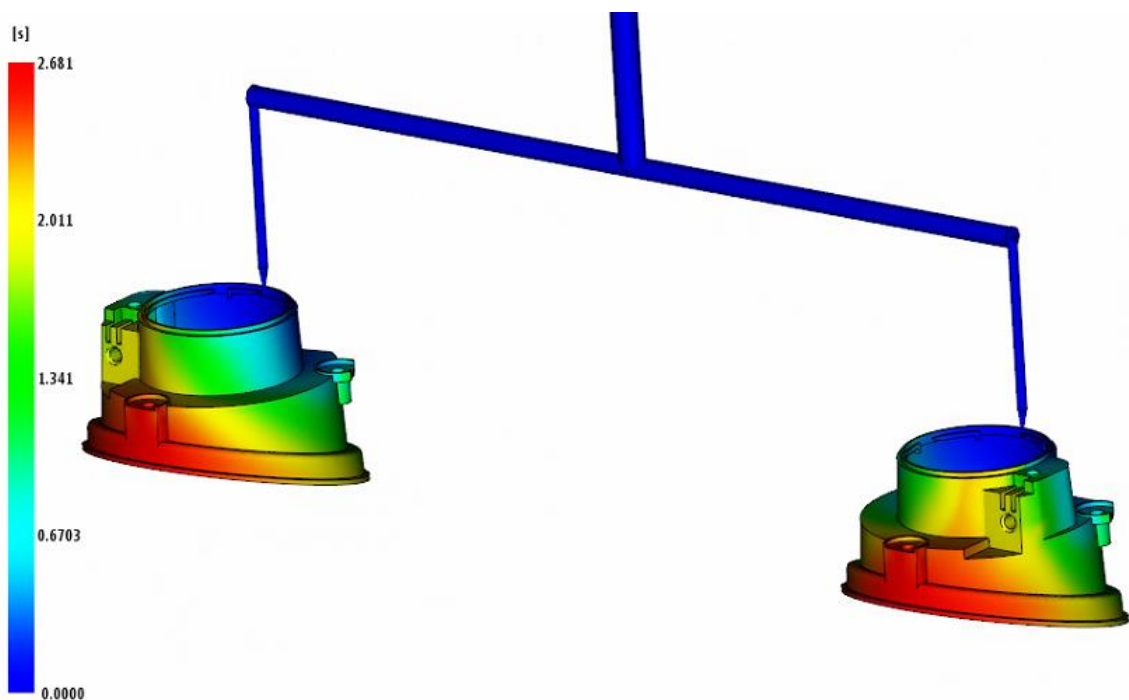
Nastavení teploty proběhlo pro všechny kanály současně. Jako temperační médium byla zvolena voda o teplotě 65 °C, což je o 5 °C nižší teplota, než je doporučená teplota formy pro zvolený vstřikovaný materiál. Průtok temperačního média je 15 lit/min (obr 8-13).



Obr. 8-13 Nastavení temperačního média.

8.4.1 Čas plnění (Fill time)

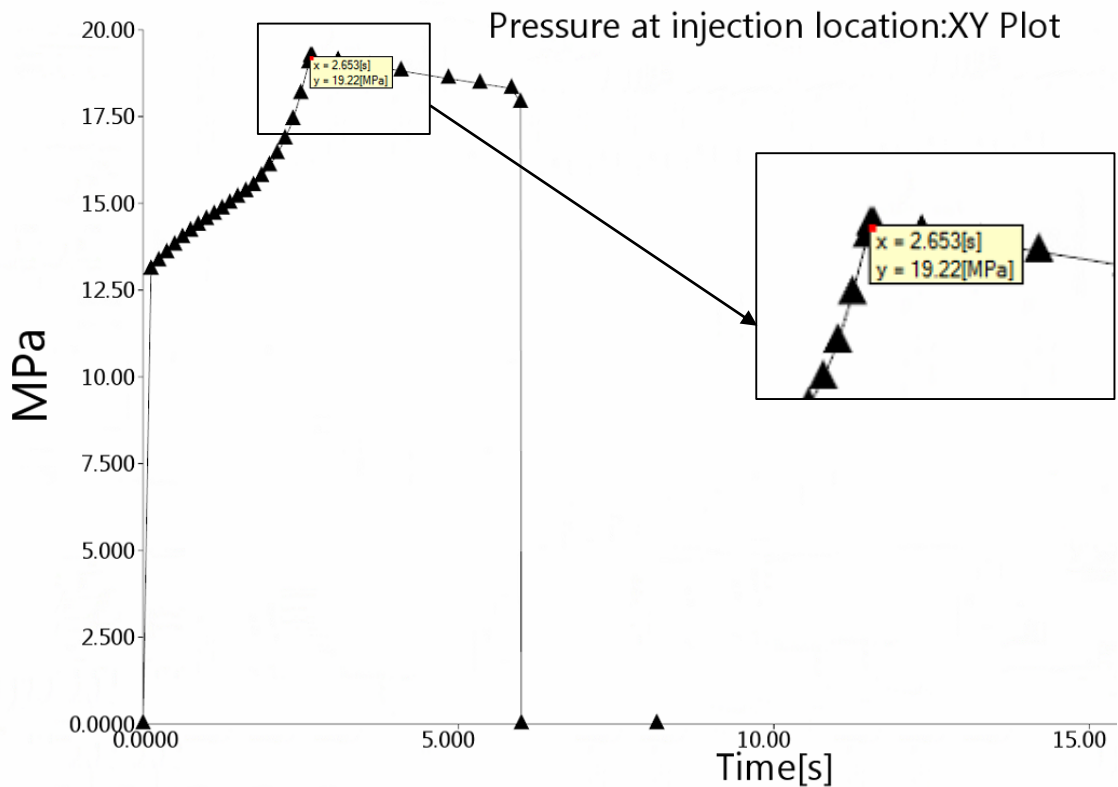
Čas plnění byl nastaven na 2,5 sekund. Výsledný čas plnění je přibližně 2,7 sekund, jak lze vidět na obr. Oproti prvotní analýze se čas plnění výrazně zvýšil z důvodu snížení rychlosti plnění (vstřikovacího tlaku) a tím snížení tření ve tokovém ústí, které mělo za následek překročení maximální dovolené hodnoty rychlosti smykové deformace a smykového napětí na stěně. Dále může při vysokých vstřikovacích rychlostech dojít k jettingu, který je zmíněn v teoretické části.



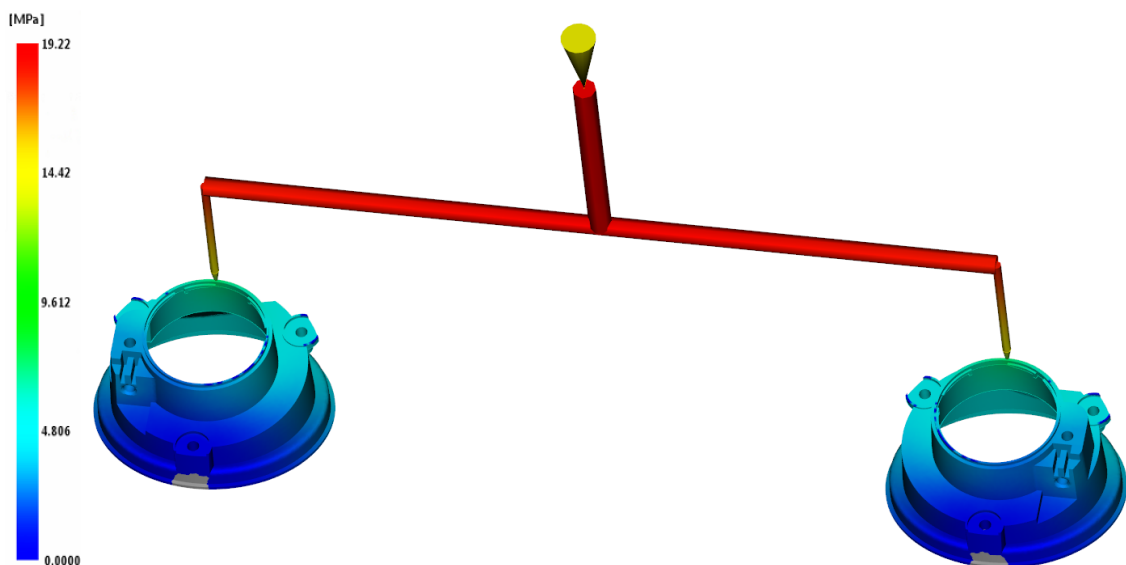
Obr. 8-14 Čas plnění (Fill time)

8.4.2 Tlak taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location)

Maximální hodnota vstřikovacího tlaku je 19,2 MPa a nabývá této hodnoty na konci vstříku, při přepnutí na dotlak v místě vtokového kuželu. Průběh dotlaku koresponduje se zadaným průběhem v procesních podmínkách. Po ukončení dotlaku tlak padá na původní hodnotu a setrvává na této hodnotě po celou dobu chlazení.



Obr. 8-15 Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location).



Obr. 8-16 Tlak taveniny (Pressure at V/P swirchover).

Výpočet zpětného tlaku hydraulického tahače jader:

- Plocha jádra kolmá k ose jádra: $S_j = 70 \text{ mm}^2$
- Maximální dosažený tlak při vstřikování: $p_{\max} = 19,22 \text{ MPa}$
- Maximální síla pod předpětím hydraulického tahače jader: $F_v = 35 \text{ kN}$
- Síla vyvolané taveninou:

$$F_t = p_{\max} \cdot S_j = 1345,4 \text{ N} \rightarrow 1,35 \text{ kN} \quad (8.1)$$

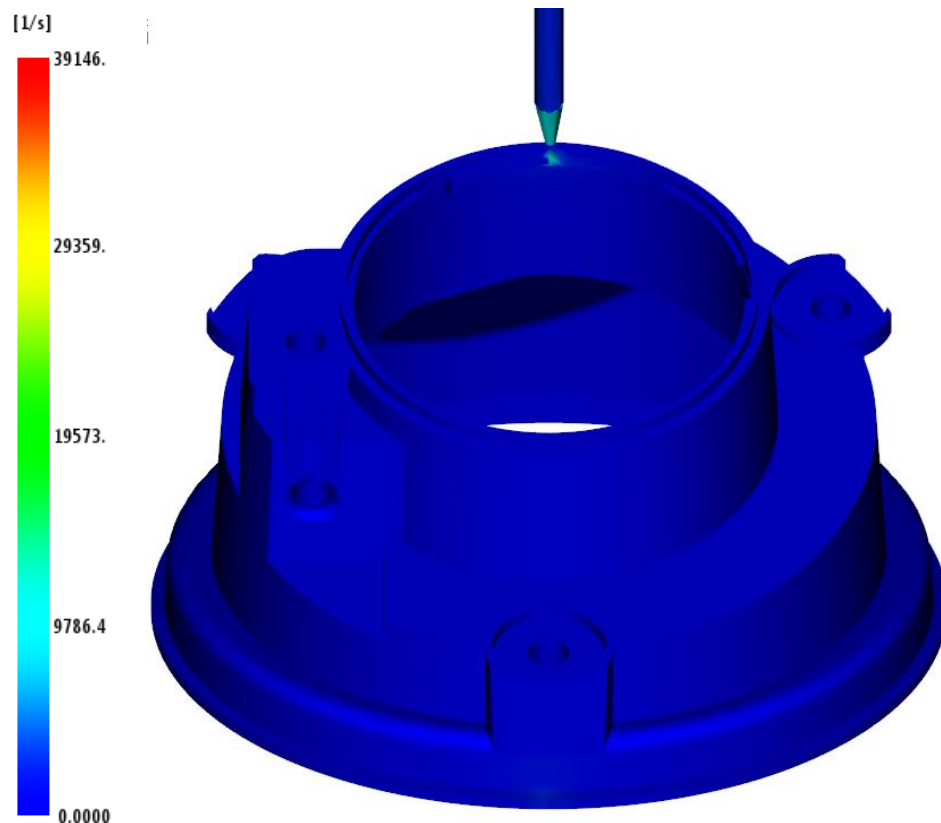
- Bezpečnost:

$$F_v/F_t = 35/1,35 = 26 \quad (8.1)$$

Hydraulický tahač jader přidrží jádro v zasunuté poloze s bezpečností 26.

8.4.3 Rychlost smykové deformace (Shear rate)

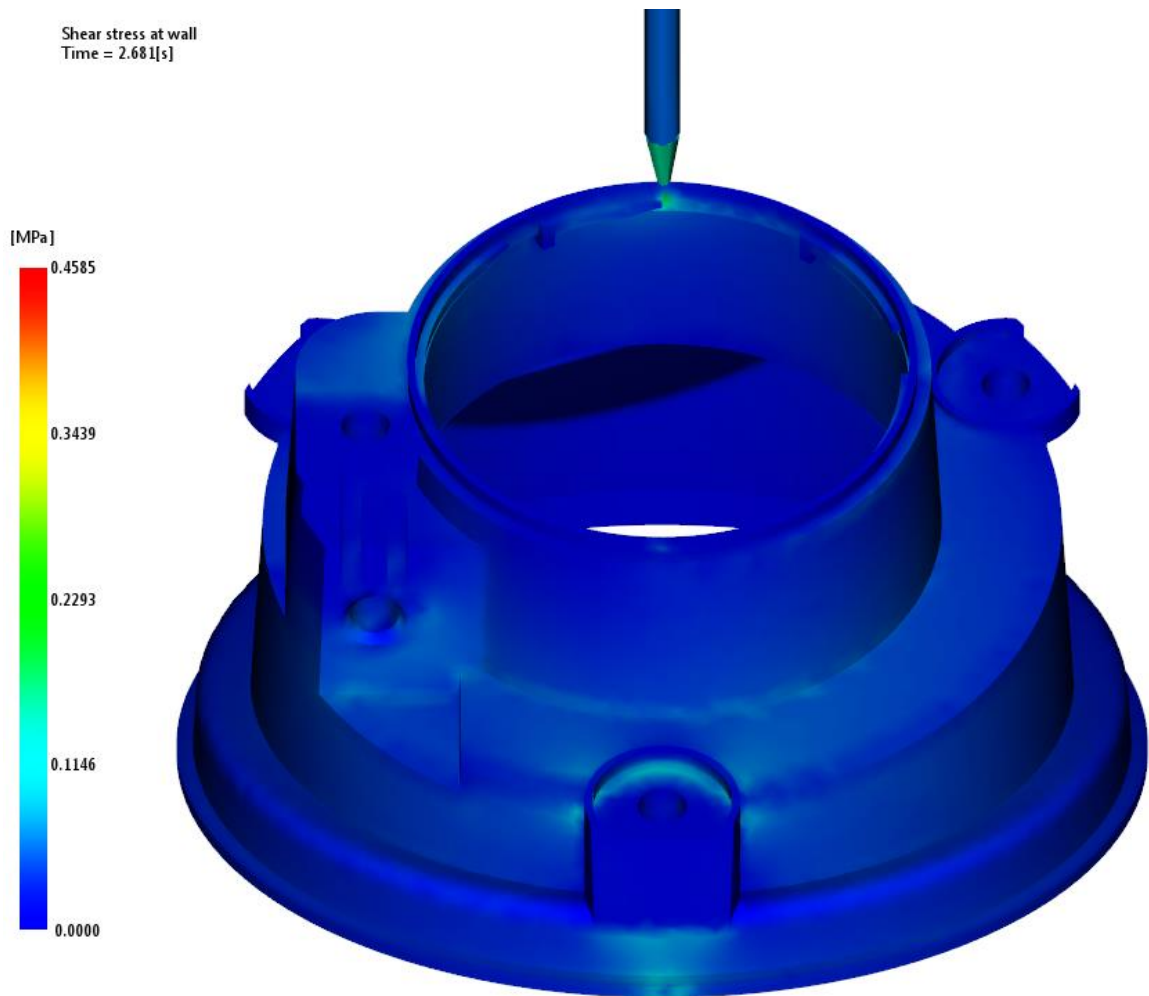
Na obr. 8-17 lze vidět výsledek analýzy rychlosti smykové deformace. Nejvyšší hodnota smykové deformace činí $39\,146 \text{ s}^{-1}$, což je pod maximální dovolenou hodnotou $100\,000 \text{ s}^{-1}$ uvedenou v materiálovém listě pro zvolený materiál, díky čemuž nebude docházet k negativním jevům.



Obr. 8-17 Rychlost smykové deformace (Shear rate).

8.4.4 Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)

Na obr. 8-18 lze vidět výsledek analýzy smykového napětí na stěně. Obdobně jako u analýzy rychlosti smykové deformace nebyla překročena maximální dovolená hodnota 0,5 MPa uveřejněná v materiálovém listě pro zvolený materiál. Nejvyšší hodnota smykového napětí na stěně je 0,459 MPa.



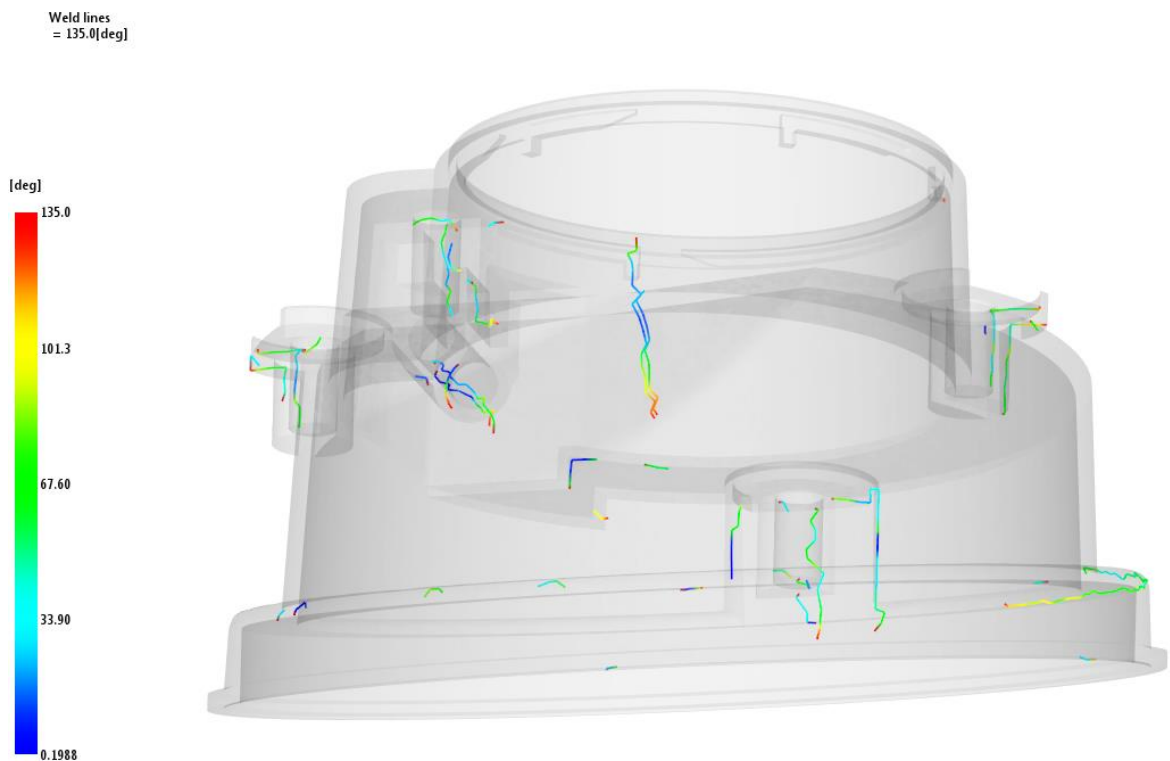
Obr. 8-18 Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)

8.4.5 Studené spoje (Weld lines)

Dle získaného výsledku (obr. 8-19) lze usoudit, že místa obsahující studené spoje jsou po výrobku nepravidelně rozprostřeny. Jedná se o místa, kdy dojde ke spojení dvou chladnějších proudů (čela) taveniny při obtékání překážky, které už nemají potřebnou teplotu k tomu, aby se makromolekulární řetězce kvalitně propojily, a v těchto místech se sníží mechanické vlastnosti výrobku a zhorší vzhled. Tento jev podporují i další nedostatky jako jsou nízká

teplota formy, nízká teplota vstřikovaného materiálu, nevhodně zvolené odvzdušnění, malá rychlost vstřikované materiálu nebo příliš dlouhá dráha toku taveniny.

U obtékání jader je tento jev nevyhnutelný, proto v tomto konkrétním případě předejít studeným spojům prakticky nelze. Jedinou možností je jejich nežádoucí efekt co nejvíce eliminovat faktory zmíněnými výše.

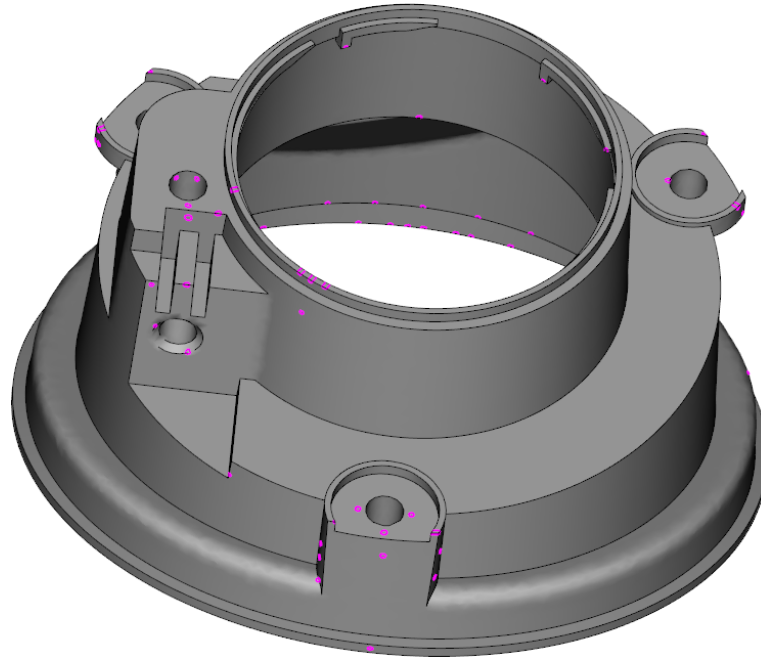


Obr. 8-19 Studené spoje (Weld lines).

8.4.6 Vzduchové kapsy (Air traps)

Na obr. 8-20 jsou znázorněny růžovou barvou místa předpokladu tvorby vzduchových kapes, které mohou vzniknout při plnění dutiny formy taveninou. Tvorbu vzduchových kapes lze zabránit správně navrženým odvzdušněním formy. Nároky na odvzdušnění dutiny se zvyšují se zvyšující se rychlostí plnění. Díky této analýze lze správně určit místa pro odvzdušnění a vyhnout se vzniku spálených míst, bublin, nebo lunkrů.

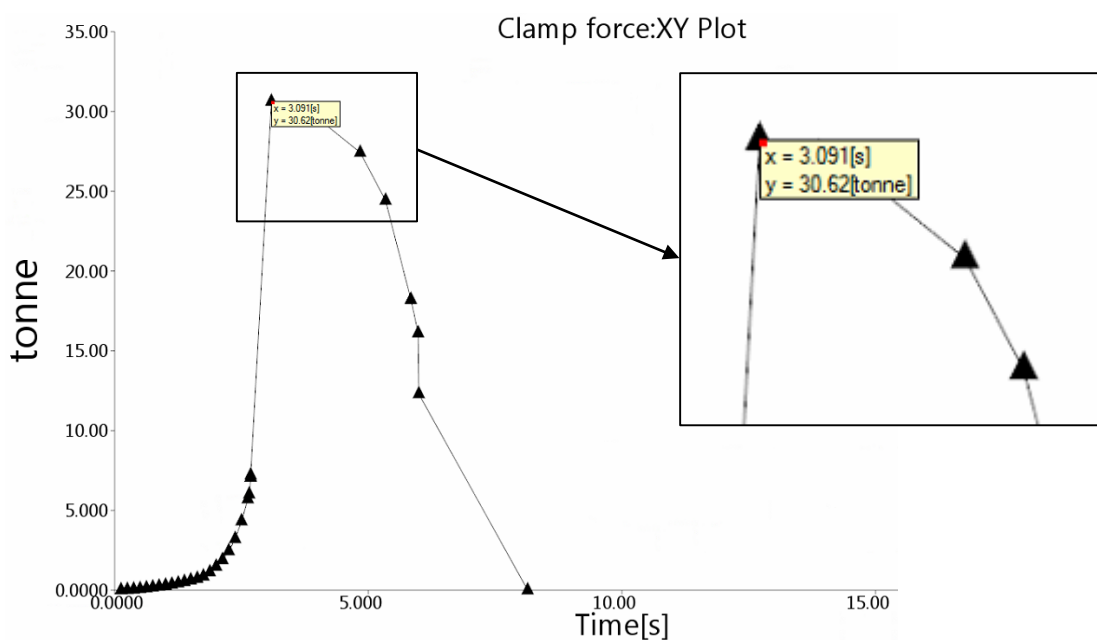
V tomto konkrétním případě je počítáno s tím, že přebytečný vzduch se z dutiny formy dostane dělicí rovinou, vůlí mezi vyhazovači, posuvovými kostkami a jádrem hydraulického tahače.



Obr. 8-20 Vzduchové kapsy (Air traps).

8.4.7 Uzavírací síla (Clamp force)

Na obr. 8-21 je znázorněn graf popisující velikost uzavírací síly. Na ose X je jednotka času v sekundách a na ose Y je velikost uzavírací síly v tunách. Z grafu vyplývá, že nejvyšší hodnota uzavírací síly je v čase dosažení největšího tlaku při vstřikování a její hodnota je 30,62 tun (306,2 kN). Zvolený vstřikovací stroj má uzavírací sílu 4000 tun, z čeho vyplývá, že vyhovuje výsledným požadavkům na uzavírací sílu.

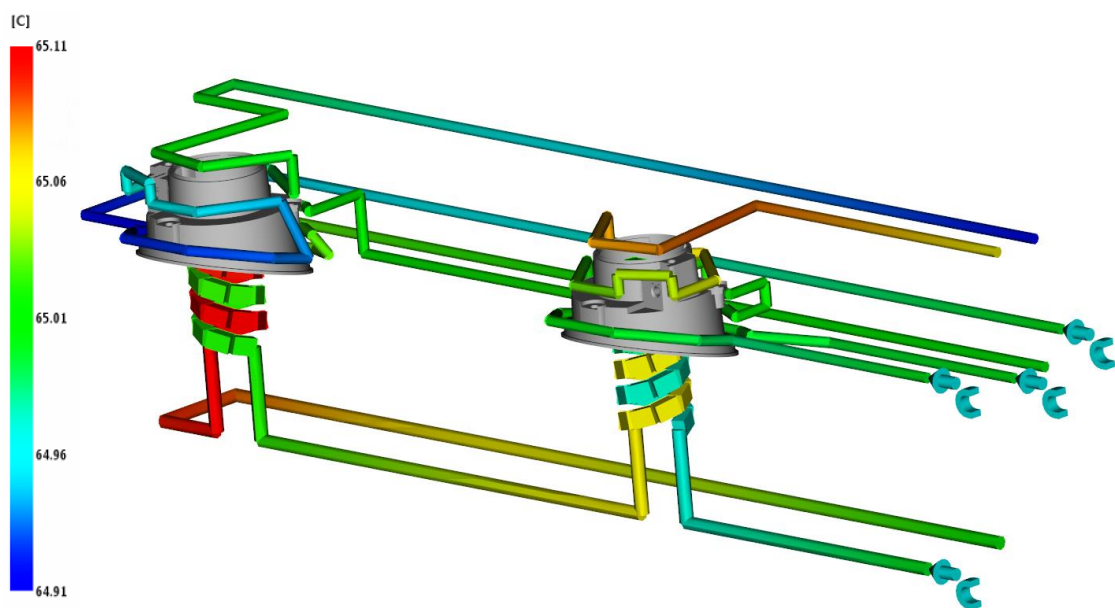


Obr. 8-21 Průběh uzavírací síly (Clamp force).

8.4.8 Teplota v temperačním okruhu (Circuit coolant temperature)

Výsledky analýzy teploty v temperačních okruzích (obr. 8-22) poskytují komplexní informace o teplotách temperačního média v modelu temperačního systému. Dle zásad konstrukce forem by neměl být teplotní spád na vstupu a výstupu temperačního média z temperačního kanálu přesáhnout hodnotu 3 – 5°C.

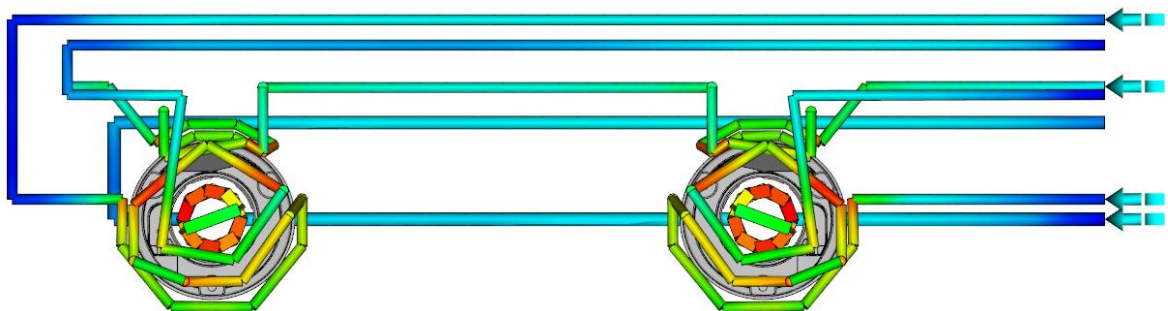
V tomto konkrétním případě je maximální hodnota teplotního spádu 0,1 °C u levého temperačního okruhu. Tento údaj vypovídá o kvalitní temperačním systému z hlediska teplotního spádu.



Obr. 8-22 Teplota v temperačním systému (Circuit coolant temperature).

8.4.9 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency)

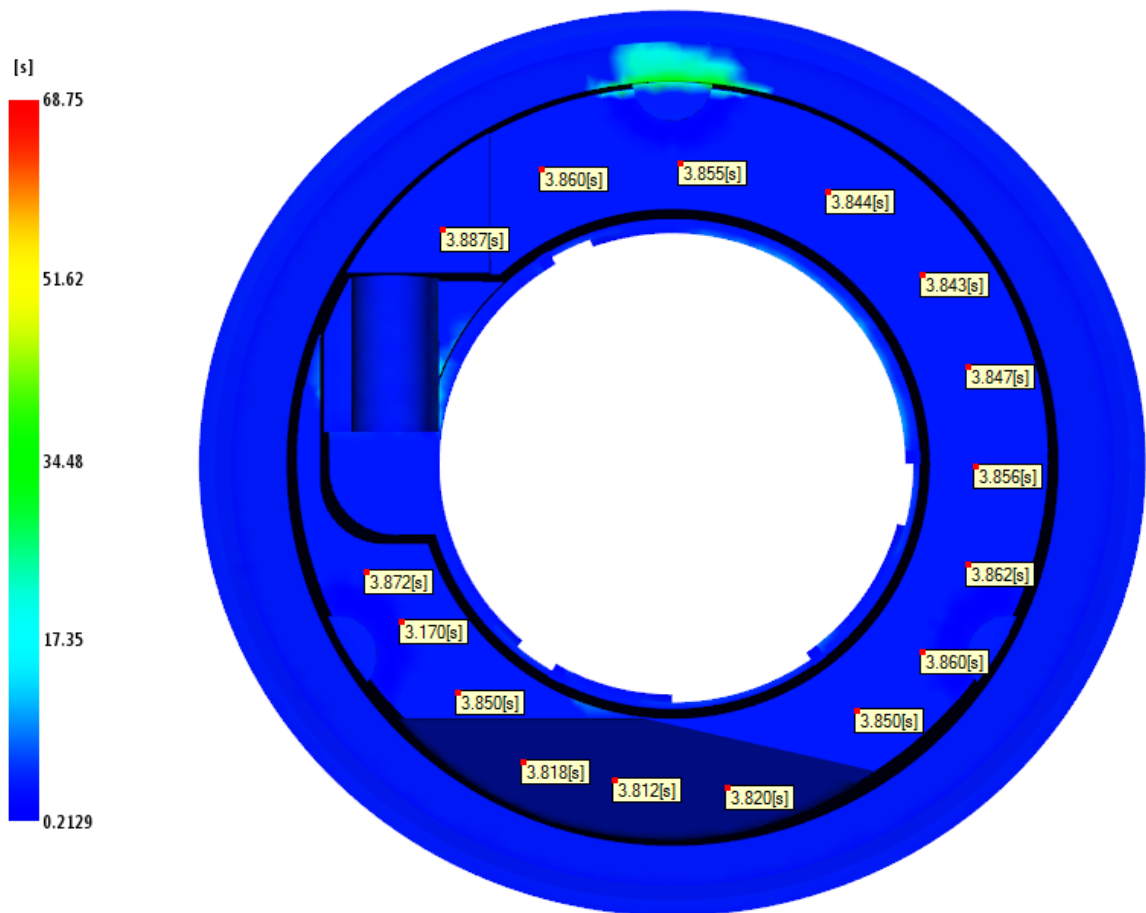
Hodnoty z analýzy účinnosti odvodu tepla temperačního okruhu (obr. 8-23) ukazují jakou účinnost má navržený temperační systém. Největší účinnost odvodu tepla mají kanály s červenou barvou v nevyšší blízkosti k dutině formy a k horké vtokové trysce.



Obr. 8-23 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency).

8.4.10 Čas na dosáhnutí vyhazovací teploty výrobku (Time to reach ejection temperature – part)

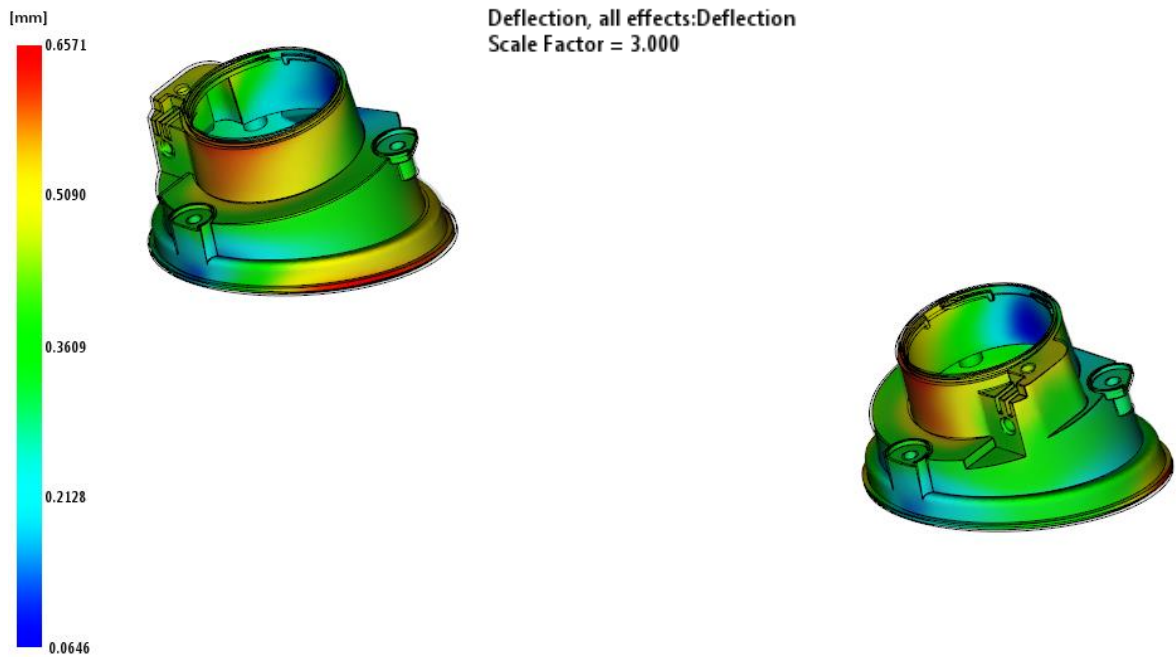
Na obr. 8-24 lze vidět, že celý výrobek zchladne na vyhazovací teplotu za 68,8 sekundy. Nejdéle bude chladnout nejtlustší stěna, která se nachází pod čelním výstupkem a pod otvorem kolmým na osu výrobku. Plochy, které jsou v kontaktu s vyhazovači, jsou zchladlé na vyhazovací teplotu přibližně za 4 sekundy. Z důvodu delšího dotlaku je čas vyhození výstřiku od počátku vstřikování přibližně 7 sekund.



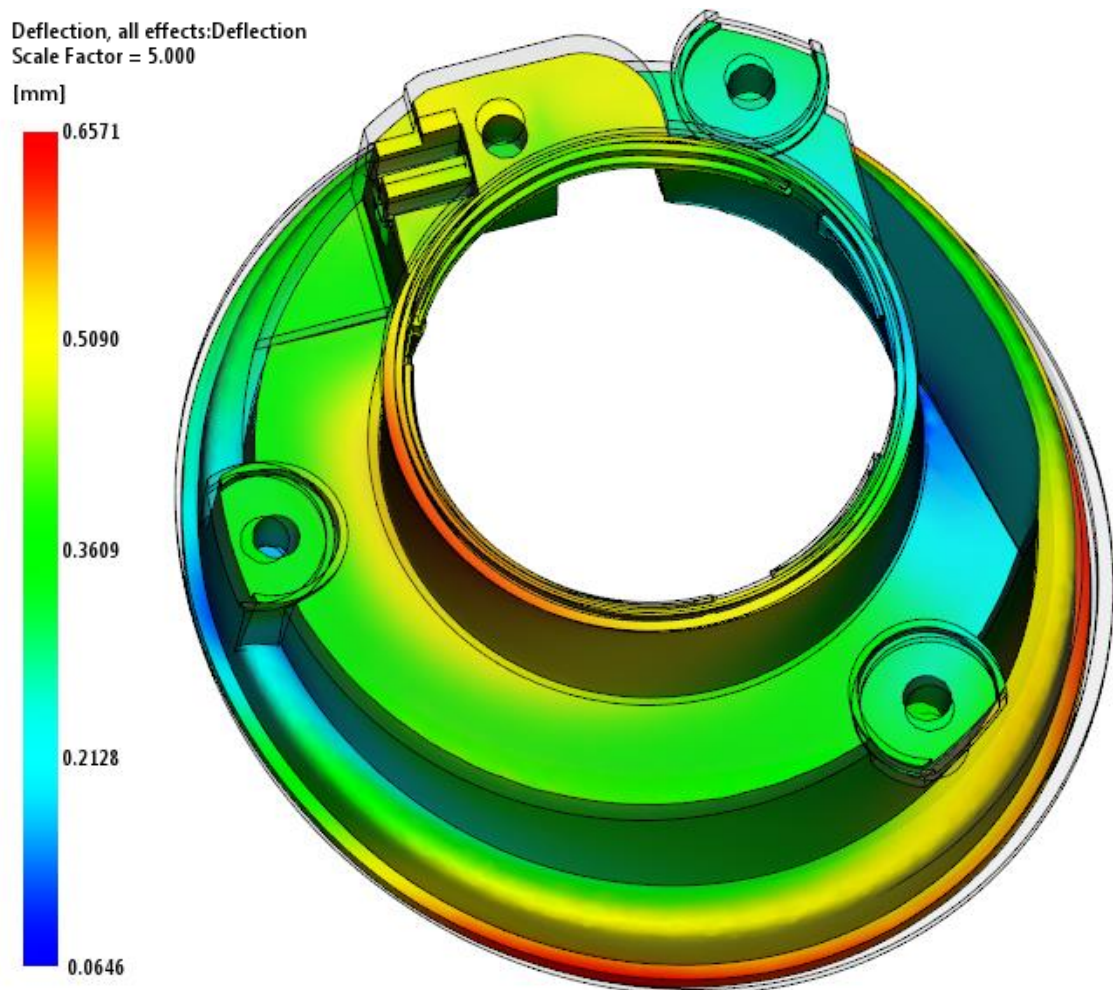
Obr. 8-24 Detail na místa vyhazovačů.

8.4.11 Celková deformace od všech efektů (Deflection, all effects: Deflection)

Na obr. 8-25 je zobrazena celková deformace výrobků trojnásobně zvětšena. Maximální deformace je zobrazena červenou barvou a má hodnotu 0,657 mm. Deformaci ovlivňuje nedostatečná doba chlazení, orientace plniv, špatný výběr materiálu, příliš vysoká teplota formy a doba dotlaku. Na obr. 8-26 je detail na výrobek s celkovou deformací zvětšenou pětinašobně.



Obr. 8-25 Deformace od všech efektů (Deflection, all effects: Deflection).

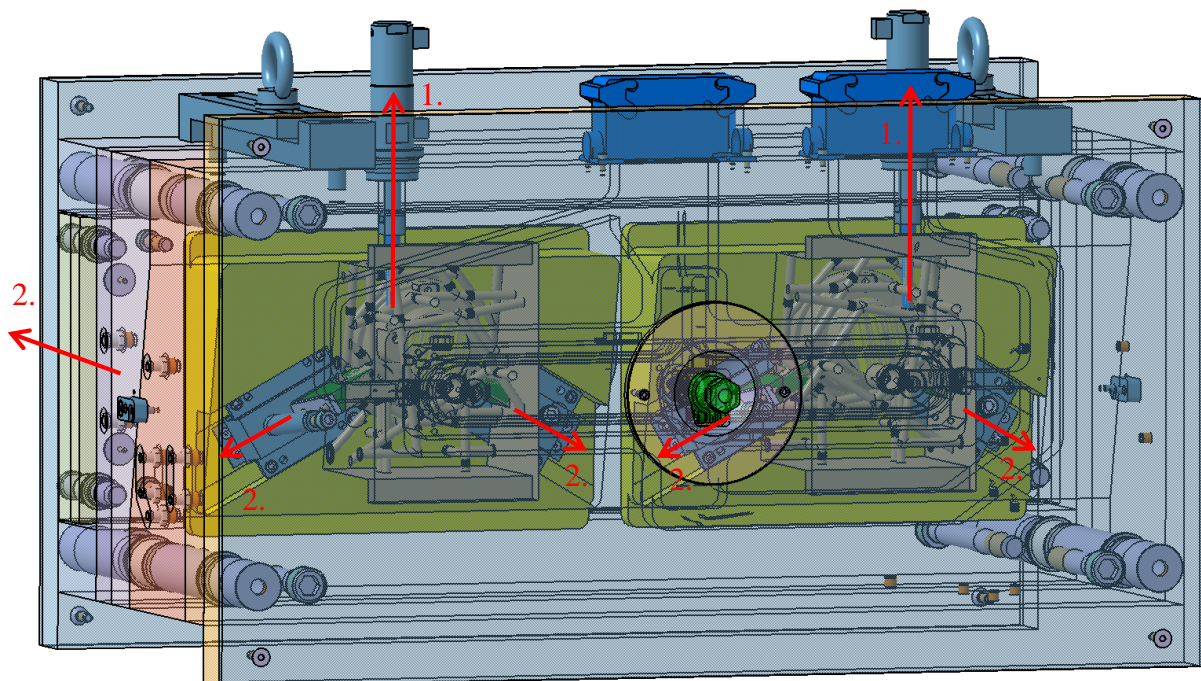


Obr. 8-26 Celková deformace od všech efektů v reálném měřítku

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Vypracování diplomové práce bylo prováděno dle požadavků oficiálního zadání práce. Hlavní částí byl návrh vstříkovací formy pro zadaný díl části automobilu, kterým byl konstrukční díl předního mlhového světla. Konstrukce formy a zadaného dílu byla prováděna pomocí grafického programu CATIA. Pro vložení normálie bylo využito digitálního katalogu firmy HASCO 3D modul normálií R1/2016 a internetový katalog od firmy MEUSBURGER.

Násobnost formy byla volena dle složitosti výrobku na dvounásobnou. Vstříkovaným materiálem je PA6 plněný z 35% skelnými vlákny. Tvarové části formy, mezi které patří tvárníkové, tvárnice vložky, tvarové posuvné kostky a jádro, jsou negativem vstříkovaného dílu, které byly zvětšeny o dané smrštění materiálu. Odformování výrobku je realizováno nejprve pomocí hydraulických vytahovačů, potom přes šikmé čepy, které při samotném otevírání formy odsunou posuvové tvarové kostky, jak lze vidět na obr. 8-17. Vyhazovací systém obsahuje 14 válcových kolíků o průměrech 8 a 10 mm, z nichž jsou 2 zajištěni proti pootočení.

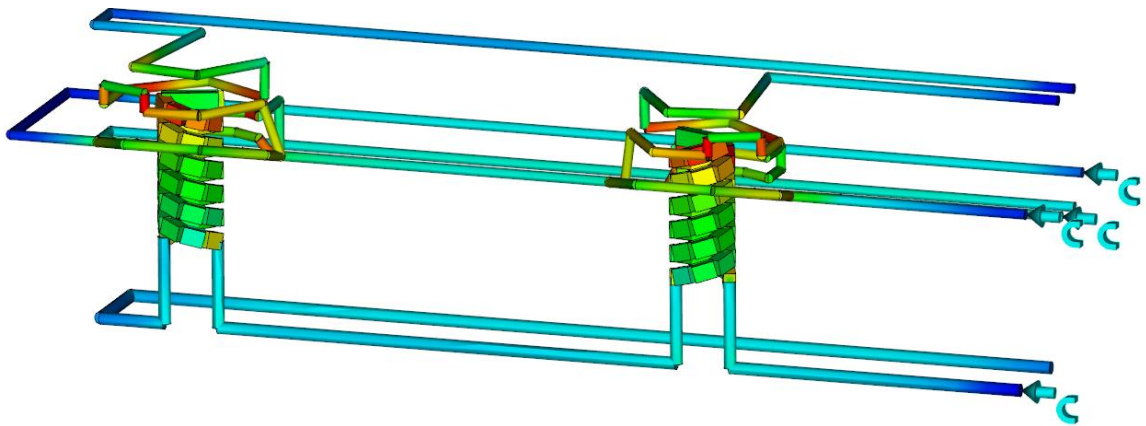


Obr. 8-27 3D pohled na formu s odstupňováním vyhazování (odformování).

Vstříkování bylo voleno pomocí horkého vtokového systému uloženého v pravé části formy. Celý horký vstříkovací systém je od výrobce normálií firmy Hasco. Byl volen horký blok H4000 s centrální vtokovou vložkou s ohřevem Z1055 a vstříkovacími tryskami Z332051. Pro správnou funkčnost musela být zadána správná rozteč mezi vstříkovací trysky 400 mm.

Průměr vstřikovací trysky byl upraven z důvodů velkých rychlostí smykových deformací a smykovému napětí na stěně, což nemělo tížený výsledek, tak byla navržena původní tryska a upraveny procesní podmínky dle programu Moldflow. Touto úpravou se předchází nežádoucím efektům.

Temperace formy obsahuje díky složitosti výrobku 4 samostatné okruhy. Vzhledem k tomu, že tvarové posuvné kostky jsou malé, chladicí kanály vedou pouze tvarovými vložkami a deskami. Jednotlivé okruhy mají různé průřezy o průměrech 8 a 10 mm a průtoku 15 litr/min. Při návrhu temperace byly využity obtokové spirály, aby byl zajištěn co možná největší odvod tepla z tvárnkové vložky. Účinnost vtokového systému je znázorněna na obr 8-28, kde červená barva značí místa s největším odvodem tepla a tudíž i s největší účinností.



Obr. 8-28 Efektivita temperačního systému.

V posledním kroku návrhu vstřikovací formy byly vytvořeny tokové analýzy v programu Moldflow. Výsledky prvotní analýzy nebyly vyhovující, a proto bylo třeba provést několik změn ve vstupních parametrech. Optimalizace se týkala teploty taveniny, teploty formy, času plnění a dotlaku. Dále byl na základě prvotní analýzy a technických parametrech formy zvolen stroj ALLROUNDER 820 S od německé firmy ARBURG.

ZÁVĚR

Diplomová práce se odvíjela od volby výrobku, kterým je konstrukční díl předního mlhového světla automobilu.

Diplomová práce byla rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část pojednává o procesu vstřikování plastů. Byl popsán pracovní cyklus vstřikování. Dále v teoretické části proběhlo seznámení a rozdělení polymerů a bližší popis polymerů vhodných pro technologii vstřikování. Teoretická část byla též z velké část věnována konstrukci vstřikovaných výrobků, vstřikovacích forem a systémů, ze kterých se skládá. Byly zde popsány různé součásti a podmínky vhodné ke konstrukci vstřikovací formy.

V praktické části byl vymodelován 3D model vstřikovaného dílu pro zaformování do vstřikovací formy. Následně byl zvolen materiál vstřikovaného výrobku PA6, od společnosti Rhodia Engineering Plastics. Dále byl ke vstřikování zvolen vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 820S.

Násobnost vstřikovací formy byla zvolena dvounásobná s horkým vtokovým systémem. Protože je díl určen pro automobilový průmysl, je zde předpoklad velkosériové výroby, a proto by volba horkého vtokového systému byla ekonomická. Následně byla proveden návrh orientace výrobku ve vstřikovací formě se všemi náležitostmi, které vstřikovaný výrobek pomáhaly odformovat. Navržení tvaru a funkcí posuvných kostek, které zajišťovaly odformování výrobku a zbylo dostatek místa na temperaci, bylo v rámci celé vstřikovací formy nejsložitější. Jakmile byly všechny díly navrhnuty a usazeny pod správnými úhly, byly do formy přidány příslušné normálie od firmy Hasco a Meusburger. Temperace byla řešena soustavou vrtaných kanálů kruhového průřezu a obtokovými spirálami, aby odvod tepla z tvarových dutin byl co nejefektivnější. Vyhazování výrobku bylo navrženo mechanické, za pomoci válcových vyhazovačů, které výrobek uvolní a výrobek si přebere externí robot, který bude vyjímat výstřik z dutiny vstřikovací formy, pokládat jej na linku, kde ho čeká další technologická operace v rámci montáže mlhového světla.

Analýza v programu Moldflow byla provedena několikrát a byly při ní měněny některé podmínky jako teploty taveniny, teploty formy, vstřikovací čas, dotlaku a teplota a průtok temperačního média. Výsledky konečné analýzy potvrdily, že konstrukční návrh vstřikovací formy je vytvořen tak, že polymer při toku dutinou formy nevykazuje chyby. Chladicí kanály dostatečně ochladí taveninu a horká vstřikovací soustava bezpečně dopraví taveninu do dutiny formy. Vybraný vstřikovací stroj byl zvolen tak, aby splňoval rozměrové podmínky formy a vstřikovací podmínky vyplývající z prvotní analýzy v programu Moldflow.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [2] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1.2. upr. vyd. Brno : Uniplast, 1999. 133s.
- [3] ŠTĚPĚK, Jiří a ZELINGER, Jiří. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989. str. 637.
- [4] STANĚK M. přednášky TZFRM 2015
- [5] Jiří Bobek. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů*, 2015, ISBN: 978-80-88058-65-6. [online] Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [6] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J.; *Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II.*, Brno: VUT, 1990. 199s. ISBN 80-214-0213-X
- [7] NEUHÄUSL, Emil. *Vstřikování plastických hmot*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1973. Řada chemické literatury.
- [8] Engel [online]. [cit. 2015-11-26] Dostupné z WWW: <http://www.engelglobal.com/en/at/solutions/injection-moulding-machines/e-motion.html>
- [9] TOMIS, František a František RULÍK. *Gumárenské a plastikářské stroje II*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981.
- [10] Martin Seidl. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*, 2015, ISBN: 978-80-88058-71-7. [online]. [cit. 2015-12-14] Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [11] STANĚK, M. přednášky TZVSZ 2015
- [12] LENFELD, Petr. *Technologie II – Vstřikování plastů*, TU Liberec – Fakulta strojní. [online]. [cit. 2015-12-14] Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [13] BĚHÁLEK, Luboš. *Hodnocení nadmolekulární struktury plastů*. [online]. [cit. 2015-12-10] Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Morfologie.pdf>
- [14] KOHOUTEK, Jan. *Konstrukční řešení vstřikovacích lisů*. [online]. [cit. 2015-12-10] Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrukcni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>

- [15] Keramika, kompozity, polymery, [online]. [cit. 2015-12-14]. Dostupný z WWW: <http://www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm>
- [16] LENFELD, Petr. *Technologie II – Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti*, TU Liberec – Fakulta strojní. [online]. [cit. 2015-12-14] Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [17] DVOŘÁK, Zdeněk a LAMBOROVÁ, Romana. *Základy výrobních procesů I – konstrukční materiály polymerní a kompozity*. Zlín: UTB ve Zlíně, 2008. str. 64. Dostupný z WWW: <http://www.utb.cz/file/40834>
- [18] DUCHÁČEK, V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. VŠCHT v Praze, 2006. 280 s, ISBN 80-7080-617-6.
- [19] VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. Vyd. 1. Havlíčkův Brod: VŠCHT Praha, 2010. 212 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
- [20] KULHÁNEK JAN a kol. *Formy pro tváření plastických hmot*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1966. 224 s. ISBN 04-237-66.
- [21] BĚHÁLEK, Luboš. *Navlhavost a sušení plastů*. [online]. [cit. 2015-12-18] Dostupný z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Suseni.pdf>
- [22] TOMIS, František a HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1985. str. 274.
- [23] Custompartnet - Injection Molding. [online]. 2009 [cit. 2015-11-11] Dostupné z WWW: <http://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>
- [24] JÍLEK, Bohumil. *Výroba vstřikovací formy - Diplomová práce*. 2009. Fakulta strojního inženýrství – vysoké učení technické v Brně. [online]. [cit. 2015-11-12] Dostupné z WWW: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14760
- [25] VLČEK, Jiří; MAŇAS, Miroslav. *Aplikovaná reologie*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001. 144 s. ISBN 8073180391.
- [26] BEAUMONT P. John. *Successful Injection Molding: Process, Design, and Simulation*. Munich: Hanser Publisher, 2002. 362 p. ISBN 3-446-19433-9.
- [27] OSSWALD A, Tim. *Injection molding handbook*. 2nd edition. Munich: Hanser Publishers, 2008. 764 p. ISBN 978-3446-40781-7.

- [28] LENFELD, Petr. *Vstřikovací formy – vtoková soustava*, TU Liberec – Fakulta strojní. [online]. [cit. 2015-12-14] Dostupný z WWW http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c8/VS.pdf.
- [29] BĚHÁLEK, Luboš. *Teorie zpracování nekovových materiálů - Průvodní a následné jevy při zpracování plastů*. TU Liberec – Fakulta strojní. [online]. [cit. 2015-12-20] Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/6.pdf.
- [30] PÖTSCH, Gerd., MICHAELLI, Walter., *Injection Molding- An Introduction*. Munich: Hanser Publisher, 1995. 195 s. ISBN 1-56990193.
- [31] NOVOTNÝ, J., et al. *Technologie I*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2006. 227 s
- [32] HYNEK, Martin. *Horké vtoky*. Západočeská univerzita v Plzni – Fakulta strojní [online]. [cit. 2015-12-20] Dostupný z WWW: https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Horke_vtoky.pdf
- [33] Orycon eu. *Horké vtokové systémy*. [online]. [cit. 2015-12-20] Dostupný z WWW: <http://www.oryconeu.cz>
- [34] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů II. díl -Vstřikování termoplastů*. Brno: UNIPLAST, 1999. str. 214.
- [35] Solvay Rhodia. *Technolstar S218 V35 Black 31 N*. [online]. [cit. 2016-04-15] Dostupný z WWW: http://www.rhodia.com/en/markets_and_products/product_finder/product_details.tcm?productCode=90028382&productName=TECHNYLSTAR+S+218+V35+BLACK+31+N.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ITT	Index toku taveniny.
PS	Polystyren.
PE	Polyetylén.
PVC	Polyvinylchlorid.
PMMA	Polymethylmethakrylát
T _g	Teplota skelného přechodu.
T _m	Teplota tání.
T _f	Teplota tavení
α	Součinitel teplotní roztažnosti.
D	Vnější průměr podkosu.
d	Vnitřní průměr podkosu.
R	Poloměr (rádius).
t	Tloušťka stěny.
n	Vstřikovací kapacita stroje.
M _c	Vstřikovací kapacita stroje v [g].
M	Hmotnost jednoho výstřiku [g].
A	Koeficient vtokového zbytku.
Q _p	Plastikační kapacita stroje [kg·h ⁻¹].
t _c	Doba vstřikovacího cyklu [s].
F	Síla [N]
p _v	Vstřikovací tlak [MPa]
S	Plocha [mm ²]
t _p	Doba produkce [h]
N	Celková požadovaná produkce výstřiků [ks].

k	Koeficient využití výrobního času.
K_P	Provozní náklady [Kč].
PA6	Polyamid 6.
ΔT	Rozdíl teplot.
S_j	Plocha jádra kolmá k ose jádra. [mm ³]
p_{\max}	Maximální dosažený tlak při vstřikování [MPa].

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1-1 Vstřikovací cyklus – kruhový diagram.</i>	13
<i>Obr. 1-2 Vstřikovací stroj od firmy Engel. [8]</i>	14
<i>Obr. 1-3 Náhled do vstřikovacího stroje. [5]</i>	15
<i>Obr. 1-4 Pístová předplastikace [6]</i>	16
<i>Obr. 1-5 Šneková předplastikace [6]</i>	17
<i>Obr. 1-6 schéma průběhu vstřikovacího cyklu pístové plastikace (a) dávkování granulátu, (b) plastikace dávky a vstřikování taveniny, (c) odformování výrobku [10]</i>	18
<i>Obr. 1-7 Řez vstřikovací jednotkou se šnekovou plastikací.[12]</i>	19
<i>Obr. 1-8 Příklady zpětných uzávěrů (vlevo) a příklady šneků (vpravo).[12]</i>	19
<i>Obr. 1-9 základní části uzavírací jednotky. [14]</i>	20
<i>Obr. 1-10 Hydraulická uzavírací jednotka s pomocnými válci. [6]</i>	20
<i>Obr. 1-11 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka s válcem v ose stroje. [6]</i> ..	21
<i>Obr. 1-12 Hydraulicko-mechanická uzavírací jednotka s válcem kolmo na osu stroje. Kde a)otevřená poloha, b) uzavřená poloha. [10]</i>	21
<i>Obr. 1-13 Elektromechanická uzavírací jednotka.[6]</i>	22
<i>Obr. 1-14 Programování vstřikovacího cyklu.[10]</i>	23
<i>Obr. 2-1 Polymerace (polyetylen)</i>	24
<i>Obr. 2-2 Struktura polymerů a) lineární; b) rozvětvená; c) se zkříženými články; d) zesíťovaná [16]</i>	24
<i>Obr. 2-3 Termomechanická křivka amorfního (1) a semikrystalického (2) polymeru.[25]</i>	26
<i>Obr. 2-4 Nadmolekulární struktura amorfních plastů.[16]</i>	27
<i>Obr. 2-5 Semikrystalický polymer.[15]</i>	27
<i>Obr. 2-6 Struktura sférolitů.[13]</i>	28
<i>Obr. 3-1 Přečody různých tlouštěk stěn.[5]</i>	32
<i>Obr. 3-2 Doporučené úkosů (vlevo) a podkosy (vpravo) na vstřikovaném dílu.[5]</i> ...	33
<i>Obr. 3-3 Porovnání vnitřních a vnějších rádiusů vstřikovaného dílu.[5]</i>	34
<i>Obr. 3-4 a), b) technologická žebra; c) konstrukční žebra[2]</i>	35
<i>Obr. 3-5 Vznik propadliny.[5]</i>	35
<i>Obr. 4-1 Řez vstřikovací formou.[23]</i>	36
<i>Obr. 4-2 Návrh dělicí roviny (obecného tvaru).[24]</i>	39

<i>Obr. 4-3 Podstata mechanismu smrštění – příklad PA 6.[29]</i>	40
<i>Obr. 4-4 Rozměr jako funkce času - průběh smršťování výstřiku. [1]</i>	41
<i>Obr. 4-5 Vliv vybraných technologických parametrů vstřikování termoplastů na smrštění vstřikovaných dílů.[5]</i>	41
<i>Obr. 4-6 Fontánový tok.[26]</i>	43
<i>Obr. 4-7 Výstup taveniny z ústí vtoku a) jetting, b) ideální plnění dutiny.[27]</i>	43
<i>Obr. 4-8 Studený vtokový systém.</i>	44
<i>Obr. 4-9 Souosost trysky a vtokové vložky.[2]</i>	45
<i>Obr. 4-10 Porovnání provedení rozváděcích kanálů.[5]</i>	45
<i>Obr. 4-11 Vtoková ústí: A) Plný kuželový vtok, B) Obdélníkový vtok, C) Filmový - talířový vtok, D) Filmový vtok, E) Tunelový vtok, F) banánový vtok.</i>	46
<i>Obr. 4-12 Vyhřívaná vtoková soustava.[27]</i>	47
<i>Obr. 4-13 Rozvodný blok: 1- tělo rozvaděče, 2- kanál, 3- koncovka, 4- šikmý kolík, 5- seřizovací šroub, 6- kryt topení, 7- tubulární topení, 8- druhá sada topení.[33]</i>	48
<i>Obr. 4-14 Popis horké vtokové trysky.[33]</i>	49
<i>Obr. 4-15 Porovnání efektu různého průměru temperačních kanálů.[5]</i>	50
<i>Obr. 4-16 Vyhazovací kolíky: a) válcový kolík b) prizmatický vyhazovač [4]</i>	53
<i>Obr. 4-17 Stírací deska (kroužek).[34]</i>	53
<i>Obr. 4-18 Trubkový vyhazova.[4]</i>	54
<i>Obr. 4-19 Odformování pomocí šikmých čepů.[4]</i>	54
<i>Obr. 6-1 Mlhový světlomet.</i>	58
<i>Obr. 7-1 Gate location.</i>	60
<i>Obr. 7-2 Orientace vstřikovaného dílu ve formě.</i>	61
<i>Obr. 7-3 Rám formy.</i>	62
<i>Obr. 7-4 Vodící a středící členy.</i>	62
<i>Obr. 7-5 Pohled do dělicí roviny zprava (horní obr.) a z levé (dolní obr.).</i>	63
<i>Obr. 7-6 Odformovací systém.</i>	64
<i>Obr. 7-7 Tvarové segmenty: 1 – tvárniceová vložka, 2 – tvárniceová vložka, 3 – tvarová kostka na šoupátku, 4 – jádro.</i>	65
<i>Obr. 7-8 Vtokový systém.</i>	67
<i>Obr. 7-9 Temperační systém.</i>	68
<i>Obr. 7-10 Vyhazovací systém.</i>	69

<i>Obr. 7-11 Manipulační a pojistné prvky.</i>	69
<i>Obr. 8-1 Analýza sítě.</i>	70
<i>Obr. 8-2 Blok formy</i>	71
<i>Obr. 8-3 Nastavení teploty.</i>	71
<i>Obr. 8-4 Čas plnění (Fill time).</i>	72
<i>Obr. 8-5 Rychlost smykové deformace.</i>	73
<i>Obr. 8-6 Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall).</i>	74
<i>Obr. 8-7 Průběh uzavírací síly (Clamp force).</i>	74
<i>Obr. 8-8 Rozměrové možnosti uzavírací jednotky.</i>	75
<i>Obr. 8-9 Nastavení vstřík + dotlak + čas chlazení.</i>	76
<i>Obr. 8-10 Nastavení Fill + Pack</i>	76
<i>Obr. 8-11 Advanced options</i>	77
<i>Obr. 8-12 Nastavení smrštění.</i>	77
<i>Obr. 8-13 Nastavení temperačního média.</i>	78
<i>Obr. 8-14 Čas plnění (Fill time)</i>	78
<i>Obr. 8-15 Průběh tlaku taveniny ve vtokovém ústí (Pressure at injection location).</i>	79
<i>Obr. 8-16 Tlak taveniny (Pressure at V/P swirchover).</i>	79
<i>Obr. 8-17 Rychlost smykové deformace (Shear rate).</i>	80
<i>Obr. 8-18 Smykové napětí na stěně (Shear stress at wall)</i>	81
<i>Obr. 8-19 Studené spoje (Weld lines).</i>	82
<i>Obr. 8-20 Vzduchové kapsy (Air traps).</i>	83
<i>Obr. 8-21 Průběh uzavírací síly (Clamp force).</i>	83
<i>Obr. 8-22 Teplota v temperačním systému (Circuit coolant temperature).</i>	84
<i>Obr. 8-23 Účinnost odvodu tepla temperačního okruhu (Circuit heat removal efficiency).</i>	84
<i>Obr. 8-24 Detail na místa vyhazovačů.</i>	85
<i>Obr. 8-25 Deformace od všech efektů (Deflection, all effects: Deflection).</i>	86
<i>Obr. 8-26 Celková deformace od všech efektů v reálném měřítku</i>	86
<i>Obr. 8-27 3D pohled na formu s odstupňováním vyhazování (odformování).</i>	87
<i>Obr. 8-28 Efektivita temperačního systému.</i>	88

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Materiálové parametry z databáze Moldflow pro59

Tab. 2 Srovnání požadovaných parametrů a parametrů stroje.75

SEZNAM PŘÍLOH

- P I MATERIÁLOVÝ LIST
- P II TECHNICKÁ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE
- P III 3D POHLED NA VSTŘIKOVACÍ FORMU
- P IV ČELNÍ POHLED DO PRAVÉ STRANY VSTŘIKOVACÍ FORMY
- P V ČELNÍ POHLED DO LEVÉ STRANY VSTŘIKOVACÍ FORMY
- P VI SESTAVA VSTŘIKOVACÍ FORMY
- P VII KUSOVNÍK
- P VIII VÝKRES VÝROBKU
- DVD - DISK OBSAHUJÍCÍ:
- Diplomovou práci
 - Model výrobku
 - Model formy
 - Analýzy

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST

TECHNYLSTAR AF 218 V35 BLACK 21N

Product Data Sheet
27.02.2012

Properties

Typical values of properties are for black grades

	Standards	Unit	Values	
			d.a.m.	Cond.
Physical				
Water absorption(24h at 23°C)	ISO 62	%	0,75	
Density	ISO 1183/A	g/cm3	1,41	
Molding shrinkage Parallel	RHODIA	%	0,45	
Molding shrinkage normal or perpendicular	RHODIA	%	0,75	
Molding Shrinkage Isotropy	RHODIA		0,60	
Mechanical				
Tensile Modulus	ISO 527 Type 1A	MPa	11100	9100
Tensile strength at break	ISO 527 Type 1A	MPa	200	140
Elongation at break	ISO 527 Type 1A	%	3	4
Flexural modulus	ISO 178	MPa	9500	
Flexural maximum stress	ISO 178	MPa	280	
Charpy notched impact strength	ISO 179/1eA	kJ/m2	11	14
Charpy unnotched impact strength	ISO 179/1eU	kJ/m2	80	90
Thermal				
Melting Temperature	ISO 11357	°C	263	
Heat deflection temperature (1,8 MPa)	ISO 75/Af	°C	255	
Specific				
Identification code				PA66-GF35

Processing Guide

The material is supplied in airtight bags, ready for use. In case that the virgin material has absorbed moisture, it must be dried with a dehumidified air drying equipment.

Recommended Maximum water content: 0,2 %

Drying conditions: 80 °C

Recommended moulding conditions

Barrel Temperatures:

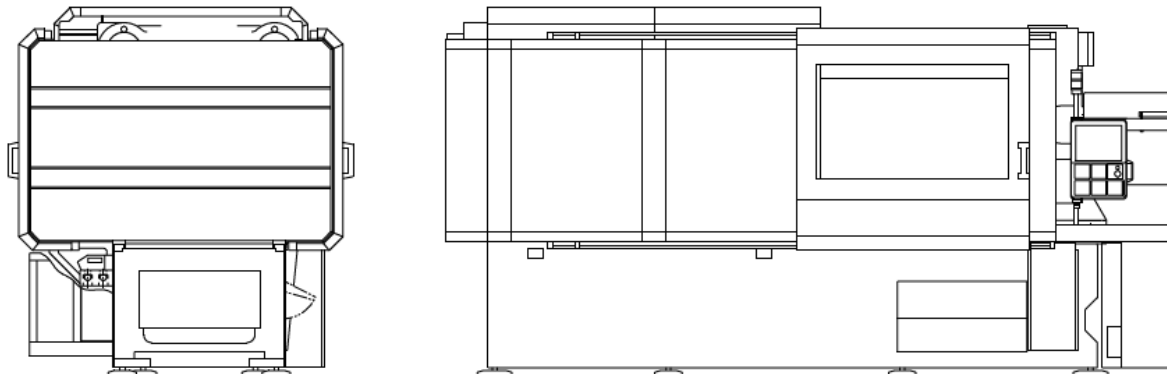
- feed zone 265 - 275 °C
- compression zone 270 - 280 °C
- mixing zone 280 - 290 °C

Mould temperatures: 60 - 80 °C

Steel advice for tools

For reinforced polyamide (glass fibre, glass sphere, mineral fibre...), Solvay recommends the use of steel with a high content of Carbon and purified for polishing to avoid or limit the abrasion. For example: Z38CDV5W or Z160CDV12.

PŘÍLOHA P II: TECHNICKÁ PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE



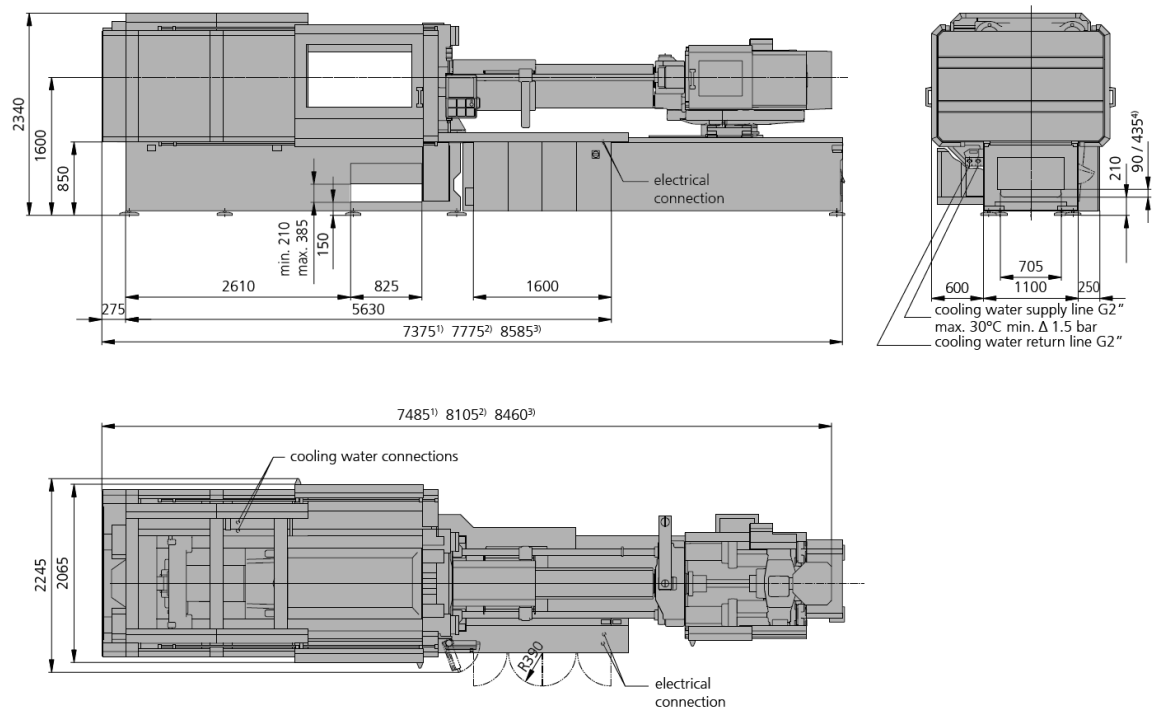
ALLROUNDER 820 S

Technical data

Tie bar distance: 820 x 820 mm

Clamping force: 4000 kN

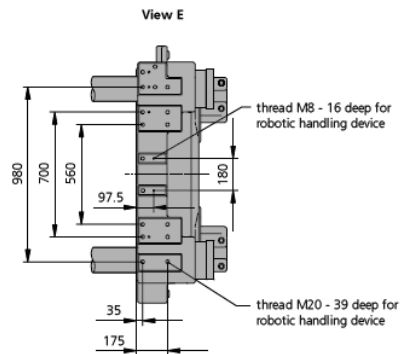
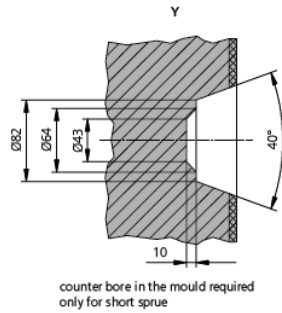
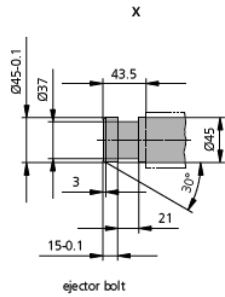
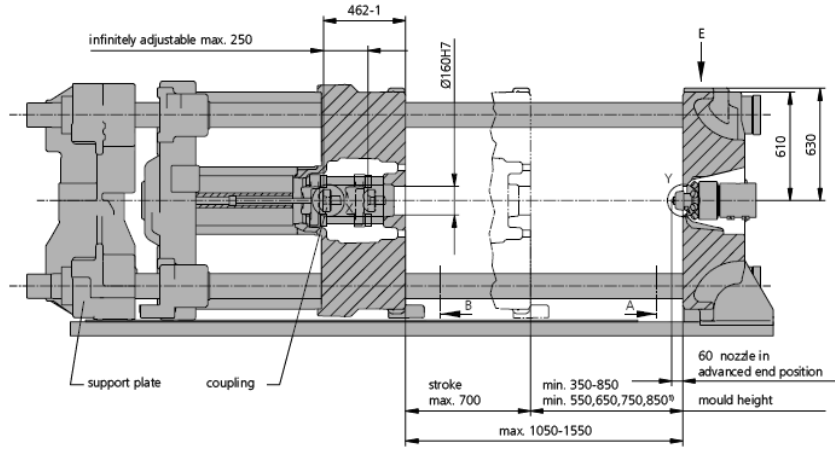
Injection units (according to EUROMAP): 2100, 3200, 4600



ARBURG

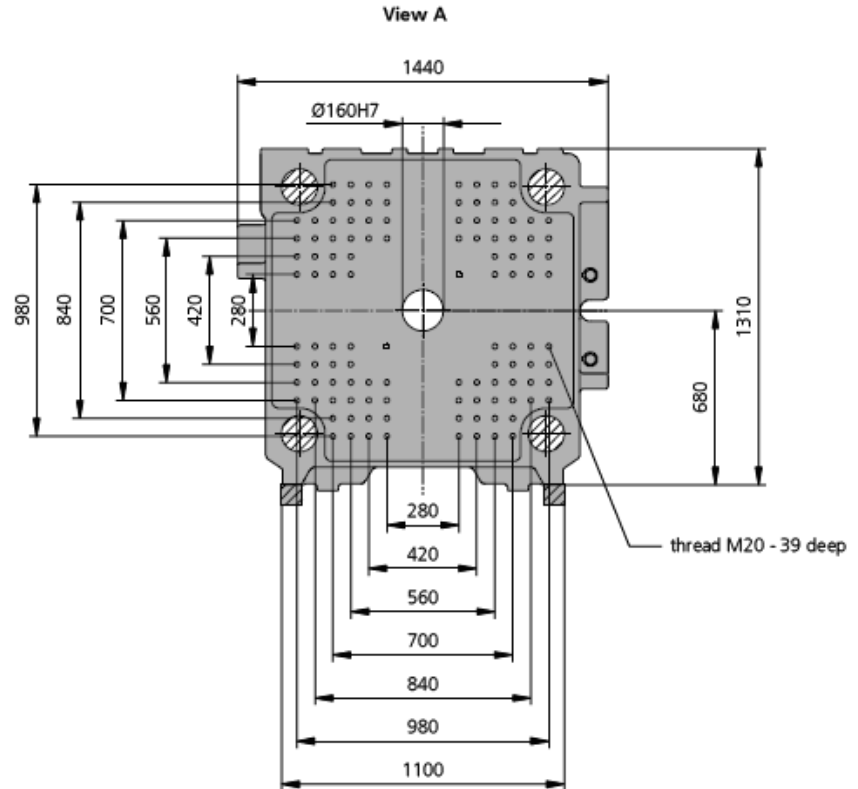
Machine model		820 S	820 S	820 S
EUROMAP size indication ¹⁾		4000-2100	4000-3200	4000-4600
Clamping unit				
Clamping force	max. kN	4000	4000	4000
Closing force	max. kN	150	150	150
Opening force / increased	max. kN	100 / 800	100 / 800	100 / 800
Opening stroke	max. mm	700	700	700
Mould height	min. mm	350-850	350-850	350-850
Daylight	max. mm	1050-1550	1050-1550	1050-1550
Distance between tie bars	mm	820 x 820	820 x 820	820 x 820
Platen size (hor. x vert.)	mm	1171 x 1171	1171 x 1171	1171 x 1171
Weight of mov. mould half	max. kg	5000	5000	5000
Ejector force	max. kN	100	100	100
Ejector stroke	max. mm	250	250	250
Hydraulics, drive, general				
Drive power of the hydraulic pump	kW	55	55	75
Dry cycle time for opening stroke ³⁾	s-mm	3,7-574 (2,3-574)	3,7-574 (2,3-574)	3,7-574 (2,3-574)
Total connected load ²⁾	kW	89	96	129
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow				
Control cabinet				
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
Injection unit				
		2100	3200	4600
Screw diameter	mm	60 / 70 / 80	70 / 80 / 90	80 / 90 / 100
Effective screw length	LD	23 / 20 / 17,5	23 / 20 / 18	22,5 / 20 / 18
Screw stroke	max. mm	280	320	360
Calculated injection volume	max. cm ³	792 / 1078 / 1407	1232 / 1608 / 2036	1810 / 2290 / 2827
Shot weight	max. g PS	723 / 984 / 1286	1125 / 1469 / 1860	1653 / 2092 / 2583
Material throughput ⁶⁾	max. kg/h PS	125 / 145 / 175	185 / 215 / 250	255 / 295 / 330
	max. kg/h PA 6.6	62 / 74 / 88	93 / 110 / 125	130 / 150 / 170
Injection pressure ⁴⁾	max. bar	2500 / 2000 / 1530	2500 / 2000 / 1580	2500 / 2000 / 1620
Injection flow ⁴⁾	max. cm ³ /s	290 / 394 / 514	290 / 380 / 482	310 / 392 / 484
Injection flow with accumulator	max. cm ³ /s	1132 / 1540 / 2012	1188 / 1552 / 1964	1264 / 1600 / 1976
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 200
Circumferential screw speed	max. m/min	51 / 60 / 69	47 / 54 / 61	38 / 43 / 48
Screw torque	max. Nm	2140 / 2500 / 2550	3140 / 3510 / 3510	4400 / 4950 / 5000
Nozzle contact force	max. kN	110	110	110
Nozzle retraction stroke	max. mm	600	600	700
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	30,3 / 7	37,3 / 7	49,8 / 8
Installed nozzle heating power	kW	1,1	1,1	1,1
Horizontal injection position	max. mm	---	---	---
Machine dimensions and weights of the basic machine				
Oil capacity	l	490	590	790
Net weight	kg	21000	22500	24600
Electrical connection (pre-fused) ²⁾	motor + heating	A	200	---
Electrical connection (pre-fused) ²⁾⁸⁾	motor	A	125	160
	heating	A	50	80

Maximum theoretical shot weights for the most important injection moulding materials (in grams)										
Injection units according to EUROMAP		2100			3200			4600		
Screw diameter	mm	60	70	80	70	80	90	80	90	100
Polystyrene	PS	723	984	1286	1125	1469	1860	1653	2092	2583
Styrene heteropolymerizates	SB	707	962	1256	1099	1436	1817	1615	2044	2523
	SAN, ABS ¹⁾	693	943	1231	1077	1407	1781	1583	2003	2473
Cellulose acetate	CA ¹⁾	814	1108	1447	1266	1654	2093	1860	2354	2907
Celluloseacetobutyrate	CAB ¹⁾	757	1030	1346	1177	1538	1946	1730	2189	2703
Polymethyl methacrylate	PMMA	747	1017	1329	1163	1518	1922	1708	2162	2669
Polyp henylene ether, mod.	PPE	671	914	1194	1044	1364	1726	1535	1942	2398
Polycarbonate	PC	760	1034	1351	1182	1544	1954	1737	2199	2714
Polysulphone	PSU	785	1069	1396	1222	1596	2019	1795	2272	2805
Polyamides	PA 6.6, PA 6 ¹⁾	719	978	1278	1118	1461	1848	1643	2080	2568
	PA 6.10, PA 11 ¹⁾	671	914	1194	1044	1364	1726	1535	1942	2398
Polyoximethylene (Polyacetal)	POM	893	1215	1588	1389	1814	2296	2041	2583	3189
Polyethylene terephthalate	PET	861	1172	1531	1340	1750	2215	1969	2492	3076
Polyethylene	PE-LD	546	744	971	850	1110	1405	1249	1580	1951
	PE-HD	564	768	1003	877	1146	1450	1289	1632	2015
Polypropylene	PP	576	784	1025	897	1171	1482	1317	1667	2058
Fluoropolymerides	FEP, PFA, PCTFE ¹⁾	1157	1575	2058	1800	2352	2976	2646	3348	4134
	ETFE	1015	1382	1805	1579	2063	2611	2321	2937	3626
Polyvinyl chloride	PVC-U	874	1190	1554	1360	1776	2247	1998	2528	3121
	PVC-P ¹⁾	808	1099	1436	1256	1641	2076	1846	2336	2884

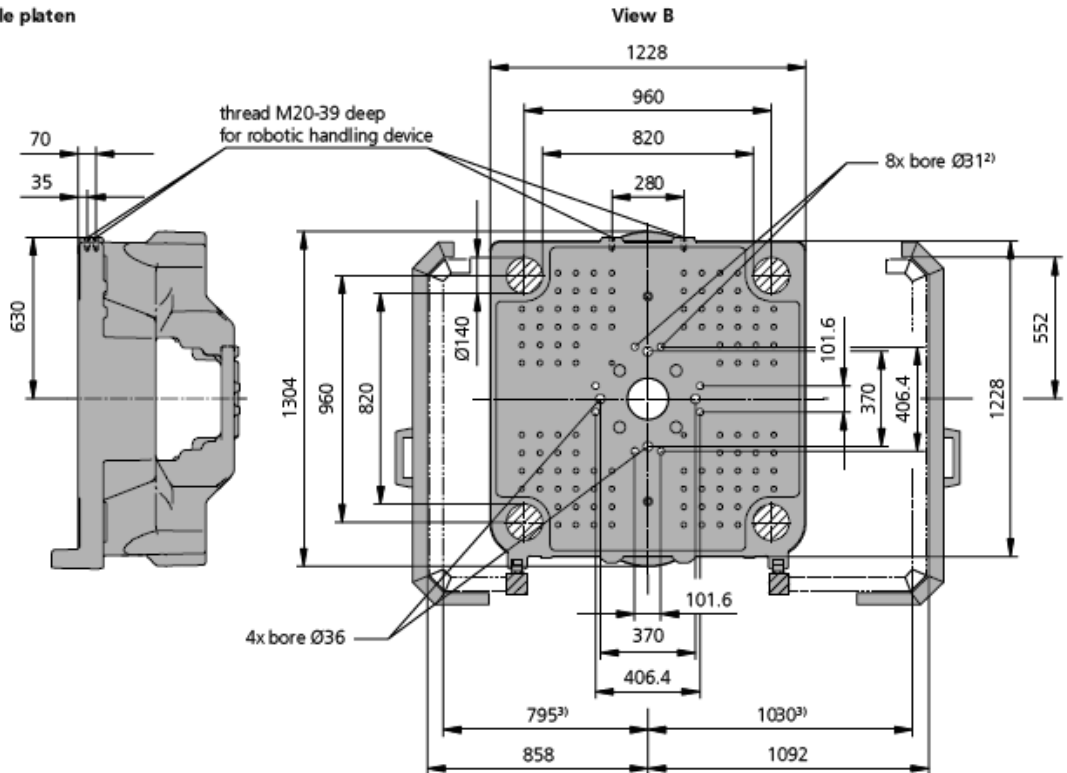


1) Manually adjustable (optional)
 Dimensions for injection units 2100 and 3200 in thermostet version on request

Fixed platen



Movable platen



2) Prepared for guidance $\text{Ø}27$

3) Dimensions are valid for a distance between the mounting platens of 1300 mm or more

PŘÍLOHA P III: 3D POHLED NA VSTŘIKOVACÍ FORMU

