

Konstrukce formy pro výrobu automobilového dílu

Bc. Libor Gabko

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Libor Gabko**

Osobní číslo: **T17260**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Konstrukce formy pro výrobu automobilového dílu**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Proveďte konstrukci 3D modelu zadaného dílu
3. Navrhněte 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu
4. Návrh ověřte pomocí analýz
5. Nakreslete 2D výkres sestavy vstřikovací formy

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: teorie a praxe. Praha: Grada Publishing, 2018, 455 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
2. OSSWALD, Tim A., Lih-Sheng TURNG a Paul J. GRAMANN. Injection molding handbook. 2nd ed. Munich: Carl Hanser Publishers, c2008, xvii, 764 s. ISBN 978-1-56990-420-6
3. BEAUMONT, John P. Runner and gating design handbook: tools for successful injection molding. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2007, xvi, 308 s. ISBN 978-1-56990-421-3.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2019

Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2019

Ve Zlíně dne 1. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji 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

.....

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

(2) Vysoká škola součástíelně zveřejňuje diplomové, bakalářské a rigorózní práce, v kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledků obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpisy vysoké školy.

(2) Diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdání uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo odevzán osobně, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnožování.

(2) Platí, že autorům 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:

(2) Do práva autorského také vstupuje díle nebo dílek či výtvarná zřízení, ať je-li ukotv. na číselu písma nebo nepřímého hospodářského nebo občanského prospěchu i výuce nebo k nást. podřet. díla vytvoř. dílem nebo studentem ze spř. díleků nebo studijních povinností vyplývajících z jeho přímého vztahu ke škole nebo školáckému či výtvarnému zřízení (školní dílo).

§ 17 odst. 1 ZÁKON Č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či výtvarné zřízení mají na obvyklých podmínkách práce na uzavřené licenci smlouvy s ústí školního díla (§ 55 odst. 3). Opatř.-li autor souhlasem díla učít. zvolen. pro učební účely, nastou je tato osoba považ. za tvorbu díla školního projevu jeho vůle v souh. Účelem § 15 odst. 3 uč. dílo ověřeno.

(2) Nemá-li sjednáno jinak, mále autor školního díla své dílo učít. poskytnout jednou licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či výtvarného zřízení.

(3) Škola nebo školské či výtvarné zřízení jsou oprávněny požadovat, aby jen autor školního díla s výjimkou jeho dovozného v souvislosti s učeb. díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoř. díla vynaklád, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přiměřen. i výši výdět. dovozného školou nebo školským či výtvarným zřízením z učeb. školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je vytvoření konstrukčního návrhu vstřikovací formy pro zadaný vstřikovaný dílec. Celá diplomová práce je rozdělena do dvou částí. První část je teoretická a druhá část praktická.

V teoretické části jsou popsány polymerní materiály používané při technologii vstřikování, samotný princip technologie vstřikování, normálie používané při výrobě vstřikovacích forem a zásady pro konstrukci vstřikovaných výrobků a forem.

Praktická část je zaměřena na samotný konstrukční návrh vstřikovací formy. V této části jsou rozebrány a popsány jednotlivé části vstřikovací formy. Model vstřikovaného dílu i forma samotná je zhotovena v programu CATIA V5R19. Návrh vstřikovací formy je ověřen pomocí analýz, které proběhly v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Klíčová slova: Vstřikování, vstřikovací forma, polymerní materiály, technologie, CATIA software

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to create a construction design of the injection mold for specified plastic part. The thesis is divided into two sections. First part is theoretical and second part is practical.

There are described technology of injection molding, standardized parts used in this technology and principles of injection mold design, principles of plastic part design in theoretical part.

Practical part of thesis is focused on construction design of mold. There are described all parts of injection mold. Model of specified part was made in 3D software CATIA V5R19. Construction of injection mold was verified by analytical software Autodesk Moldflow Synergy 2016.

Keywords: Injection molding, injection mold, polymers materials, CATIA software

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Michal Staněk, Ph.D. za jeho vedení, konzultace a čas, který mi věnoval při psaní diplomové práce. Rovněž bych rád poděkoval i ÚVI FT za komplexní vzdělání, které jsem mohl využít při psaní diplomové práce. Mé vřelé díky patří také mé rodině, která mi byla po celou dobu studia nejen psychickou oporou ale i oporou materiální.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	12
1.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	12
1.2 HLAVNÍ FÁZE VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	12
1.2.1 Plastikační fáze.....	13
1.2.2 Fáze vstřikovací	14
1.2.3 Dotlaková fáze	15
Bod přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak:	15
1.2.4 Fáze ochlazovací	17
1.3 TEPLOTA, TLAK A MĚRNÝ OBJEM V PRŮBĚHU VSTŘIKOVACÍHO CYKLU (PVT DIAGRAM)	19
2 POLYMERNÍ MATERIÁLY	21
2.1 TERMOPLASTY	22
2.1.1 Amorfnní termoplasty	23
2.1.2 Semikrystalické termoplasty	24
2.2 REAKTOPLASTY.....	25
2.3 PŘÍPRAVA POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ PŘED VSTŘIKOVÁNÍM.....	25
2.3.1 Sušení granulátu	25
2.3.2 Aditiva do polymerů	26
3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ	27
3.1 PŘEDVÝROBNÍ ETAPY VÝROBY VÝSTŘIKŮ.....	27
3.1.1 Maximální funkčnost vstřikovaného dílu produktu	27
3.1.2 Optimální materiál pro vstřikovaný díl	27
3.1.3 Snížení celkového objemu materiálu na minimum	27
3.1.4 Maximální využití výhod technologie vstřikování	28
3.2 ZÁSADY PRO VÝROBU VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ	28
3.2.1 Tloušťka stěn.....	28
3.2.2 Rovnoměrná tloušťka stěn	28
3.2.3 Umístění studených spojů	29
3.2.4 Ostré hrany, rohy.....	29
3.2.5 Úkosoý	30
3.2.6 Podkosoý	31
3.2.7 Konstrukce žebrování výrobků	32
4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY	34
4.1 RÁM VSTŘIKOVACÍ FORMY	34
4.2 ROZVODNÝ (VTOKOVÝ) SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	37
4.2.1 Studený vtokový systém	37
4.2.2 Druhy vtokových ústí	40
4.2.3 Horký vtokový systém	42

4.3	TEMPERACE VSTŘIKOVACÍ FORMY	44
4.4	ODVZDUŠNĚNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	46
4.5	VYHAZOVACÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	47
4.5.1	Mechanické vyhazovací systémy	47
4.5.2	Pneumatické vyhazovací systémy	47
4.5.3	Hydraulické vyhazovací systémy	47
5	VADY VÝSTŘIKŮ Z TERMOPLASTŮ	49
5.1	NEÚPLNÝ VÝSTŘIK	49
5.2	PŘETOKY A OTŘEPY	49
5.3	PROPADLINY A VTAŽENINY	50
5.4	DEFORMACE VÝSTŘIKU	50
5.5	SPÁLENÉ MÍSTA NA POVRCHU VÝSTŘIKU	51
5.6	MEANDROVÝ (VOLNÝ) TOK TAVENINY	51
5.7	STUDENÉ SPOJE	52
II	PRAKTICKÁ ČÁST	54
6	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	55
7	POUŽITÉ PROGRAMY	56
7.1	CATIA V5R19	56
7.2	AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016	56
7.3	HASCO DAKO MODUL	56
7.4	MEUSBURGER KATALOG	56
8	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK	57
8.1	MATERIÁL VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU	57
9	NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY	59
9.1	ROZMĚRY VSTŘIKOVACÍ FORMY	59
9.2	UMÍSTĚNÍ VSTŘIKOVANÉHO VÝROBKU DO FORMY	60
9.3	TVAROVÉ PRVKY VSTŘIKOVACÍ FORMY	61
9.4	V TOKOVÝ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	64
9.5	TEMPERAČNÍ SYSTÉM VSTŘIKOVACÍ FORMY	64
9.6	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	66
9.6.1	Pružná vyhazovací jednotka	67
9.7	ODFORMOVÁNÍ VÝSTŘIKU Z DUTINY FORMY	68
9.8	VODÍCÍ A STŘEDÍCÍ PRVKY FORMY	69
10	TOKOVÉ ANALÝZY	71

10.1	VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE	71
10.2	SÍŤ MODELU	72
10.3	VLASTNOSTI SÍŤE	72
10.4	PROCESNÍ PARAMETRY	74
10.5	TOKOVÉ ANALÝZY	75
10.5.1	Uzavírací síla.....	76
10.5.2	Čas plnění (Fill time)	77
10.5.3	Analýza studených spojů.....	77
10.5.4	Vzduchové kapsy (airtraps).....	78
10.5.5	Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty	79
10.5.6	Efektivita odvodu tepla	81
10.5.7	Teplota temperačního média	83
10.5.8	Výsledná deformace ve všech směrech.....	84
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	86
	ZÁVĚR	88
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	90
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ	94
	SEZNAM TABULEK.....	97
	SEZNAM PŘÍLOH.....	98

ÚVOD

Počátky zpracování plastových materiálů se datují k polovině 20. století. Za tu dobu již se v mnoha ohledech zlepšila jak technologie, tak i množství a dostupnost plastových materiálů. V současné době jsou plastové materiály využívány téměř v mnoha různých odvětvích od zdravotnictví a po automobilový průmysl.

V současné době plasty hrají jednu z rozhodujících rolí při inovaci výrobků a zařízení. Kvůli ceně, velmi dobré zpracovatelnosti a dobrým mechanickým vlastnostem začaly plastové materiály brzy nahrazovat dřevo, kov, kámen. Plastové materiály jsou lehčí než většina materiálů, mají nízkou až nulovou elektrickou vodivost. Z technologií zaměřených na zpracování plastů se v minulých letech jako nejprogresivnější ukázala metoda vstřikování. Velmi důležitou roli v technologii vstřikování hraje nástroj tedy vstřikovací forma. Její správná konstrukce významně ovlivňuje cenu výrobku, kvalitu a celou ekonomičnost výroby.

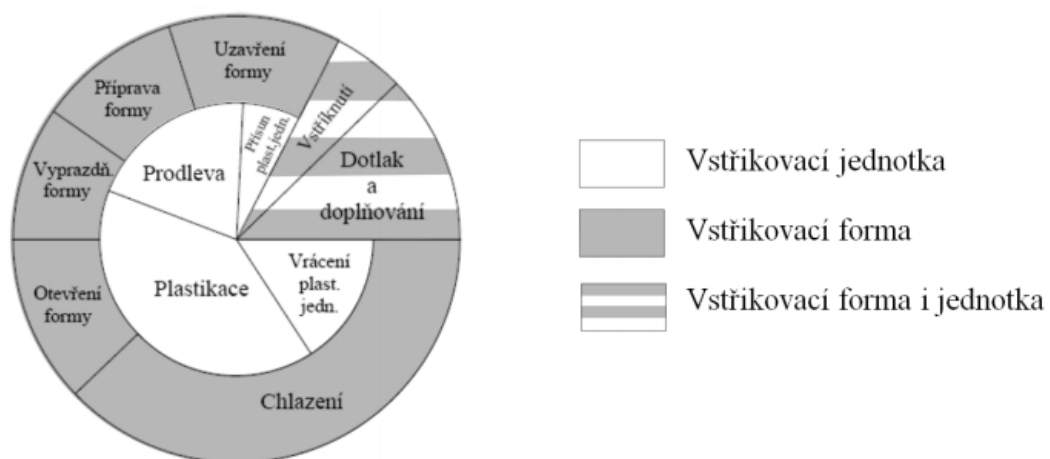
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Technologie vstřikování plastů je jednou z hlavních metod zpracování plastů. Je možné ji využít jak pro výrobu jednoduchých dílů, tak i pro díly velmi tvarově složité. Technologie vstřikování je využívána pro součásti, u nichž předpokládáme velkou sériovost výroby. Pro technologii vstřikování platí určitá omezení, která jsou vztažena například ke tloušťce stěny součásti, jež by normálně neměla překračovat několik milimetrů a také tvarová složitost součásti. Daný díl musí být možné odformovat ve vstřikovací formě. Technologie vstřikování je využívána pro své četné výhody, mezi které patří plná automatizace, vysoká produktivita, nízká cena produktu při výrobě velkých sérií. [4]

1.1 Vstřikovací cyklus

Vstřikované součásti jsou vyráběny diskontinuálně v cyklech. Vstřikování patří k cyklickým tvářecím procesům, které je význačné tím, že zpracovávaný materiál se v rámci výrobního cyklu v žádném okamžiku (z termodynamického hlediska) nedostane do zcela rovnovážného stavu vzhledem k podmínkám, ve kterých se právě nachází.



Obr. 1 Vstřikovací cyklus [16]

1.2 Hlavní fáze vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus je rozdělen na čtyři hlavní fáze, které mají vliv jak na stav výstřiku, tak i na jeho kvalitu. Mezi tyto fáze patří plastikační fáze, vstřikovací fáze, dotlaková fáze a ochlazovací fáze. Podmínky pro co nejvyšší izotropii vstřikování jsou pro jednotlivé fáze definovány v následující části. [3]

1.2.1 Plastikační fáze

Jedním z hlavních předpokladů pro optimální naplnění tvarové dutiny formy polymerní taveninou je zajištění teplotní a viskozitní homogenity v dávce taveniny před čelem šneku. To je zajištěno správným nastavením teplot na jednotlivých topných pásmech plastikačního válce, zpětných odpor šneku a obvodových rychlostí šneku, respektive otáčkách šneku. Poslední dva parametry je obvykle možné v procesu plastikace v závislosti na dráze plastikace profilovat, nastavovat jejich různé úrovně v jednotlivých zvolených úsecích plastikační, dávkovací dráhy pohybu šneku. [1]

Kvalita povrchu výstřiku je negativně ovlivněn případnými nehomogenitami v teplotní či viskozitní složce vstřikované (tokové čáry, lesk, studené spoje, rozložení orientace makromolekul a plniva, vnitřní pnutí, u částečně krystalických materiálů i nerovnoměrná tvorba makromolekulární struktury). [1,3]

Teplota taveniny má rozhodující vliv na orientaci makromolekul ve výstřiku. S růstem teploty taveniny stupeň orientace klesá a výstřik je z hlediska vlastností více izotropní. Zároveň ve směru toku taveniny klesají některé mechanické vlastnosti (pevnost v tahu, houževnatost), naopak je zvýšena pevnost studených spojů a je sníženo vnitřní pnutí. Výstřiky z částečně krystalických při vstřikování do formy s teplotou doporučenou výrobcí granulátů mají vyšší smrštění a nižší dosmrštění. [1,3]

Na plastikaci mají vliv zejména tyto technologické parametry:

Teplota taveniny tzn. nastavení teploty jednotlivých topných pásem a nastavení topného profilu po délce plastikační komory, obvodová rychlost na šneku, respektive otáčky šneku, zpětný odpor na šneku, respektive jeho profil po délce dávkovací dráhy.

Vliv technologických parametrů na výstřik:

Teplota taveniny má rozhodující vliv na orientaci makromolekul při plnění tvarové dutiny formy polymerní taveninou.

S růstem teploty taveniny orientace klesá a výstřik je z hlediska vlastností izotropnější. Vlastnosti výstřiku jsou stejnoměrnější, homogennější, je zvýšena pevnost studených spojů a sníženo vnitřní pnutí, zvyšuje se výrobní smrštění, ale dosmrštění je menší – zejména u částečně krystalických materiálů.

1.2.2 Fáze vstříkovací

Během vstříkovací fáze je tvarová dutina formy naplněna termicky homogenní taveninou tak, aby rychlost čela proudu taveniny byla v každém místě průřezu tvarové dutiny konstantní. U tvarově jednoduchých výstřiků s konstantní tloušťkou stěny je možné tento předpoklad víceméně dodržet, u tvarově členitých výstřiků s rozdílnou tloušťkou stěny je to již problematické i při využití výsledků počítačové simulace plnicí fáze.

Rychlost vstříkování má vliv zejména na povrchové defekty výstřiku (tokové čáry, vrásnění, povrch pomerančové kůry, stopy po studených spojích atd.). Rychlost plnění je proto spolu s teplotou taveniny a teplotou formy nutné optimalizovat tak, aby na povrchu výstřiku nevznikala příliš vysoká smyková napětí.

Pro polymery s částicovým plnivem patří mezi nejvhodnější kombinace vyšší teploty taveniny a nižší vstříkovací rychlosti. U polymerů s vláknitými plnivými je naopak výhodnější vyšší rychlost vstříkování.

Při velmi nízké vstříkovací rychlosti je čelo taveniny v tvarové dutině formy rychle ochlazováno, což podporuje růst orientace a tím anizotropii vlastností v různých místech výstřiku. S klesající rychlostí plnění vzrůstá ve směru toku taveniny pevnost a houževnatost, klesá však povrchový lesk a je snižována pevnost studených spojů.

Součástí vstříkovací fáze, kdy je z pohledu hydraulicky poháněných vstříkovacích strojů regulován průtok hydraulického oleje (rozumíme regulaci rychlosti vstříkování při nastavené jedné hodnotě vstříkovacího tlaku), nastane i změna regulace z průtokové na tlakovou, přepnutí ze vstříkovacího tlaku na dotlak.

Přepnutí ze vstříkovacího tlaku na dotlak musí být provedeno tak, aby nebyla ovlivněna plynulost tlakové odezvy v průběhu plnicí fáze v tvarové dutině formy. Tedy po přepnutí nesmí být na tlakové křivce propad tlaku ani jeho výrazné zvýšení (tlaková špička, pík). Tlaková křivka musí postupně stoupat na maximum a po jeho dosažení plynule přejít na dotlakový průběh. To je důležité, aby bylo dosaženo co nejvyšší izotropie vlastností a minimalizace vnitřního pnutí. Předčasné přepnutí (propad tlaku) má za následek plnění tvarové dutiny formy dotlakem (tedy jinou rychlostí než požadovanou), pozdní přepnutí (tlaková špička) je příčinou zvýšení anizotropie vlastností, zvýšení obsahu vnitřního pnutí může být příčinou vzniku přetoků v dělicí rovině formy.

Předčasné přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak, může v některých případech trochu paradoxně vést ke kvalitnějšímu povrchu výstřiku. Plnění dutiny formy dotlakem je možné použít i v případě, že je při výrobě výstřiku vyžadováno velmi pomalé vstřikování, které není technicky možné realizovat vstřikovací rychlostí (rychlost dotlaku je obvykle nižší než nejnižší možná rychlost vstřikování). [1,3,6]

1.2.3 Dotlaková fáze

Průběh dotlaku, charakterizovaný hodnotou tlakové odezvy v tvarové dutině formy a dobou jeho působení je volen tak, aby bylo dosaženo požadovaných tvarů, rozměrů a hmotnosti výstřiku. Působení dotlakové fáze jako celku i jejích jednotlivých parametrů (doba dotlaku, tlaková úroveň dotlaku, profil dotlaku – rozdělení doby dotlaku na jednotlivé časové úseky a v nich nastavená jiná hodnota tlaku) nad optimum, které nastane, když je dosaženo požadované hmotnosti výstřiku, vykopírování tvarů a desénů ze stěn tvarových dílů formy a zejména dosažení požadovaných rozměrů a tvarů výstřiku. To vše vede ke zvýšení obsahu vnitřního pnutí ve výstřiku (vnitřní pnutí je úměrné součinu dotlaku a doby jeho působení). Je to i neekonomické – zbytečná činnost hydraulického čerpadla.

Dotlaková fáze je využívána ke korekci smrštění a tedy rozměrů, případně deformací, k odstranění propadlin, lunkrů, trhlin, bublin, včetně dokonalejšího vykopírování povrchu (dezénu, lesku, matu) tvarové dutiny formy.

Působení plnicí a dotlakové fáze na výstřik je možné kontrolovat pomocí tzv. polštáře, což je množství taveniny, která zůstane před čelem šneku po skončení dotlaku (zamrznutí ústí vtoku na výstřiku). Pokud je hodnota polštáře cyklus od cyklu v daných tolerančních mezích stejná, vypovídá to o tom, že vstřikovací proces je reprodukovatelný.

Bod přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak:

Po objemovém naplnění tvarové dutiny vstřikovací formy polymerní taveninou, kdy byla ve funkci regulace průtoku, je v bodě přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak regulace rychlosti změněna na regulaci tlakovou.

Bod přepnutí lze definovat v závislosti na:

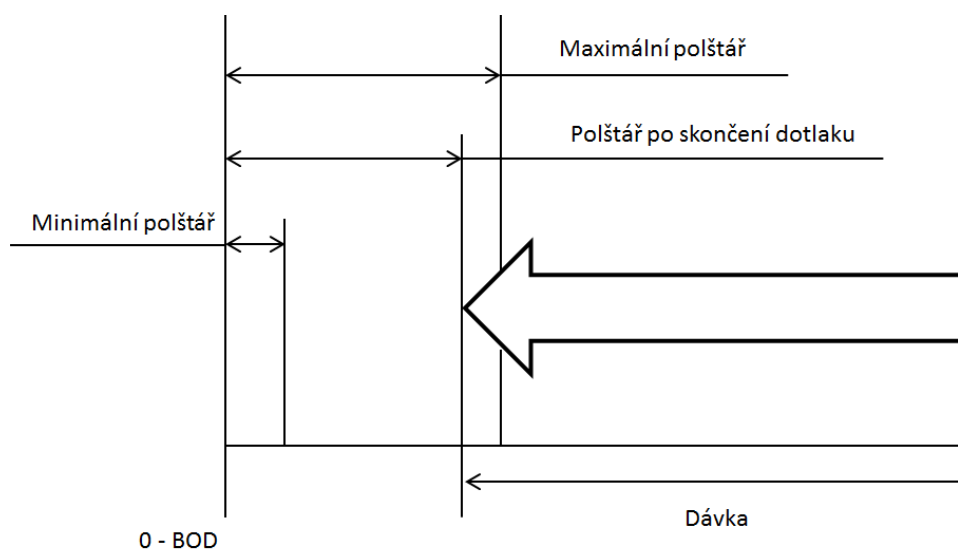
Dráze pohybu šneku vpřed při vstřikování, respektive objemu vstřikované taveniny, na tlaku v hydraulickém systému vstřikovacího stroje nebo na tlaku vyvolaném pohonem šneku při vstřiku, na tlaku v horkém rozvodu formy, tlaku v dutině formy a čase.

Prostřednictvím přepínacího bodu můžeme v tvarové dutině formy mezi ukončením objemového naplnění dutiny a dotlakem řídit kompresi taveniny. Stlačení taveniny má významný vliv na úplné vyplnění všech tvarů, vytvarování kontur a vykopírování dezénů, včetně vzniku přetoků v dělicí rovině formy.

Příliš pozdní přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak může mít za následek vysoké tlakové maximum v dutině formy, vznik přetoků v dělicí rovině formy, přeplnění dutiny formy taveninou, zvýšení hmotnosti výstřiků, větší obsah vnitřního pnutí ve výstřicích, vznik nežádoucí orientace v blízkosti ústí vtoku v důsledku zpětného toku taveniny, zvýšené namáhání formy s možností poškození čelistí apod., vysoké zatížení uzavírací jednotky vstřikovacího stroje. Naopak předčasné přepnutí vstřikovacího tlaku na dotlak může mít za následek tlakové minimum v dutině formy (propad tlaku), neúplné objemové a tvarové naplnění tvarové dutiny formy, zmenšení hmotnosti výstřiku – tokové čáry, zviditelnění studených spojů apod., kolísání hmotnosti výstřiků, větší smrštění, staženiny a propadliny.

Při oživování formy platí pravidlo, že bod přepnutí je volen s velkou rezervou, aby jeho postupnou redukcí – posunováním k hodnotě polštáře – bylo dosaženo objemového naplnění dutiny formy vstřikovací rychlostí a vstřikovacího tlaku a nikoliv dotlakem.

Polštář je definován jako objem taveniny, která zbude před čelem šneku v plastikační komoře po skončení dotlakové fáze, kdy šnek již nevykonává žádný pohyb. Jeho hodnota je dána optimalizací procesu vstřikování. [1,3,6]



Obr. 2 Princip kontroly polštáře [1]

1.2.4 Fáze ochlazovací

Ochlazování výstřiku ve tvarové dutině formy začíná již v okamžiku začátku plnění tvarové dutiny polymerní taveninou (respektive po objemovém naplnění dutiny) a trvá až do vyhození výstřiku z formy, tedy přes dotlakovou fázi a fázi chlazení bez tlaku po zamrznutí vtokového ústí. Mezi parametry ochlazovací fáze patří teplota formy a doba ochlazování. Minimální doba ochlazování musí zaručit takovou tuhost výstřiku, aby byl vyhozen z formy bez deformací nebo způsobených vad vyhazovacím systémem.

Z hlediska jakosti výstřiků je dominantním parametrem teplota formy. Rychlost ochlazování je určující pro relaxační jevy, které ovlivňují výsledný stupeň a rozložení orientace, složku tepelného pnutí a u částečně krystalických polymerů i krystalickou strukturu.

Obecně platí, že čím je ochlazování výstřiku pomalejší (tzn. čím je vyšší teplota formy a delší doba ochlazování, nižší teplota vyhození výstřiku z tvarové dutiny), tím větší je u částečně krystalických plastů obsah krystalického podílu, a proto je při takové kombinaci technologických parametrů ochlazovací fáze i větší smrštění, a to vlivem uspořádanosti krystalické fáze, specifická hmotnost, tuhost, tvrdost a pevnost výstřiků, při klesajícím dosmrštění, tažnosti a navlhavosti. Teplota formy (její zvýšení) má navíc pozitivní vliv i na povrchový lesk a celkově na kvalitu povrchu výstřiku.

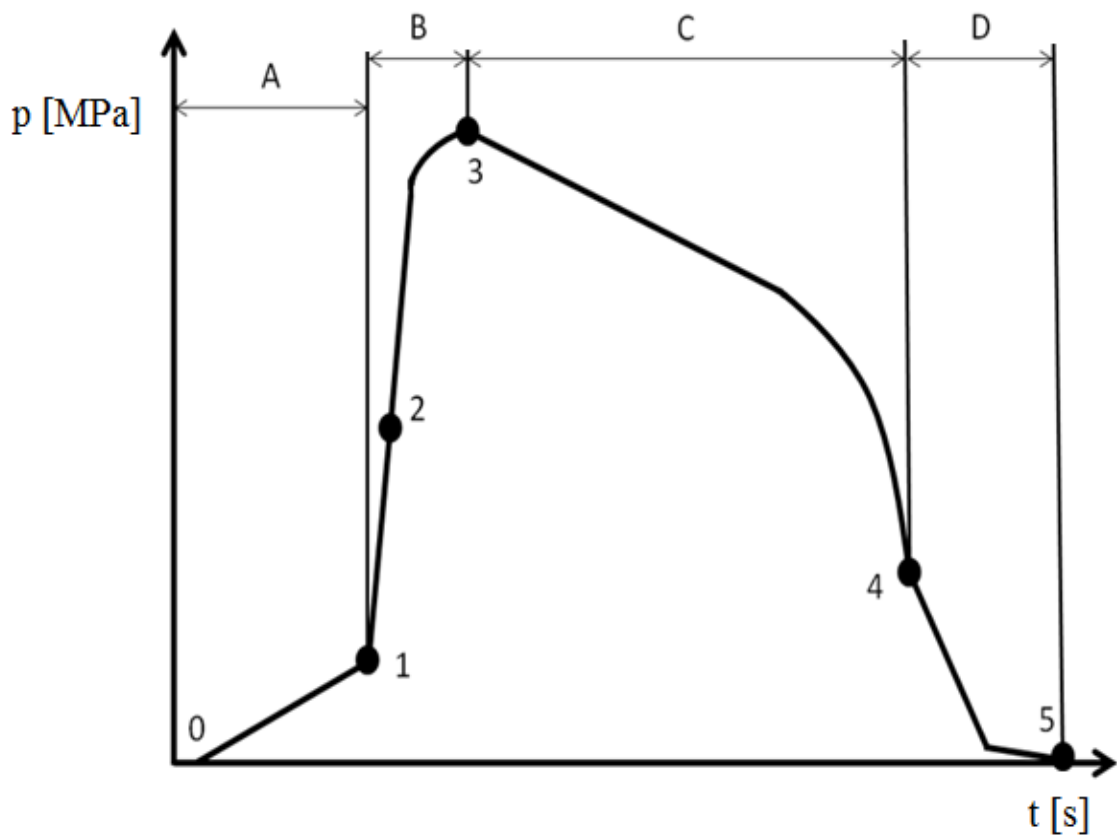
Optimalizace doby ochlazování má výrazný vliv na ekonomii výroby konkrétního výstřiku z pohledu celkové doby vstřikovacího cyklu, kde obvykle tvoří jeho nejdelší dobu. Z hlediska kvalitativních požadavků (rovnoměrná vnitřní struktura výstřiků, minimalizace vnitřního pnutí – relaxace, maximalizace izotropie – relaxace) by doba ochlazování měla být co nejdelší, z ekonomického hlediska pak co nejkratší. Vždy je nutné volit kompromis vycházející z požadavků na kvalitativní parametry výstřiků a cenových požadavků odběratele výstřiků.

Pro zajištění zde uvedených předpokladů (respektive pro přiblížení se, k uvedenému ideálnímu stavu) je nutné provést celou řadu navazujících a vzájemně se ovlivňujících úkonů, seřízení a optimalizací.

Během fáze plnění a komprese dochází k orientaci makromolekul, k tvorbě vzhledových vlastností, k získání jakosti povrchu, při překročení hybnosti polymerní taveniny (součin vstřikovací rychlosti a vstřikovacího tlaku) může, ve vztahu k tuhosti formy dojít k přetokům v dělicích rovinách až k poškození formy. Vliv na fázi plnění mají zejména reologické vlastnosti polymerního materiálu.

Při dotlakové fázi je vytvářena hmotnost výstřiku, jeho tvary a rozměry, obsah vnitřního pnutí, při nízkých hodnotách dotlakové fáze dojde ke vzniku propadlin a lunek. Dotlakovou fázi ovlivňuje zejména teplota formy, teplota taveniny, doba působení dotlaku, tlaková úroveň, respektive profil tlaku v dotlakové fázi.

Poslední fáze chlazení, ovlivňuje zejména tvary a rozměry výstřiku. U částečně krystalických materiálů je ovlivňována během této fáze jejich krystalinita a z ní odvozené vlastnosti výstřiku. [1,3,6]



Obr. 3 Vztah mezi fázemi vstřikovacího procesu [1]

0-1: Plnění vtokového rozvodu polymerní taveninou

1-2: Plnění tvarové dutiny polymerní taveninou

2 -> Bod přepnutí z regulace plnicí fáze na regulaci dotlakové fáze

2-3: Komprese, stlačování polymerní taveniny v tvarové dutině formy a plynulý přechod na dotlakovou fázi

3-4: Průběh dotlaku

4-5: Chlazení výstřiku v tvarové dutině formy

5 -> Vyhození výstřiku z tvarové dutiny formy

1.3 Teplota, tlak a měrný objem v průběhu vstřikovacího cyklu (pvT diagram)

Jeli křivka pvT diagramu (obr. 4) převedena do názvosloví jednotlivých fází můžeme ji popsat takto. Bod 0 vyjadřuje konec plastikační fáze, tedy tavenina je připravena ke vstřikování. Šnek v plastikační komoře vstřikovacího stroje stlačí taveninu a vyvolá před čelem šneku v dávce taveniny takový vstřikovací tlak, kterým dopraví taveninu přes odpory ve vtokovém systému formy do ústí vtoku na výstřiku.

Úsek 0-1 tedy představuje objemové naplnění tvarové dutiny formy, přičemž v bodě 1 je dutina formy objemově naplněna a následně je tavenina až do bodu 2 stlačována, kde vnitřní tlak při optimálním procesu dosahuje maxima → přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak (přechod z plnicí fáze na fázi dotlakovou).

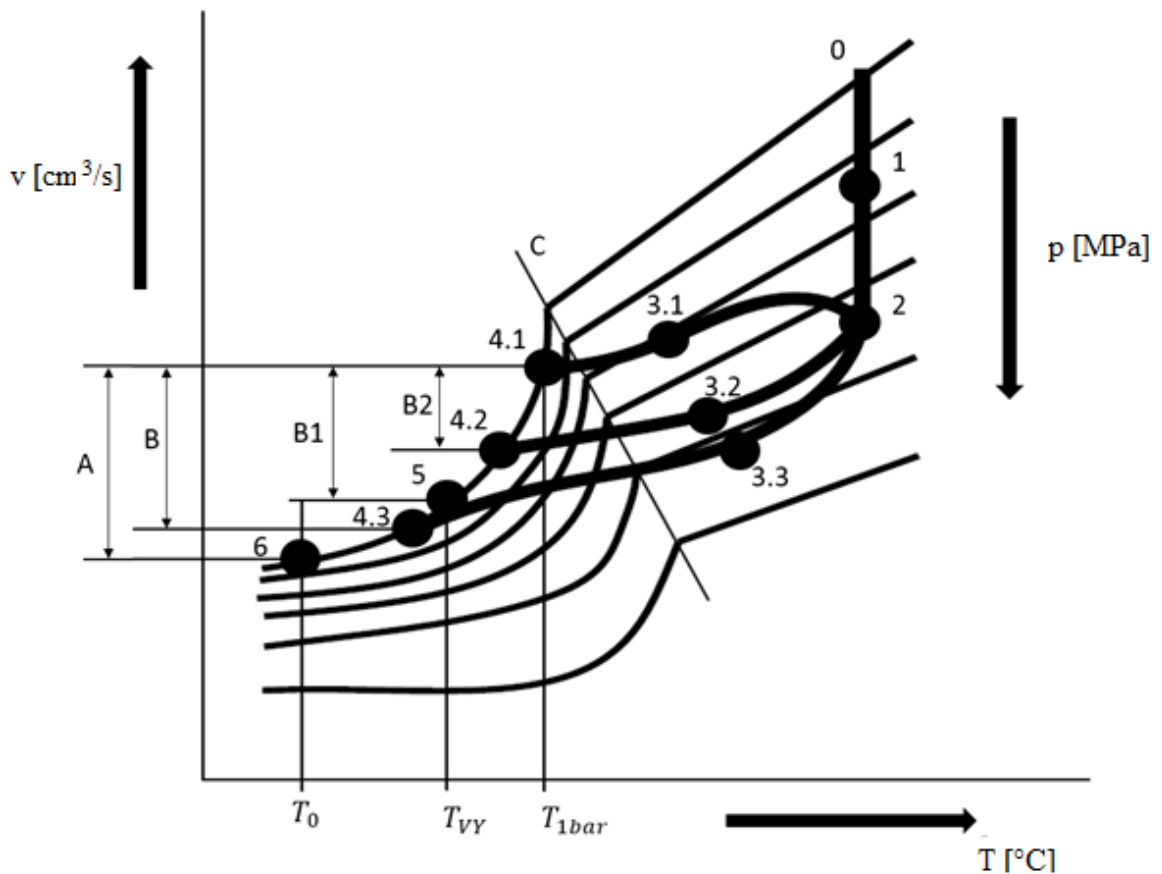
Úsek 2-3 je tedy znázorněním dotlakové fáze. Probíhá zde chlazení polymerní taveniny v dutině formy. Nastavený tlak dotlaku doplňuje „čerstvou“ taveninu z plastikační jednotky a tím kompenzuje ztrátu objemu vyvolanou kontrakcí chládnoucí taveniny.

Bod 3 – vtokové ústí na výstřiku zamrzlo, stěna výstřiku s ústím vtoku zamrzla, další působení dotlaku je zbytečné, již nevyrovnává smrštění výstřiku.

Body 3-4 tlak již není přenášen do tvarové dutiny formy. Ve výstřiku dochází k tlakovému poklesu při konstantním objemu výstřiku. V bodě 4 tlak v dutině formy dosáhne hodnoty atmosférického tlaku 1 bar, povrch výstřiku je oddělen a v důsledku smrštění separován od stěn tvarové dutiny.

Body 4-5 vyjadřují ochlazování výstřiku za konstantního tlaku, v průběhu chlazení zatuhne celý objem a v bodě 5 je výstřik z formy při teplotě T_{VY} vyhozen.

Body 5-6 pak vyjadřují ochlazování výstřiku mimo dutinu formy. Následné hodnocení kvality výstřiku by mělo probíhat až po minimálně 16 hodinách maximálně však až po 48 či 72 hodinách. [1,3,6]



Obr. 4 Proces vstřikování schematicky znázorněn v pvT diagramu [1]

0-1 → Objemové plnění tvarové dutiny formy

1-2 → Tavenina v tvarové dutině je stlačována a od stěn tvarové dutiny ochlazována

0-2 → Vstřikovací fáze

2 → Bod přepnutí ze vstřikovacího tlaku na dotlak

2-3.1, 3.2, 3.3 → Dotlaková fáze, její působení v různých místech výstřiku

3 → Zamrznutí vtokového ústí

3-4.1, 4.2, 4.3 → Isochorický přechod na teplotu T_{1bar} pro různá místa výstřiku

4-5 → Chlazení výstřiku bez působení tlaku (chladičí fáze)

5 → Vyhození výstřiku z tvarové dutiny formy

5-6 → Dochlazení výstřiku mimo formu

T_0 → Teplota okolí

T_{VY} → Vyhazovací teplota

A → Celkové objemové smrštění výstřiku

B, B1, B2 → Výrobní objemové smrštění pro různá místa výstřiku

C → Čára tuhnutí

2 POLYMERNÍ MATERIÁLY

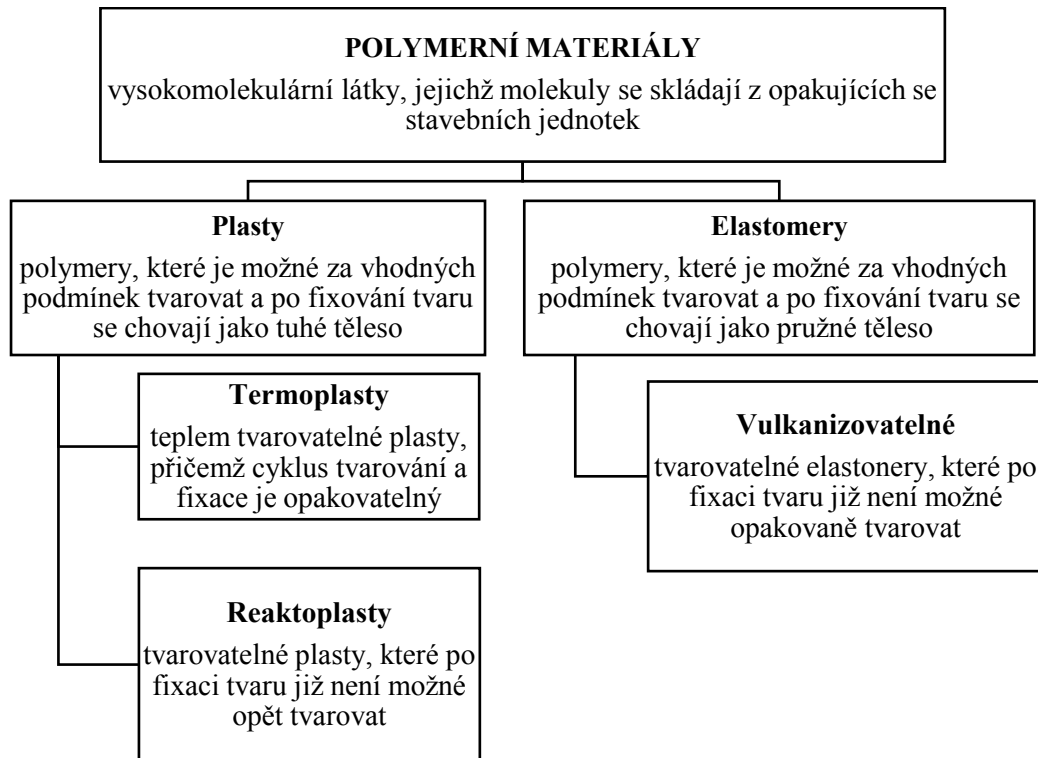
Polymery, nazývané plasty, jsou umělým produktem, který není ve volné přírodě běžně dostupný. Jsou vytvářeny uměle z bázi organických materiálů, ropy, zemního plynu nebo dokonce biomas. Původní produkt, tzv. monomer, jsou plyny nebo kapaliny s nízkou molekulovou hmotností. Vysokou molekulovou hmotnost a pevné skupenství látky získají při řetězové reakci nebo zesíťováním.

Při výrobě polymerů jsou také využívány anorganické elementy např. při výrobě PVC je využíván chlór. V přírodě je mnoho produktů s vysokou molekulovou hmotností, které vznikají biosyntézou ze substancí s nízkou molekulovou hmotností v rostlinách, zvířatech, nebo hmyze. Příkladem je pryskyřice nebo kaučuk v rostlinách, karbohydráty, tuky, nebo proteiny ve zvířatech či hmyze.

Všechny syntetické polymery jsou tvořeny makromolekulami, které vznikají opakovaným spojováním základní jednotky (meru), odvozené od výchozí molekuly – monomeru. Spojováním dvou nebo více druhů základních jednotek vznikají kopolymery.

Makromolekuly jsou tedy řetězce opakujících se merů, které jsou podle struktury děleny na polymery lineární, rozvětvené a síťované. Chemické složení meru, tedy druh atomů a způsob jejich spojení chemickými vazbami určuje základní chemické a fyzikálně chemické vlastnosti příslušného polymeru. Další vlastnosti jsou určeny celkovým počtem merů v řetězci neboli délkou řetězce. Počet merů v řetězci je nazýván polymerační stupeň, jeho hmotnost je vyjádřena pomocí molární hmotnosti. V jednom polymeru jsou obsaženy různě dlouhé řetězce, a proto je polymer charakterizován pomocí středního polymeračního stupně a pomocí střední molární hmotnosti. Přesnější charakteristika polymeru je určena distribuční křivkou molekulárních hmotností.

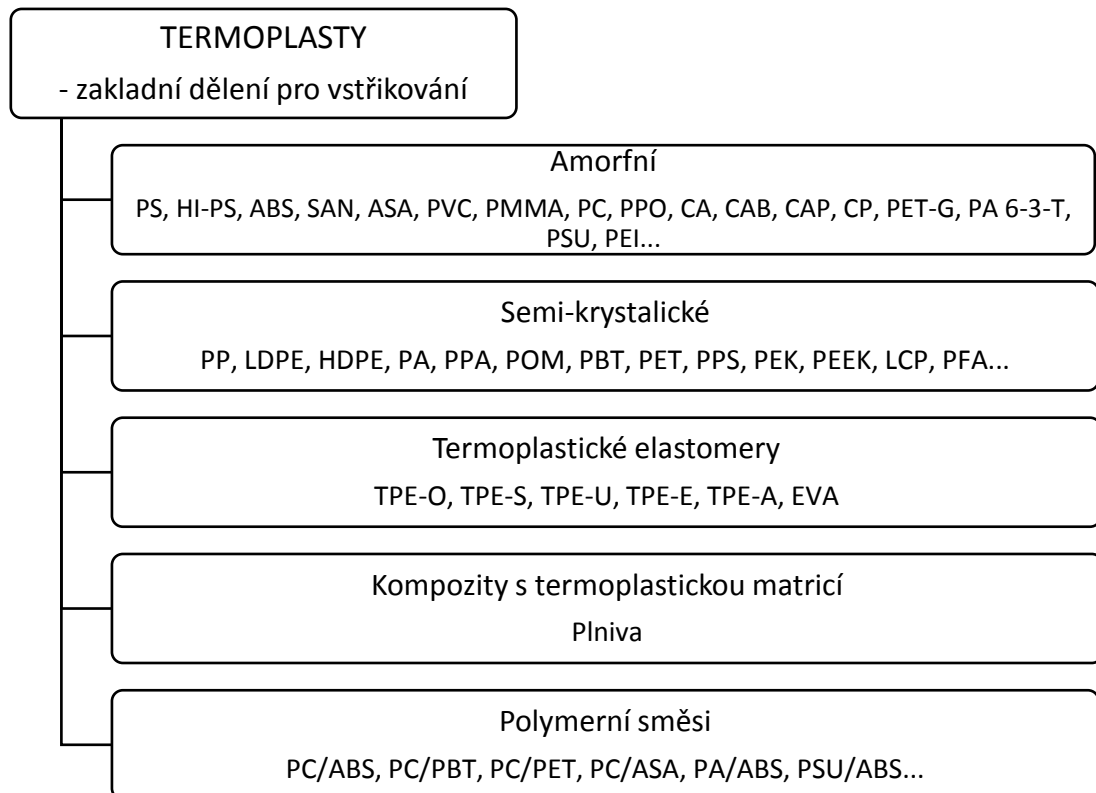
S rostoucí střední molární hmotností polymeru rostou jeho mechanické vlastnosti a zároveň je zvyšována viskozita taveniny při dané teplotě, je zhoršena jeho tekutost a i zpracovatelnost. [1,2]



Obr. 5 Základní členění polymerních materiálů [1]

2.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymerní materiály, které zahřátím převádíme do plastického stavu, ve kterém se dají dále tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Následně jsou ochlazovány pod teplotu tání T_m (semikrystalické materiály) nebo T_f (amorfní materiály), aby přešly zpět do tuhého stavu. Jejich odlišnost od reaktoplastů spočívá v tom, že nedochází ke změnám v chemické struktuře, takže je tento proces možné opakovat a využívat tak materiály opakovaně. [14]



Obr. 6 Termoplasty pro výrobu výstřiků – základní rozdělení [1]

2.1.1 Amorfní termoplasty

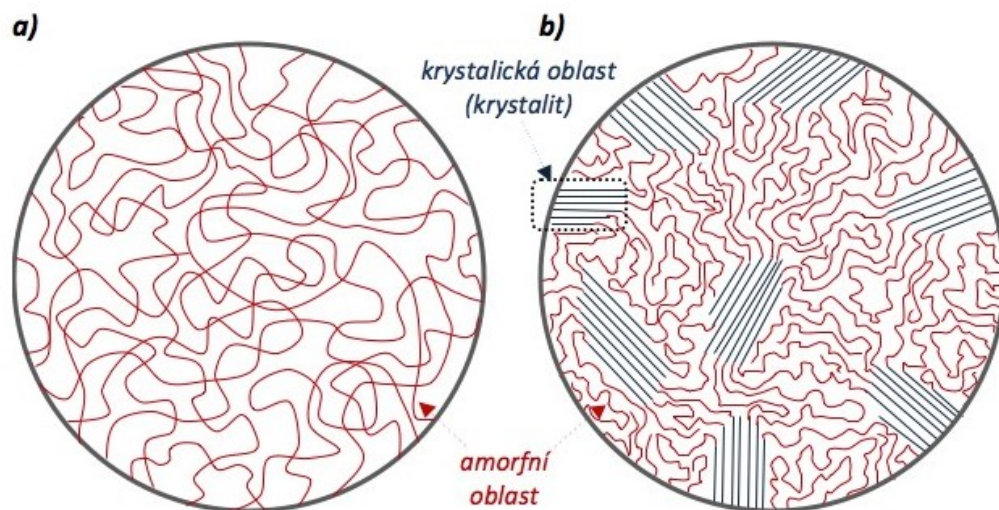
Lineární řetězce makromolekul v těchto polymerech jsou uspořádané náhodně a řetězce jsou stlačovány jedním směrem přibližně do tvaru „chumáčku vaty“ tvořeného jednotlivými vlákny. Příkladem amorfních plastů je například polystyren. Amorfní plasty jsou opticky čiré. Tyto polymery jsou význačné nízkými hodnotami smrštění proti formě (pod 1 %), což je výhodné pro výrobu rozměrově přesných dílů a součástí. Pro amorfní termoplasty je charakteristická teplota T_g (teplota skelného přechodu). Teplota skelného přechodu má určuje vyjímání výstřiku z formy a také určuje hranici teplotního využití výrobků. Z celkového množství vyráběných amorfních termoplastů je pro technologii vstřikování určeno asi jen 20 %. Mezi hlavní odvětví využití amorfních termoplastů patří automobilový průmysl, kde jsou amorfní termoplasty nejčastěji využívány pro své optické i mechanické vlastnosti zejména PMMA a PC. [17]



Obr. 7 Výstřiky z amorfních polymerů [17]

2.1.2 Semikrystalické termoplasty

Tavenina termoplastů je vždy amorfní, při jejím tuhnutí však dochází u některých termoplastů k částečné krystalizaci. Makromolekuly polymeru jsou otáčeny v pravidelných zatačkách a vytvářejí lamely krystalizujícího podílu taveniny, které tvoří tak zvané sférolity a polymer má poté strukturu tvořenou směsí krystalické a amorfní složky. Podíl krystalické složky může být za ideálních podmínek při chladnutí a krystalizaci taveniny až 90 %. Tyto polymery mohou být oproti amorfním polymerům nanejvýš průsvitné, nikoliv však čiré. Semikrystalické polymery jsou význačně vyšším smrštěním než polymery amorfní. Teplota T_g je z hlediska procesu vstřikování u semikrystalických polymerů málo významná. Dominantní teplotou pro tyto polymery je teplota bodu tání krystalického podílu (T_m). Až do této teploty si výstřiky zachovávají určitou pevnost a tuhost a nebortí se, nad touto teplotou je oblast taveniny, v níž probíhá proces vstřikování. [17]



Obr. 8 Schéma nad-molekulární struktury polymerů [13]

a) amorfní b) semikrystalické

2.2 Reaktoplasty

Jsou plasty, odlišné od termoplastů, tím že jsou vytvrzeny chemickou reakcí a vzniklým teplem. Tento proces je však nevratný a již je nelze opětovným zahřátím roztavit. Jsou tvořené prostorovými kulovitými makromolekulami nebo dokonce jen jednou, které nemohou být roztaveny a převedeny zpět do fáze taveniny. Reaktoplasty lze jen velmi těžko recyklovat. Jsou to velmi tvrdé polymery, neboť vytváří velmi husté prostorové struktury monomerů. Mezi nejznámější zástupce patří polyesterové či formaldehydové pryskyřice. [17]

2.3 Příprava polymerních materiálů před vstřikováním

Aby polymerní materiál splňoval požadované zpracovatelské vlastnosti, tak musí projít celou řadou technologických postupů. Tyto technologické postupy bývají individuální podle vstřikovaného materiálu. Mezi tyto technologické postupy patří například přidání zpracovatelských přísad, sušení, recyklace či doprava materiálu. [18]

2.3.1 Sušení granulátu

Některé polymerní materiály je potřeba před zpracováním vysušit. Zejména navlhavé polymery musí být před zpracováním sušeny. Mezi materiály, které jsou velmi navlhavé, patří zejména polární polymery s hydrofilními skupinami (-NH-CO-) jako jsou PA, CA, PU. Materiály jako PE, PS, PP, které jsou nepolární, není většinou potřeba podrobovat sušení, neboť

jejich schopnost sorpce vody je velmi nízká. U částečně krystalických polymerů je sorpce vody snižována s rostoucím procentem krystalinity.

Proces sušení probíhá v sušárnách, pecích pomocí horkého vzduchu, tlakovým sušením nebo sušením ve vakuu. [18]

2.3.2 Aditiva do polymerů

Polymerní materiály jsou složeny ze základního polymeru a dalších přísad tzv. aditiv. Mezi aditiva patří:

Přísady pro zlepšení zpracovatelských vlastností

- Mají za cíl zvýšení teplotní stability. Zvyšují dobu prodlevy taveniny na zpracovatelské teplotě v plastikační jednotce vstřikovacího stroje a v horkém systému vstřikovací formy.

Stabilizátory

- Zvyšují odolnost polymerního materiálu vůči stárnutí, prodlužují životnost výrobků.

Změkčovadla

- Snižují tvrdost a tuhost, zvyšují elasticitu, ohebnost, tažnost a houževnatost výstřiku.

Maziva

- Jejich účelem je snížení viskozity taveniny. Zlepšují tekutost taveniny a odformovatelnost výstřiků. Je jich využíváno pro dosažení lesklého povrchu výstřiku.

Retardéry hoření

- Přísady, které snižují hořlavost samotného polymerního materiálu a tím i výstřiku

Plniva

- Jsou přísady, které mají za cíl zvýšení tuhost, pevnost, rozměrové stability vstřikovaného dílce. [18]

3 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ

Je zřejmé, že konstrukce výrobků z plastů bude podléhat jiným pravidlům a zásadám než konstrukce výrobků z kovů. Konstruktor by měl být obeznámen s technologií vstřikování. Musí zvolit pro danou součást vhodný polymer, ze kterého bude součást vyrobena a také by si měl být vědom možných rizik a komplikací, které by se mohly při špatném návrhu objevit. [15]

3.1 Předvýrobní etapy výroby výstřiků

Během vývoje a návrhu vstřikovaný díl prochází mnoha fázemi. Během těchto vývojových fází musí designový návrhář a konstruktor, který pak zprostředkovává realizaci a výrobu daného dílu, najít společně cestu, jak se co nejvíce přiblížit cílovému designu a zároveň zachovat vyrobiteľnost a funkčnost daného dílu. [15]

3.1.1 Maximální funkčnost vstřikovaného dílu produktu

Jelikož jsou formy velmi drahé, je požadováno, aby vstřikovaný díl splňoval co možná nejširší spektrum funkcí. Je to proto, že čím více funkcí dokáže zastat tím, méně forem bude potřeba pro výrobu dalších součástí. Konstruktor by proto měl do návrhu zahrnout maximum funkcí pro jeden komponent. [15]

3.1.2 Optimální materiál pro vstřikovaný díl

Vždy by mělo být vybráno několik variant materiálů pro vstřikovaný díl, které vyhovují požadavkům založeným na tom, v jakém prostředí bude díl používán, funkčnost dílu, bezpečnost. V okamžiku, kdy byly zvoleny vyhovující materiály, přijde na řadu otázka nákladů. [15]

3.1.3 Snížení celkového objemu materiálu na minimum

Většina konstruktérů navrhuje zbytečně silné stěny dílů. Obvykle vychází z předpokladu, že tlustší stěna musí být nutně lepší než stěna tenká. Což není pravda a tento předpoklad bude mít za následek pouze vyšší náklady na výrobu a nižší kvalitu výrobku. Nejlepší volbou je použít nejmenší možné množství materiálu, které postačuje ke splnění strukturních, funkčních a vzhledových požadavků na vstřikovaný díl. [15]

3.1.4 Maximální využití výhod technologie vstřikování

Technologie vstřikování nám dává možnost vyrábět přesně a rychle stejné součásti, které jsou mnohdy tvarově složité, a to v jediném plně automatizovaném cyklu. Proto by si konstruktér měl vždy položit otázku, zda může být více součástí skombinováno do jediného dílu a tím pádem by došlo ke snížení potřebného materiálu, počtu forem a také montážních operací, čímž by došlo ke zvýšení efektivity formy a snížení celkových nákladů na finální produkt. [15]

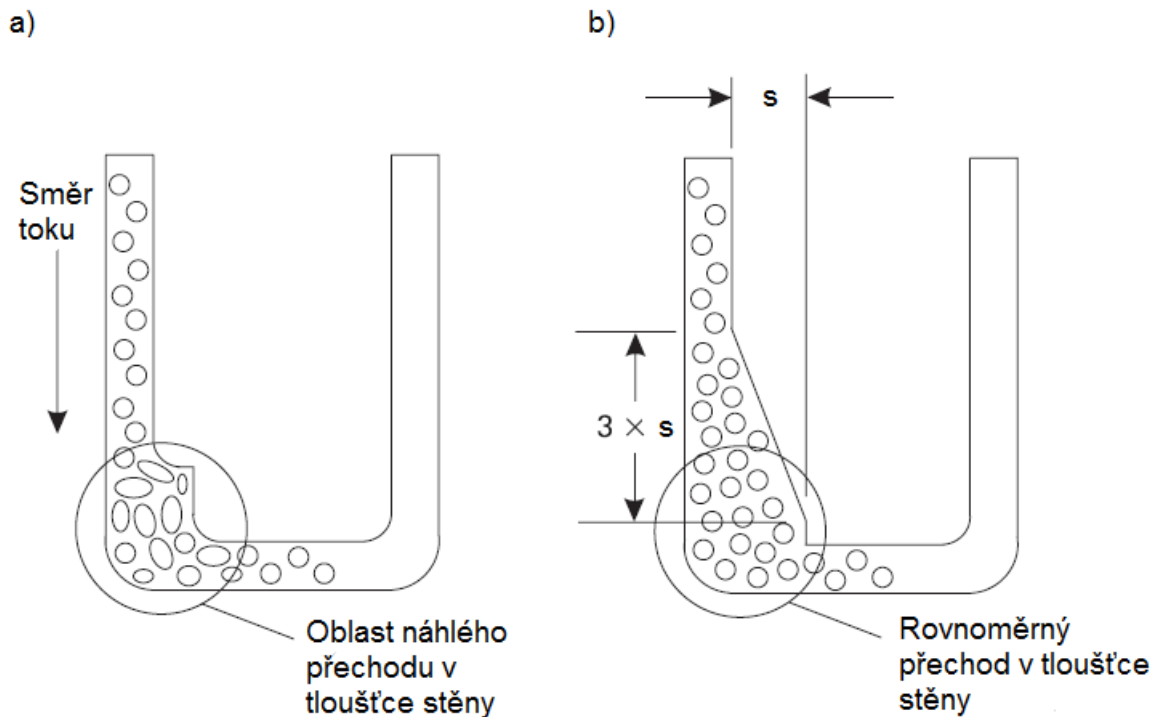
3.2 Zásady pro výrobu vstřikovaných dílů

3.2.1 Tloušťka stěn

Vlastnosti termoplastů jim umožňují téct při zahřátí na určitou teplotu, ta je odlišná pro každý druh plastu. Schopnost polymeru téct vyjadřuje tzv. index toku taveniny (ITT – index toku taveniny). Tedy materiály s vysokým ITT jsou schopny zatéct mnohem dál od ústí vtoku než materiály nízkým ITT. Navíc materiály s vysokým ITT jsou schopny odformování mnohem tenčích stěn než materiály s nízkým ITT. Pro konkrétní srovnání dvou materiálů můžeme vybrat například krystalický nylon, který je řazen mezi materiály, které velmi dobře tečou a jako druhý materiál např. polykarbonát, který teče mnohem obtížněji. Nylon může být použit pro vstřikování výrobků s tloušťkou stěny od 0,3 mm do 3 mm naproti tomu polykarbonát je využíván pro výrobky s tloušťkou stěn od 1 mm do 10 mm. [15]

3.2.2 Rovnoměrná tloušťka stěn

Jelikož roztavený polymer proudí cestou nejmenšího odporu je tedy potřeba pro rovnoměrnou distribuci taveniny zajistit pokud možno stejnou tloušťku stěn či zamezit náhlým přechodům v tloušťkách stěn. Pokud ve vstřikované součásti není zajištěna rovnoměrná tloušťka stěn, dochází v těchto místech ke kumulování napětí, neboť molekuly taveniny jsou lokálně více stlačovány (obr. 9).



Obr. 9 Příklad správné a špatné konstrukce přechodu v tloušťce stěny

3.2.3 Umístění studených spojů

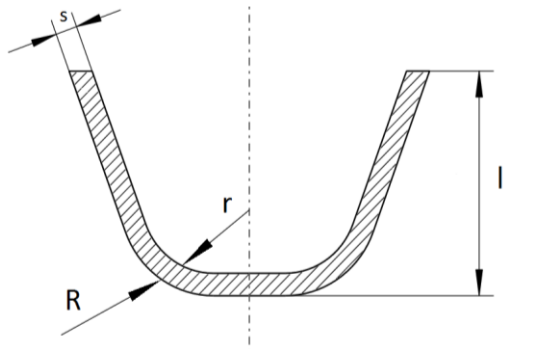
Studené spoje vznikají například v důsledku toho, že tavenina musí v dutině formy překonat nějakou překážku, a tak je rozdělena z jednoho proudu do dvou a po obečtení překážky jsou čela taveniny opět spojena. Právě v místě, kde jsou čela obou proudů tavenin opět spojena do jednoho proudu, vzniká tzv. studený spoj. Rozdělený proud taveniny už nemůže být opět na 100 % spojen, důsledkem toho je vznik místa, které mají zhoršené mechanické vlastnosti a jsou často místem, kde vzniká mechanické porušení výrobku. Konstruktor by tedy měl dbát na to, aby místa, kde vznikají studené spoje, byly situovány do oblastí, které nejsou příliš zatěžovány. [12]

3.2.4 Ostré hrany, rohy

Ostrý roh na vstřikované součásti je místo, kde zřejmě dojde k porušení výrobku. Ostré rohy jsou místy, kde je koncentrováno nejvíce napětí a tavenina obtížně zatéká. Pro snadnější plnění tvarových dutin taveninou je výhodnější předcházet vzniku ostrých hran zaoblením. Zaoblení jednak sníží hydraulické odpory proti toku taveniny a rovněž snižuje i napětí v místě ohybu. Zaoblení a rádiusy rovněž zajišťují konstantní tloušťku stěny a předchází

hromadění materiálu. Díly se zaoblenými hranami vykazují až 50% nárůst rázové houževnatosti vstřikovaného dílu, také jsou méně náchylné k praskání. Dalším z důvodů pro zaoblování hran je i životnost formy a s tím související snížení vstřikovacích tlaků. [12]

Tab. 1 Minimální a doporučené hodnoty pro zaoblení rohů

Minimální poloměr			Doporučený poloměr		
Plast	r [mm]	R [mm]			
Plněné PA, PC	1,5	r + s	1,6	>50	
PS, PC, CAB, PMMA, PVC	0,6-1	r + s	2,5	50-100	
PE, PP, CA, PPO, POM, PETP, PA, ABS, SAN	0,5	r + s	4	100-150	
			5	150-200	
			6	200-250	
			8	250-300	
			12	300-400	
			20	400-500	

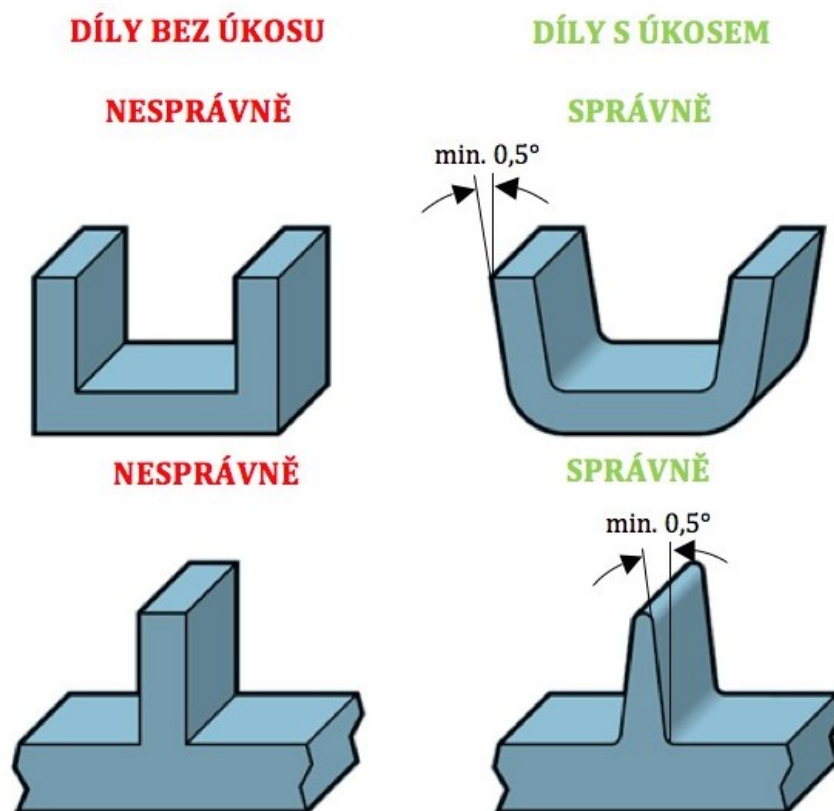
3.2.5 Úkosy

Účelem úkosů je zlepšení odformovatelnosti a usnadnění vyjmutí vstřikovaného dílu z dutiny formy. Úkosy pro vyhození jsou sčítány s úkosy pro odformování desénů, které zabraňují poškození, poškrábání desénovaných ploch při vyhazování výstřiku z tvarové dutiny formy.

Menší úhel úkosu zvyšuje riziko poškození dílu při odformování nebo je nutné použití speciálních povrchových úprav povrchu formy, které ovšem prodlužují výrobní cyklus a tím zvyšují výrobní náklady na vstřikovaný díl. Obecně platí, že pro leštěné povrchy dutiny formy není potřeba tak velkých úkosů jako pro povrchy formy, které jsou dokončeny pouze tzv. jemným obráběním. Výjimku tvoří plasty na bázi polyuretanu, neboť ty jsou odformovávány z forem, které mají zdrsňený povrch. [4,12]

Tab. 2 Doporučené hodnoty úkosů

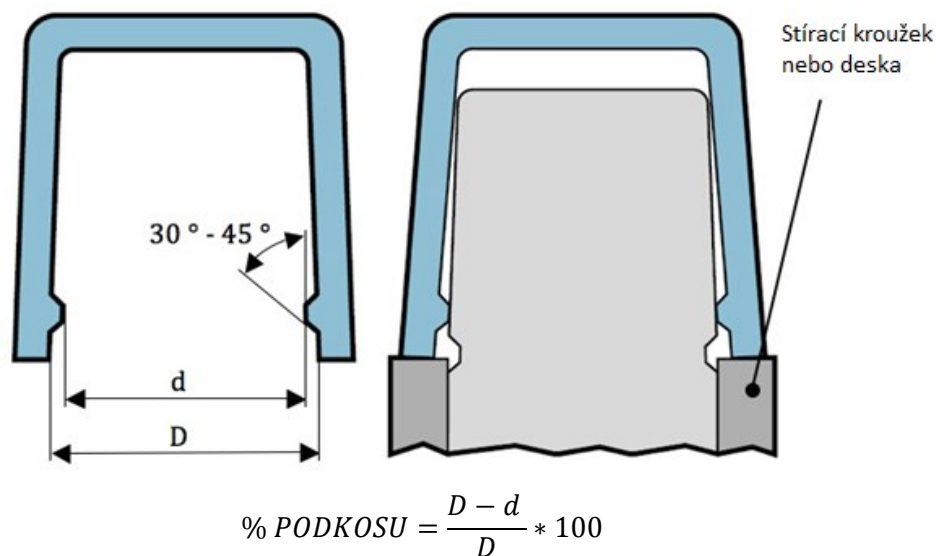
Typ úkosu	Velikost úkosu
Vnější plochy	30' - 2° (1°)
Vnitřní plochy	30' - 3° (2°)
Otvory do hloubky 2D	30' - 1° (45')
Hluboké otvory	1° - 10°
Žebra, nálitky	1° - 10° (3°)
Výstupky	2° - 10°



Obr. 10 Ukázky správného a špatného provedení úkosů na vstřikovaném dílu [13]

3.2.6 Podkosy

Některé konstrukční prvky vstřikovaného dílu mohou být překážkou při standardním odformování v hlavním směru. V určitých případech to lze řešit tzv. deformačním odformováním podkosů, které nevyžadují přítomnost dalších odformovacích prvků (např. bočních jader apod.). Základním požadavkem na proveditelnost tohoto řešení je přiměřená hloubka podkosu a vhodný tvar pro přetažení tohoto konstrukčního prvku přes příslušný díl vstřikovací formy. Tento postup odformování funguje pouze v případě, že podkosy jsou umístěny mimo tuhé oblasti vstřikovaného dílu (žebra, rohy dílu apod.) Navíc vstřikovaný díl musí mít prostor pro pružnou deformaci. Základním pravidlem pro správný návrh odformovatelného podkosu je dodržení procentuální poměru mezi vnitřním rozměrem dílu a vnitřním rozměrem podkosu (obr. 11).



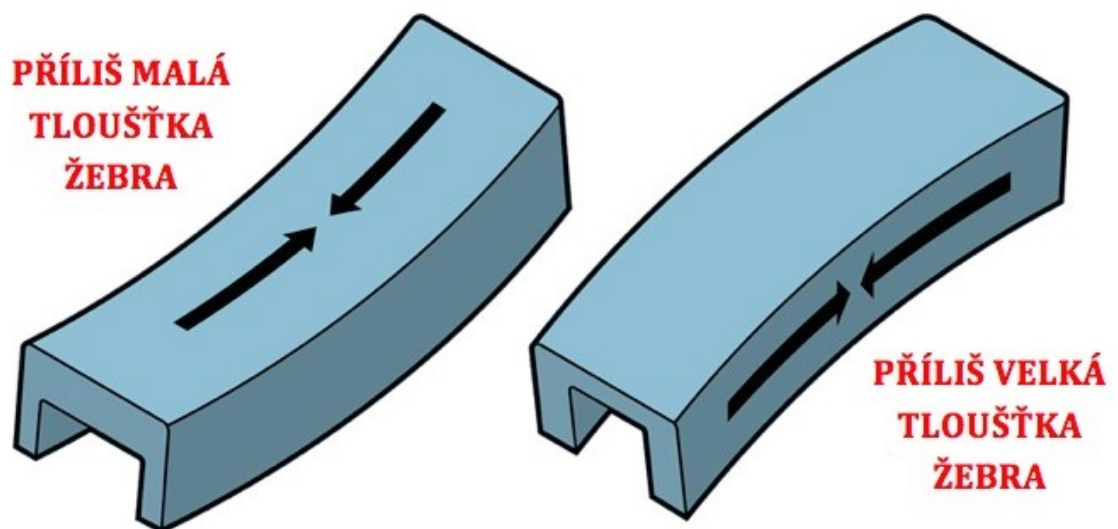
Obr. 11 Doporučená konstrukce odformovatelných podkosů [13]

3.2.7 Konstrukce žebrování výrobků

Účelem žebrování výrobků je zvýšení pevnosti, tuhosti a odolnosti proti deformacím. Žebrování také pomáhá snížit celkový objem výrobku a tím i jeho hmotnost. To vede k úspoře na materiálu při výrobě, čímž je zvýšena i ekonomičnost výroby. Konstruktor, který navrhuje žebrování výrobku, si musí být vědom zásad pro konstrukci žeber. Tloušťka žebra by neměla být větší než 50% až 70% tloušťky stěny, na níž je žebro napojené, neměly by být kombinovány žebra s malou a velkou tloušťkou stěn, výška žebrování by neměla být vyšší než je trojnásobek tloušťky stěny, z konstrukčního hlediska je výhodnější větší počet žeber než zvyšování jejich šířky, vzdálenost mezi žebry by měla být cca dvojnásobek nominální hodnoty tloušťky stěny, poloměr napojení žebra a stěny by měl být menší než 50% tloušťky stěny, v křížení žeber nesmí docházet k hromadění materiálu. [12,13]

Zvýšení tuhosti v ohybu v jednom směru je možné dosáhnout jednoduchým rovnoběžným žebrováním, odolnost v ohybu a krutu je možné zvýšit diagonálním nebo křížovým žebrováním.

Materiály s rovnoměrným smrštěním ve všech směrech dochází k tomu, že žebra tuhnou dříve než samotná stěna, na kterou jsou napojena. To může vést k různým deformacím (obr. 12). Tato deformace může být kompenzována zvyšováním tloušťky žebra a přiblížením k tloušťce samotné stěny, při takovém upravení tloušťky žeber však může dojít k deformaci na straně žebrování. Tomuto problému může být zabráněno tím, že na žebrované straně bude výrobek intenzivněji chlazen. [12,13]



Obr. 12 Vliv tloušťky žebra na deformaci u neplněných plastů [13]

4 KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nástroj, který je upínán na vstřikovací stroj. Během vstřikovacího cyklu je forma naplněna taveninou. Po zchladnutí taveniny je zhotoven výstřik, který má požadovaný tvar, geometrii a splňuje stanovené funkční charakteristiky.

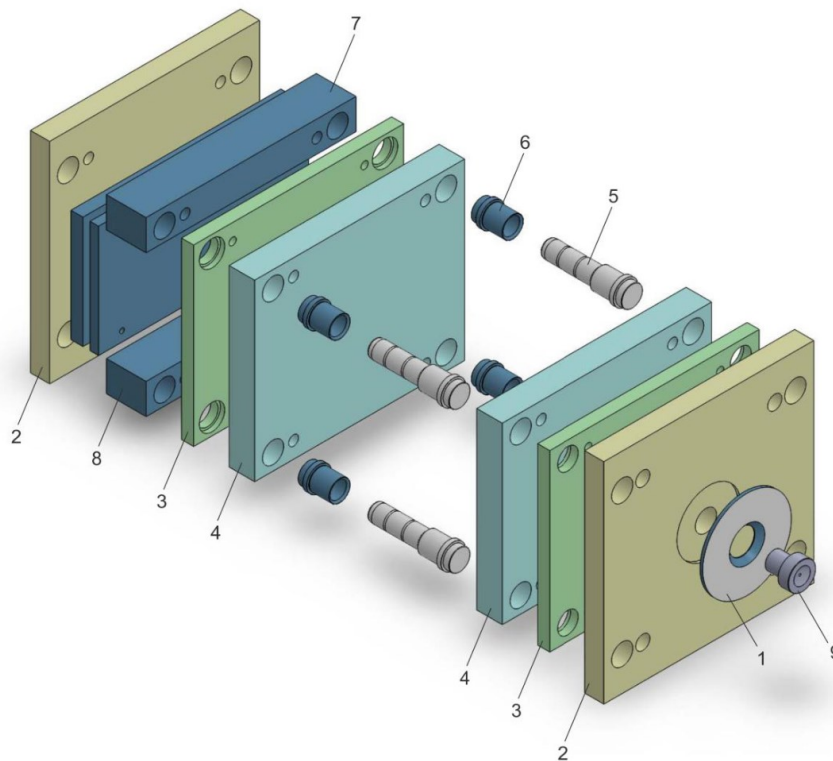
Na formu jsou během jejího používání kladeny vysoké nároky. Z toho důvodu je již při její výrobě uvažováno mnoho aspektů. Forma musí odolávat vysokým tlakům, musí zajišťovat požadovaný tvar a rozměr výstřiku, umožňovat snadné vyjmutí výstřiku z dutiny formy, co nejnazší obsluhu a automatický provoz, co nejnižší náklady na výrobu, co nejefektivnější využití vstřikovaného materiálu.

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

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do různých skupin podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné, podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třídeskové, etážové, čelist'ové, vytáčecí apod., podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny. [4]

4.1 Rám vstřikovací formy

Jednotlivé druhy vstřikovacích forem jdou odlišné v závislosti na velikosti a tvaru vstřikovaného dílu. Na skládání rámu formy jsou často využívány normálie, tedy standardizované díly, od specializovaných výrobců, jako jsou Hasco či Meusburger. Pro snížení výrobních nákladů formy je doporučeno využívat standardizovaných dílů v co nejvyšší míře.



Obr. 13 Hlavní části vstřikovací formy [9]

- 1) Středící kroužky, 2) Upínací desky, 3) Opěrné desky, 4) Tvarové desky, 5) Vodící čepy, 6) Pouzdra pro vodící čepy 7) Rozpěrné desky, 8) Vyhazovací desky
9) Vtoková vložka

Na obr. 13 je znázorněna vstřikovací forma, která je složena z několika základních druhů desek, které jsou vzájemně spojeny šrouby a vystředěny za pomoci vodících sloupků a pouzder.

Upínací desky

Z obr. 13 je patrné, že vstřikovací forma má dvě upínací desky, jedna pro pohyblivou část a druhá pro nepohyblivou část.

Upínací desky slouží k upnutí pohyblivé i nepohyblivé části formy do vstřikovacího stroje. Pro upnutí formy do stroje slouží buď upínky, šrouby nebo magnetické desky stroje. Upínací deska je s dalšími deskami (například k tvárnici) spojena šrouby. [9]

Opěrné desky

Tento typ desky není využíván u všech druhů forem. Opěrné desky jsou využívány u forem, kde by docházelo ke značnému průhybu tvarových desek vlivem působení vysokých vstříkovacích tlaků. Jejich účelem je podepřít tvarové desky a zabránit tak jejich průhybu. V důsledku průhybu by mohla vzniknout mezera v dělicí rovině, do které by zatekl roztavený plast. [9]

Tvarové desky

Slouží k ukotvení tvarových vložek tvárníku/tvárnice.

Tvárnice

Jedná se o desku v nepohyblivé straně formy. Do tvarové desky, ve které je ukotvena tvárnice, bývají vyrobeny i další prvky například díry pro uložení vodících pouzder, které zajišťují její přesné dosednutí na tvárník.

Tvárník

Jedná se o desku v pohyblivé straně formy. V tvárníku je vyrobena (vyfrézována/vyhloubena) část negativu tvaru vstříkovaného dílu. Na tvárníku jsou vyrobeny i další prvky jako například díry pro uložení vodících sloupků sloužící k přesnému dosednutí na dutinu tvárnice. [9]

Rozpěrné desky

Vymezují ve formě prostor pro umístění vyhazovacího systému. Výška rozpěrných desek odpovídá velikosti zdvihu vyhazovacího systému potřebného k úspěšnému vyhození výstřiku z dutiny formy. [9]

Vyhazovací desky

Slouží k ukotvení vyhazovacího systému vstříkovací formy. Jedna z desek je kotevní a druhá opěrná. V kotevní desce jsou vyvrtány otvory, do kterých jsou následně umístěny potřebné vyhazovače a následně je sešroubována s opěrnou vyhazovací deskou. [9]



Obr. 14 Schéma uložení vyhazovače mezi vyhazovacími deskami [9]

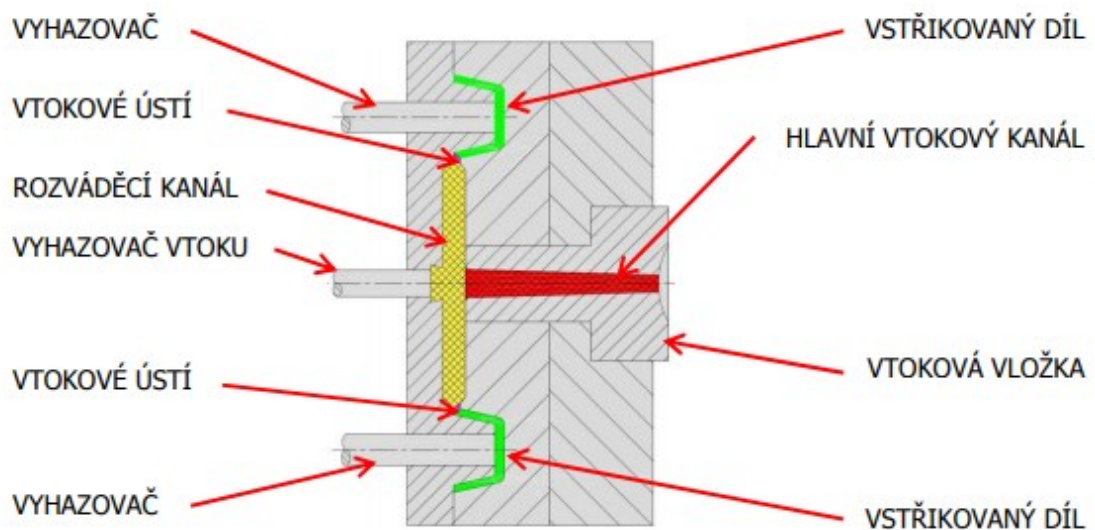
4.2 Rozvodný (vtokový) systém vstřikovací formy

Vtokový systém vstřikovací formy slouží k rovnoměrné distribuci taveniny do tvarové dutiny formy. Dutina formy by měla být zaplněna v co nejkratším časovém úseku, s minimálním odporem, aby byla zvýšena efektivita dotlakové fáze k vyrovnání objemového smrštění.

Vtokové systémy jsou děleny do dvou kategorií. První kategorií jsou studené vtokové systémy. Tyto systémy jsou konstrukčně nejméně náročné a z ekonomického hlediska nejlevnější. Dalším druhem vtokových systémů, jsou horké vtokové systémy. Toto řešení je již z konstrukčního hlediska náročnější a pořizovací cena horkých vtokových systémů je také mnohem vyšší. [7]

4.2.1 Studený vtokový systém

Tento druh vtokového systému je patrně konstrukčně nejméně náročný a také nejlevnější. Po vstříknutí taveniny do studeného vtokového systému, dochází k jejímu prudkému ochlazení. Viskozita taveniny rychle stoupá, což vede ke vzniku izolační vrstvy na stěně vtokového systému. Tavenina proudí středem vtokového systému, tedy cestou nejmenšího odporu. Hlavní podmínkou při použití studeného vtokového systému je co nejkratší dráha taveniny k tvarové dutině. Konstrukční řešení studeného vtokového systému je pak podmíněno také násobností formy. Tavenina musí jednotlivé dutiny formy naplnit ve stejný okamžik za působení stejného tlaku.

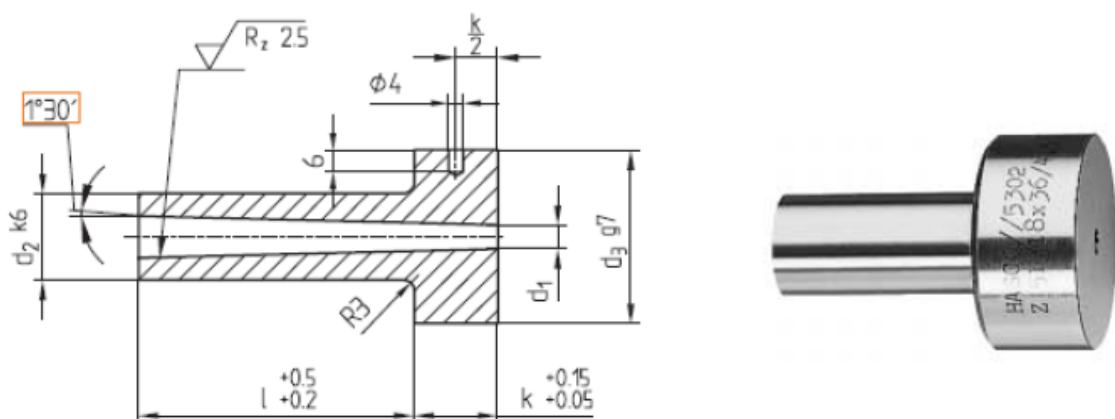


Obr. 15 Schéma studeného vtokového systému [7]

Mezi největší výhody studených vtokových systému patří nízká cena, jednoduchá konstrukce. Komponenty jako vtoková vložka jsou normalizované díly, není nutný žádný energetický výstup. Naopak mezi nevýhody patří vysoká spotřeba granulátu v důsledku vtokových zbytků.

Vtoková vložka

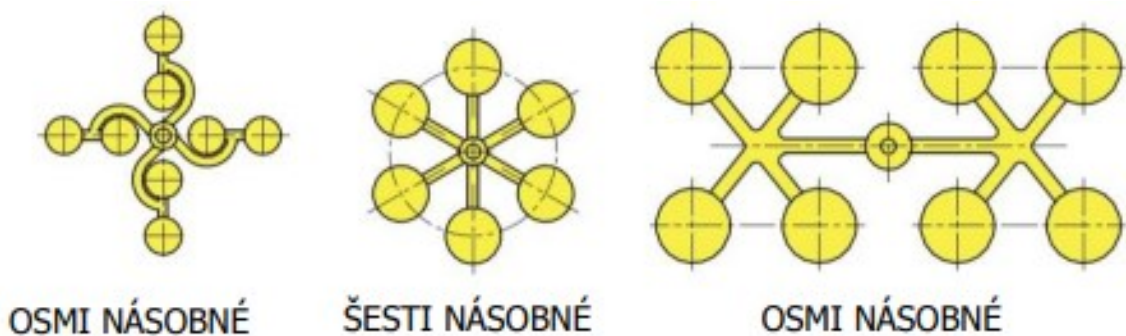
Na vtokovou vložku dosedá tryska vstříkovacího stroje. Obvykle je do vtokové vložky vytvořený kuželový kanál, kterým tavenina ústí do rozvodných kanálů nebo přímo o tvarové dutiny. Konec kanálu je minimálně o 0,5 až 1 mm větší, než průměr trysky vstříkovacího stroje. Materiály pro výrobu vtokových vložek jsou pevné, houževnaté a otěruvzdorné oceli jako 19 435, 19 581 nebo 19 572.



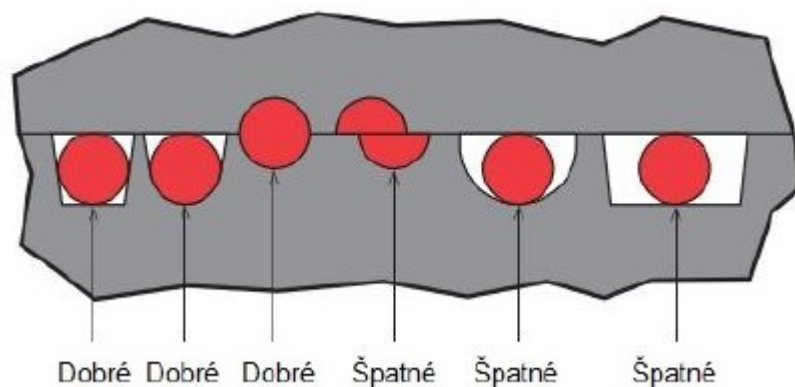
Obr. 16 Vtoková vložka z katalogu normálii HASCO [20]

Rozvodné kanály

Pokud vtoková vložka neústí přímo do tvarové dutiny formy, pak ústí do rozvodného kanálu. Délka a počet rozvodných kanálů je určen velikostí vstřikovaného dílu a také od násobnosti formy. Krystalické polymery mají obvykle průměr rozvodných kanálů větší než polymery amorfní. Rozvodné kanály bývají navrženy tak, aby tavenina do všech tvarových dutin dorazila ve stejný okamžik. S ohledem na rovnoměrné naplnění tvarových dutin bývají rozvodné kanály většinou rozvržené symetricky. Pro volbu správného průřezu kanálu musíme brát v potaz pravidlo pro maximální objem při minimálním povrchu. Tím jsou minimalizovány teplotní ztráty. Rozvodný kanál by měl být navržen tak, aby byl vzniklý vtokový zbytek co možná nejmenší s ohledem na co nejvyšší ekonomičnost výroby.



Obr. 17 Příklady drah rozvodných kanálů u vícenásobných forem [7]



Obr. 18 Vhodné a nevhodné průřezy rozvodných kanálů [13]

Vtokové ústí

Vtokové ústí je situováno na konec rozvodného kanálu a ústí přímo do tvarové dutiny. Obecně platí, že je vtokové ústí zúženo. Ve zvláštních případech nebývá vtokové ústí zúženo pro potlačení propadlin. Při zúžení vtokového ústí dochází ke zvýšení teploty taveniny před

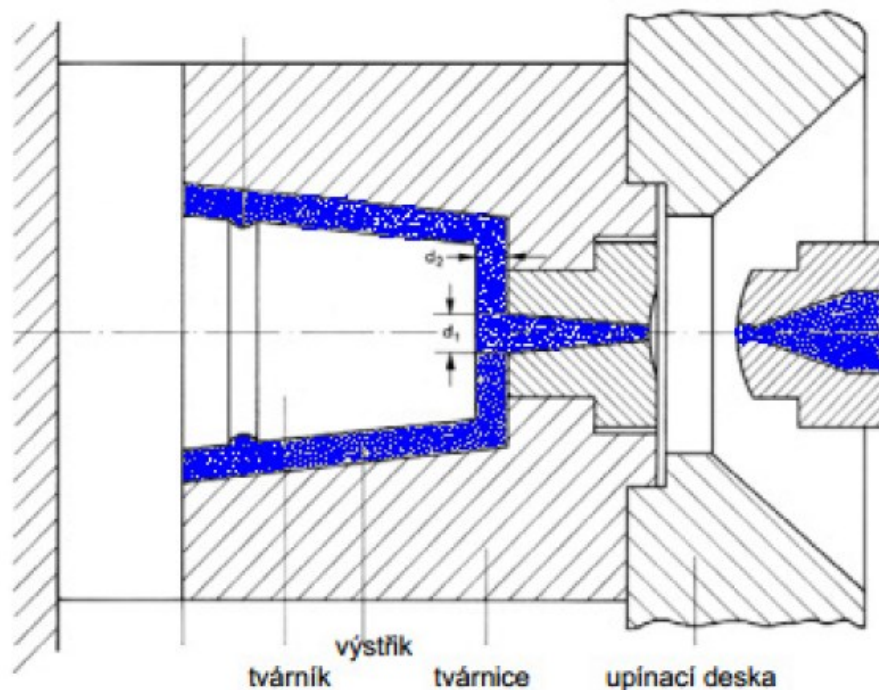
vstupem do dutiny formy. Tím je zabráněno strhávání chladnějších obvodových vrstev vtoku s tím spojeným povrchovým defektům. [4]

4.2.2 Druhy vtokových ústí

Tvar a umístění vtokového ústí je velmi důležitý faktor. Ovlivňuje proudění materiálu formou, tvorbu studených spojů, orientaci makromolekul a plniv. Mezi další faktory ovlivněné tvarem a umístěním vtokového ústí patří rozměrová přesnost, vznik propadlin a povrchový lesk. Tvarové dutiny formy by měly být naplněny co nejrychleji a s co nejmenší tlakovou a teplotní ztrátou ve s tejný okamžik. [19]

Kuželový vtok

Tento typ vtoku je využíván pro objemné výstřiky s dlouhým časem dotlaku. Aby bylo zajištěno bezproblémové vyhození výstřiku z formy, musí se kuželovitost pohybovat v intervalu 1:15 až 1:50.

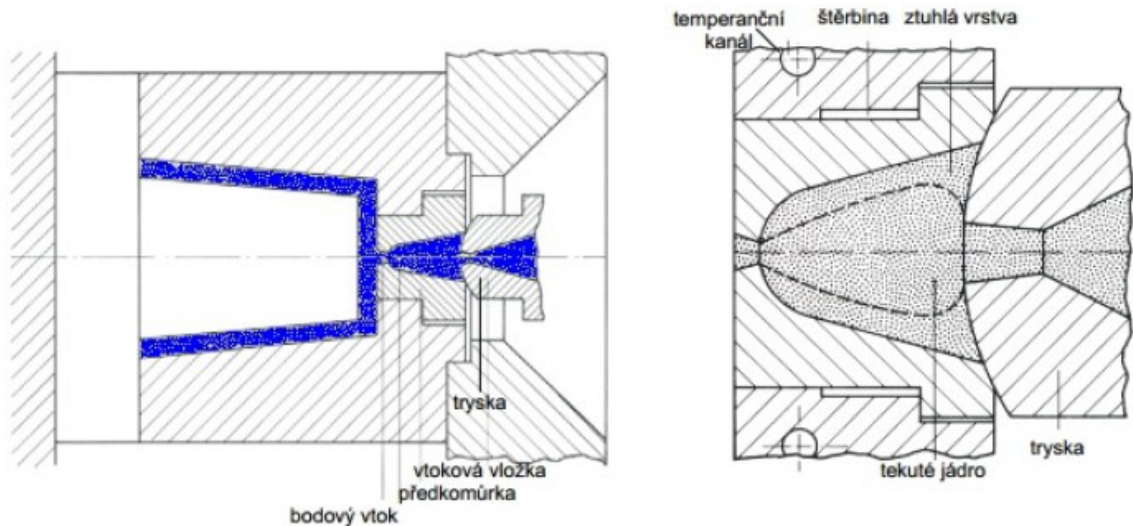


Obr. 19 Kuželový vtok [19]

Bodový vtok

Bodový vtok je využíván pro vstřikování menších součástí, u kterých by byla nežádoucí velká stopa po vtoku. Bodové vtoky mají obvykle kruhový průřez, ale jsou vyráběny i s obdélníkovým či půlkruhovým průřezem. Bodový vtok není vhodný při použití viskózních a

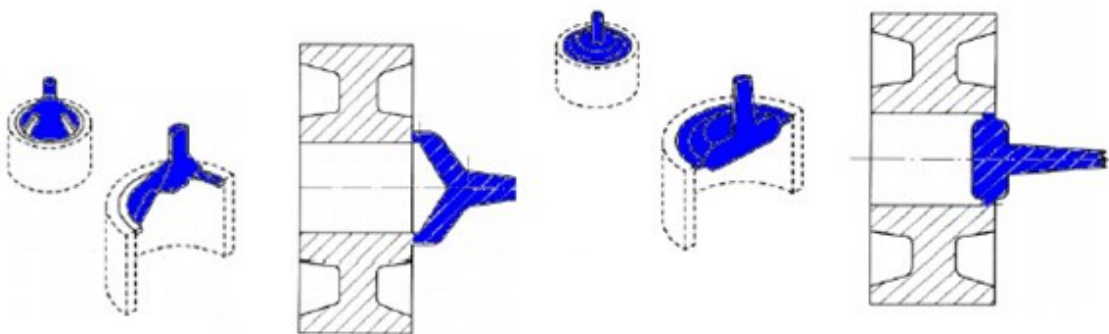
plněných materiálů. Při použití tohoto typu vtoku je potřeba využít tzv. třídeskovou variantu formy. Tato varianta umožní odtrhnutí vtokového zbytku od výstřiku ještě před otevřením formy.



Obr. 20 Bodový vtok [19]

Deštníkový vtok

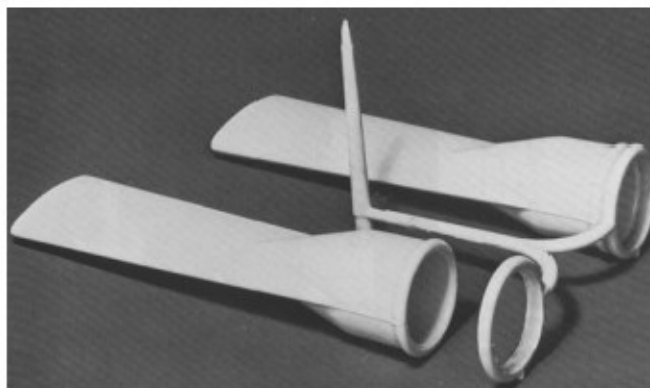
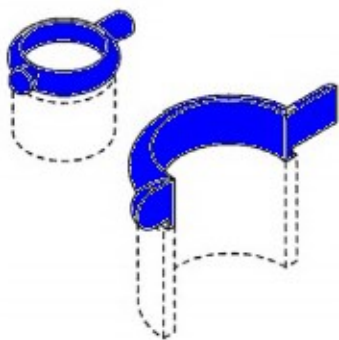
Deštníkový vtok je význačný radiálním tokem materiálu, tím je odlišný od talířového vtoku, u kterého je směr toku axiální. Pro oba tyto vtoky je charakteristické úzké vtokové ústí po celém obvodu výstřiku. Tyto vtoky jsou využívány pro výrobu kratších dutých součástí. Výhodou oproti použití bodového vtoku, je zamezení vzniku studeného spoje.



Obr. 21 Deštníkový a talířový vtok [19]

Prstencový vtok

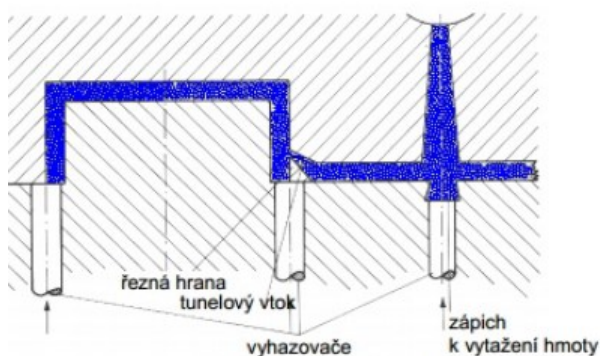
Vtok význačný úzkým ústím po obvodu. Tzv. prstencec představuje materiálovou rezervu pro dotlakovou část vstřikovacího cyklu. Prstencový vtok je doporučen při vstřikování součástí, u kterých hrozí deformace či průhyb vlivem radiálního toku.



Obr. 22 Prstencový vtok [19]

Tunelový vtok

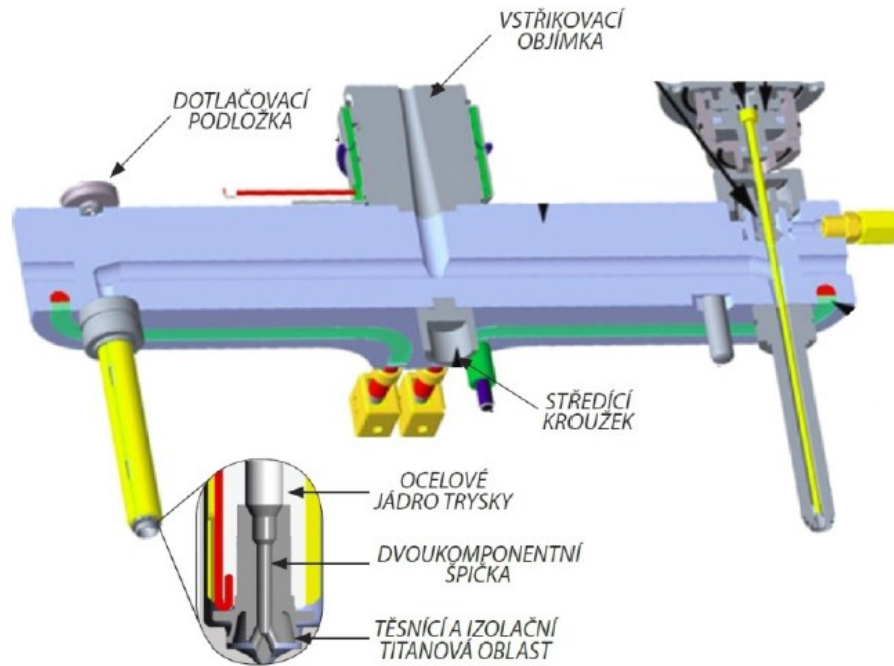
Při použití tunelového vtoku není nutný systém třideskové formy pro oddělení vtokového zbytku od výstřiku, ale stačí systém dvoudeskový, což snižuje náklady na výrobu formy. Vtokový zbytek je oddělen automaticky odstřížením od výstřiku při otevírání formy.



Obr. 23 Tunelový vtok [19]

4.2.3 Horký vtokový systém

Horký vtokový systém je složen z trysky, horkého vtokového kužele, horkého kříže, elektrické přípojky, kabelů a čidla teploty. Zejména čidla jsou velmi důležitou částí, neboť obsluže vstřikovacího stroje umožňují regulovat teplotu manuálně nebo navolit automatický režim s termočláňkovou odezvou. Tavenina tuhne až ve tvarové dutině formy. Tím je zvýšena jakost výstřiku, odstraněna potřeba manipulace s vtokovým zbytkem a sníženy nároky na strojní časy. Pořizovací cena horkých vtoků je vysoká.



Obr. 24 Řez horkým vtokovým systémem [7]

Výhody horkých vtokových systémů:

- zkrácení vstřikovacího cyklu
- snížení, případné odstranění vtokových zbytků
- snížení potřebné vstřikovací dávky → nižší plastikační kapacita lisu
- kvalita výstřiku
- nižší hodnoty smrštění

Nevýhody horkých vtokových systémů:

- vyšší energetické nároky,
- vyšší konstrukční nároky na vstřikovací formu,
- vysoká pořizovací cena a vyšší náklady na samotnou údržbu formy.



Obr. 25 Různé uspořádání horkých rozvodných bloků [8]

4.3 Temperace vstřikovací formy

Temperace formy je zajištěna temperačním systémem formy. Temperační soustava temperuje vstřikovací formu na tzv. provozní teplotu formy a současně chladí vstřikovaný výrobek. Jako temperační činidla jsou nejčastěji používány voda a olej. Voda je využívána zpravidla do teploty 100 °C, olej je pak využíván pro teploty vyšší. Temperační soustava formy musí zajistit rovnoměrné zahřátí formy i ochlazení výstřiku ve všech místech výstřiku. Jakmile dosáhne teplota výstřiku vyhazovací teploty, dojde k jeho vyhození. [13]

Rozmístění temperačních kanálů není možné normalizovat z důvodu velké tvarové rozmanitosti vstřikovaných dílů. Temperační kanály jsou navrženy v závislosti na tvaru a tloušťkách stěn výstřiku. Zásadní roli při návrhu temperačního systému hrají zkušenosti konstruktéra, který má zároveň k dispozici výsledky simulační analýzy. Rovněž je nutné volit temperační kanály tak, aby měly správný průměr a byly v dostatečné vzdálenosti od tvarové dutiny. [13]

Tab. 3 Zpracovatelské teploty pro vybrané druhy polymerů

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]	Teplota vyhození výstřiku z formy [°C]
ABS	190-250	50-85	80-100
PA 6	260-280	40-120	100
PA 6-GF	270-290	80-120	140
PA 66	275-295	80-100	100
PC	280-320	85-120	<140
HDPE	180-270	20-60	<150
LDPE	180-270	20-60	-
PMMA	200-250	50-80	-
POM	180-220	50-120	-
PP	170-280	20-100	-
PS	180-260	55-80	-

Obecné zásady konstrukce temperačních kanálů:

Teplota tvarových částí formy by měly mít co nejvyrovnanější teplotu. Rozdíly v teplotním poli by neměly být vyšší než 3-5 °C.

Temperační okruh by neměl obsahovat tzv. mrtvá místa. Mrtvými místy neproudí kapalina z důvodu zvýšeného rizika zanášení nečistotami, vodním kamenem a podobně.

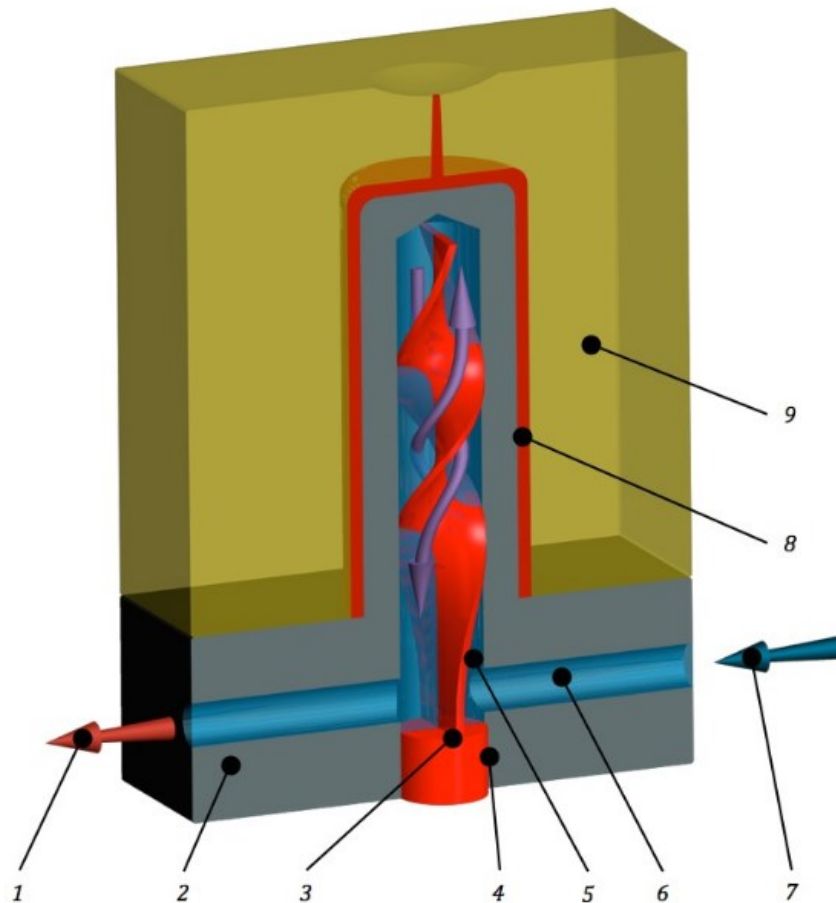
Rozdíl teplot chladicího média na vstupy a výstupu by neměl být nižší než 1 °C a zároveň ne vyšší než 4 °C.

Tab. 4 Doporučené rozměry temperačních kanálů a jejich uspořádání

Tloušťka stěny vstřikovaného dílu; t [mm]	Vzdálenost osy temperačního kanálu od dutiny vstřikovací formy; A [mm]	Vzájemná vzdálenost os sousedních temperačních kanálů; v [mm]	Průměr temperačního kanálu; d [mm]
0 - 1	10 - 14	10 - 12	5 - 6
1 - 2	10 - 20	12 - 16	6 - 8
2 - 4	20 - 25	16 - 22	8 - 10
4 - 6	25 - 35	22 - 28	10 - 12
6 - 8	32 - 42	28 - 36	12 - 16
8 - 12	42 - 55	36 - 50	16 - 20

Existují ovšem i druhy vstřikovaných dílců, které není možné rovnoměrně temperovat za použití standardních temperačních kanálů. Nejčastěji se jedná o vstřikovací formy určené k

výrobě jednostranně dutých výstřiků s poměrem hloubka/průměr větším než 3÷4, výrobky s žebrováním, kde jednotlivá žebra jsou od sebe vzdálena méně než trojnásobek tloušťky stěny, na kterou žebra přiléhají případně výrobky, kde lze najít kombinaci zmíněných konstrukčních prvků apod. Pro chlazení takových výstřiků jsou v současnosti využívány přepážkové systémy či systémy využívající tepelné trubice. [13]



Obr. 26 Systém spirálových přepážek [13]

1 - výstup temperačního média, 2 - těleso pohyblivé části vstřikovací formy, 3 - spirálová přepážka, 4 - úložná plocha spirálové přepážky, 5 - vedlejší temperační kanál, 6 - hlavní temperační kanál, 7 - vstup temperačního média, 8 - vstřikovaný díl, 9 - těleso pevné části vstřikovací formy

4.4 Odvzdušnění vstřikovací formy

Během plnění tvarové dutiny polymerní taveninou, dochází k vytlačování vzduchu z dutiny formy. Stlačovaný vzduch je odváděn skrze dělicí rovinu formy, mezerami mezi pohyblivými částmi formy nebo skrze speciálně vyfrézované drážky určené právě pro únik vzduchu.

V případě, že stlačovaný vzduch nemá kam uniknout z dutiny formy, dojde v daném místě ke stlačení vzduchu. Dojde ke vznícení stlačeného vzduchu a na výstřiku vznikne spálené místo (dieslův efekt). Problémům s dieslovým efektem se dá zamezit používáním normalizovaných součástí. Jedná se např. o tvarové vložky, které mají otvor tak malý, aby do něj nemohla zatéct tavenina, ale dostatečně velký pro únik vzduchu z dutiny formy. [3,6]

4.5 Vyhazovací systém vstříkovací formy

Poté co teplota výstřiku klesne na vyhazovací teplotu, dojde k vyhození výstřiku. Vyhazovací systém sestává z komponentů, které zajišťují vyhození výstřiku případně i vtokového zbytku z dutiny formy. Při správné konstrukci vyhazovacího systému dojde k vyhození výstřiku z tvarové dutiny formy. Vyhození výstřiku je obvykle plně automatizovaný proces. [4]

4.5.1 Mechanické vyhazovací systémy

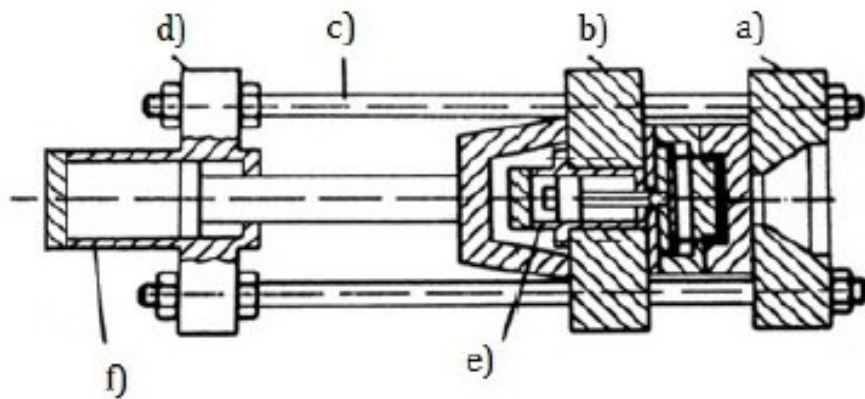
Mechanické vyhazovací systémy patří mezi nejrozšířenější. Patří zde vyhazování výstřiku pomocí vyhazovacích kolíků, stírací desky nebo trubkových vyhazovačů, šikmých vyhazovačů, postupného vyhazování. Vyhazování pomocí vyhazovacích kolíků patří mezi nejlevnější a nejčastější způsob vyhození výstřiku z dutiny formy. Vyhazovací kolíky musí být snadno vyrobitelné a zároveň si musí zachovat dostatečnou tuhost, aby nedocházelo k deformaci vyhazovacích kolíků při vyhazování výstřiku. [3]

4.5.2 Pneumatické vyhazovací systémy

Pro některé druhy výrobků by nebylo vhodné použití mechanického vyhazovacího systému. Pro tenkostěnné výrobky je využíváno pneumatických vyhazovacích systémů. U pneumatického vyhazování je vzduch přiváděn mezi výstřik a líc formy. Výstřik je oddělen od tvárníku a nevznikají stopy po vyhazovačích. Vzduch je do forem přiváděn přes ventily nebo zavzdušňovací kolíky, které jsou ovládány, za pomoci tlaku, pružinou. [3]

4.5.3 Hydraulické vyhazovací systémy

Hydraulický vyhazovací systém je lokální systém mechanických vyhazovačů. Je složen z hydraulické jednotky, která je vložena do předem připraveného místa ve formě. Mezi výhody tohoto typu vyhazovacího systému patří vysoká vyhazovací síla. Nevýhoda tohoto typu vyhazovacího systému je kratší a také pomalejší zdvih vyhazovacího systému. [3]



Obr. 27 Hydraulická uzavírací jednotka [3]

- a) pevná část vstříkovací formy, b) pohyblivá část vstříkovací formy, c) vodící prvky,
d) rám vstříkovacího stroje, e) hydraulický vyhazovač, f) hydraulický válec pro ovládní pohyblivé části

5 VADY VÝSTŘIKŮ Z TERMOPLASTŮ

I přes snahu zabránit vadám při vstřikovacím cyklu, je prakticky nemožné zabránit vzniku určitého podílu vadných dílů. Je to dáno samotnou podstatou vstřikovacího procesu, který je cyklický a není tak možné zajistit ve všech fázích výrobního procesu identický průběh (soubor technologických, procesních a výrobních parametrů).

Vadami výstřiku rozumíme každou odchylku, kterou je daný díl odlišný od schváleného standardu. Ten je určen výkresem, referenčním vzorkem nebo schválenými přejímacími podmínkami. Důsledkem takových odchylek může být snížení užitných vlastností, v krajním případě až ztráta funkčnosti vstřikované součásti. Všechny vady výstřiků jsou způsobeny nějakou příčinou. Tato příčina musí být identifikována a odstraněna, aby bylo zabráněno opětovnému výskytu této vady. [1]

5.1 Neúplný výstřik

Neúplný výstřik vzniká při neúplném objemovém zaplnění tvarové dutiny formy. Obvykle se jedná o nejbližší místa od vtokového ústí či velmi tenká místa výstřiku, případně se jedná o kombinaci obou těchto příčin. Neúplný výstřik může vzniknout i v případě, že v dutině formy zůstává vzduch, který nemá kam uniknout, a tak vytvoří vzduchový polštář mezi dvěma čely taveniny a ty se pak nemohou opětovně spojit. [1,4]

Řešení:

- zvětšení vtoků, vtokové soustavy,
- lepší umístění vtokového ústí,
- zvážení změny vtokové soustavy (výměna studeného za horký vtokový systém).

5.2 Přetoky a otřepy

Tato vada vzniká při špatně slícovaných spárách ve formě (větší spáry než 0,02 mm a více), nesprávném provedení odvzdušnění formy, nedostatečné působící uzavírací síle případně opotřebovanou dělicí rovinou formy. Vstřikování výstřiků s přetoky a otřepy může vést k poškození těsnících ploch v místech, kde k těmto přetokům dochází. [1,4]

Řešení:

- pravidelnou údržbou formy lze tomuto problému předejít,
- zvýšení uzavírací síly formy,
- úprava odvodušňovacích kanálů.

5.3 Propadliny a vtaženiny

K propadlinám či vtaženinám dochází v místech, kde dochází k hromadění materiálu. V místech, kde je plast ochlazován pomaleji než v okolí. Většinou se jedná o místa napojení žebor na hlavní plochu. Projevem jsou zvrásněné mělké prohlubně na ploše, na kterou je žebro napojeno. Obecně je příčinou chybná konstrukce vstřikovaného výrobku, tedy nehomogenní, nerovnoměrná tloušťka stěn výstřiku. [1,4]

Řešení:

- zvýšení tlaku či prodloužení dotlakové fáze,
- upravení temperace formy,
- dřívější přepnutí z plnicího tlaku na dotlak,
- použití horkých vtokových systémů,
- vyvarovat se náhlým přechodům v tloušťce stěn a s tím spojeným hromaděním materiálu.

5.4 Deformace výstřiku

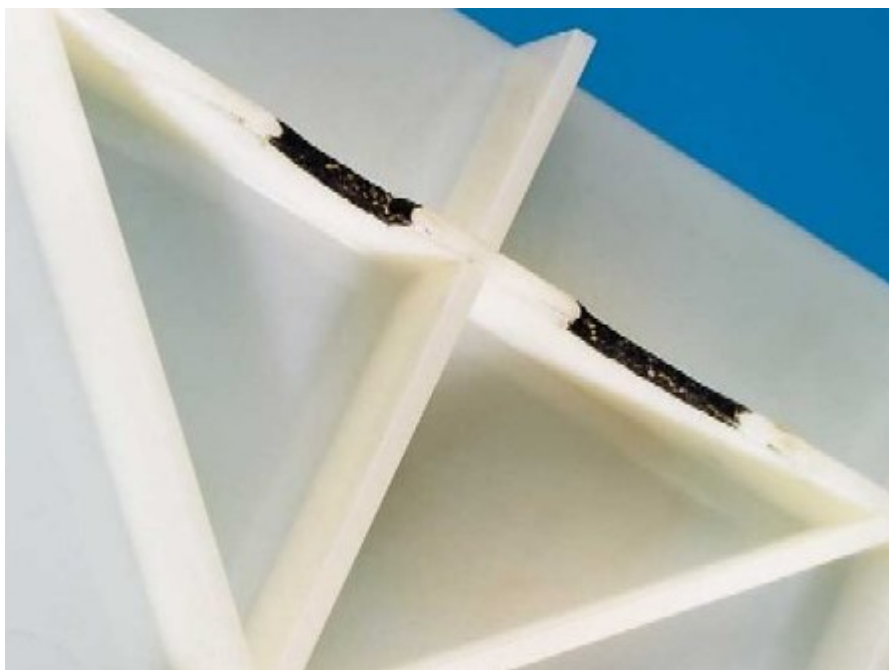
Deformací výstřiku je myšleno, změna tvaru a rozměrů výrobků oproti předepsané výkresové dokumentaci výstřiku případně jeho 3D dokumentace. Tato vada může být způsobena mnoha důvody jako špatně zvolený materiál výstřiku, nerespektování zásad konstrukce plastového výrobku, špatným návrhem vtokového systému, vysokým obsahem vnitřního pnutí. Konkrétní příčiny vzniku deformací je nutné zjistit z analýzy konkrétní výroby daného dílu. Na základě této analýzy podniknout příslušné kroky k nápravě závady. [1,4]

5.5 Spálené místa na povrchu výstřiku

Místní spálení materiálu se na výstřiku projeví jako černá skvrna nepravidelného tvaru. Nalézá se v místě, kde došlo ke stlačení vzduchu v tvarové dutině formy vstřikovanou taveninou, přičemž vzduch neměl možnost z dutiny uniknout. V některých případech nemusí dojít až ke spálení tedy k Diesel efektu. V takovém případě je povrch výstřiku zasažen stlačeným vzduchem, ale na výstřiku se projeví buď lesklou skvrnou nebo „zchlupatěním“ místa, v němž byl vzduch uzavřen a těsně před vzplanutím materiálu výstřiku unikl z tvarové dutiny formy. [1]

Řešení:

- Nutné odvzdušnění míst, v nichž se vzduch uzavírá.



Obr. 28 Diesel efekt

5.6 Meandrový (volný) tok taveniny

Vzniká v důsledku nastavení vysoké rychlosti vstřikování či při ostrém přechodu ústí tunelového vtoku do hrany vstřikovaného dílu (dojde k prudké změně charakteru toku taveniny). [1,4]

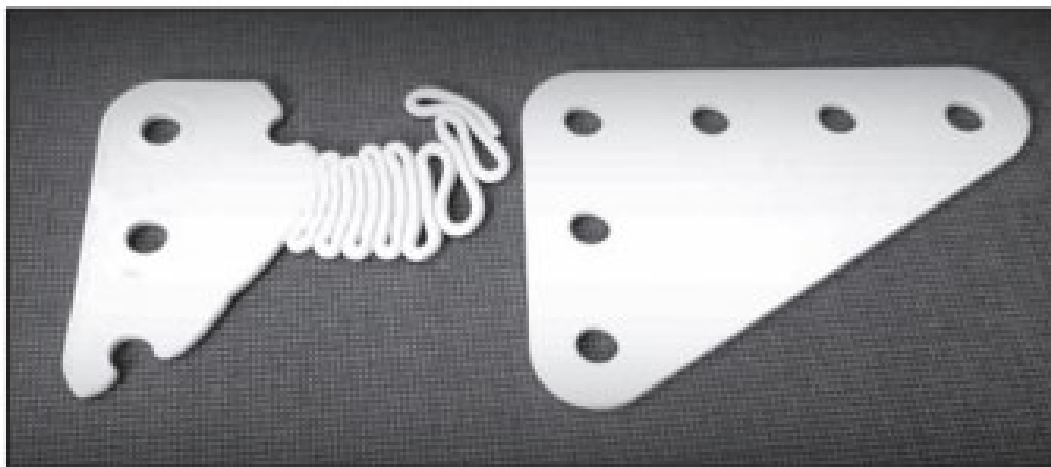
Řešení:

- snížení vstřikovací rychlosti,

- zlepšit směr zaústění vtokového ústí do stěny výstřiku.



Obr. 29 Meandrový tok [17]

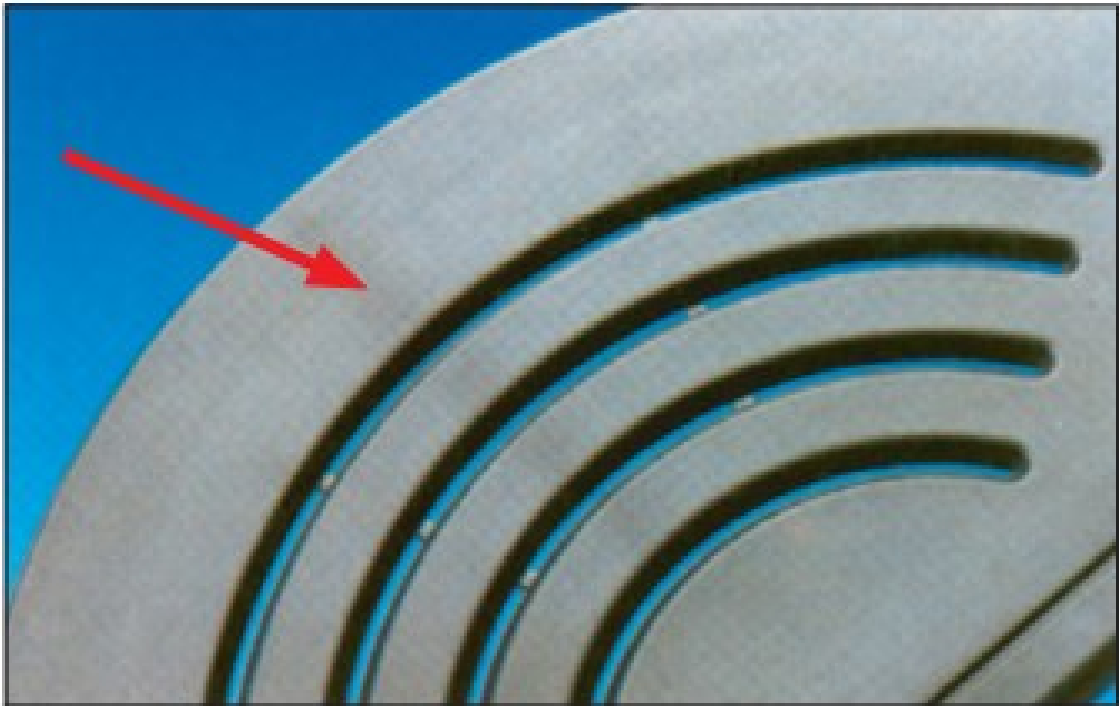


Obr. 30 Tvorba volného proudu polymerní taveniny [17]

5.7 Studené spoje

Studený spoj vzniká v tvarové dutině formy v místě styku a následného spojení dvou nebo více proudů polymerní taveniny, které se v důsledku překážky v toku musely rozdělit na více proudů a překážku obtéci. Studený spoj vzniká také při vstřikování s více vtoky do jedné tvarové dutiny. [1]

Studené spoje na výstřicích lze odstranit použitím technologie vstřikování kaskádovými horkými vstřikovacími systémy. Tento způsob se doporučuje pro výrobu velkých výstřiků, jako jsou nárazníky automobilů. U malých výstřiků je možné studené spoje odstranit vytvořením pomocné dutiny v místě styku dvou proudů, do níž přes falešné ústí vtoku proudy taveniny natečou a na výstřiku se studený spoj nevytvoří. [1]



Obr. 31 Stopy po studeném spoji [17]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

- Vypracujte literární studii na dané téma
- Proved'te konstrukci 3D modelu zadaného dílu
- Navrhnete 3D sestavu vstřikovací formy pro výrobu zadaného dílu
- Návrh ověřte pomocí analýz
- Nakreslete 2D výkres vstřikovací formy

V teoretické části diplomové práce jsou popsány a rozebrány základy technologie vstřikování termoplastů, požadavky na konstrukci formy a požadavky na konstrukci plastového dílu. Dále jsou v ní popsány hlavní části vstřikovací formy a jejich funkce.

V praktické části diplomové práce bude cílem vytvoření modelu zadaného plastového výrobku, návrh a konstrukce formy pro zadaný díl a vytvoření tokových analýz pro navrženou formu. Konstrukční návrh vstřikovací formy bude vytvořen v programu CATIA V5R19. Konstrukční návrh bude využívat především normalizovaných produktů od firem HASCO a Meusburger. Následné tokové analýzy budou vytvořeny v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Celý návrh formy bude doložen 2D sestavou formy s vyhotoveným kusovníkem.

7 POUŽITÉ PROGRAMY

7.1 CATIA V5R19

Konstrukce výrobku byla uskutečněna v programu CATIA V5R19. Jedná se o konstrukční software, který byl vyvinut ve Francii firmou Dassault Systèmes, jež ho využíval primárně v leteckém průmyslu. V současné době Catia představuje jeden z nejvíce využívaných softwarů, jak v automobilovém, tak i strojírenském průmyslu. Je možné zde vytvářet modely, sestavy, výkresovou dokumentaci, simulace pevnostních analýz případně simulace obrábění apod.

7.2 AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016

V programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 je následně ověřena funkčnost a efektivita navržené formy. Z výsledků analýz je možné predikovat případné problémy a umožní nám ještě před samotným uvedením formy do provozu tyto problémy odstranit, což znamená značnou úsporu nákladů na případnou opravu již vyrobené formy. Díky výsledkům tokových analýz můžeme optimalizovat procesní podmínky vstřikování a dosáhnout tak co možná nejlepších výsledků.

7.3 HASCO DAKO MODUL

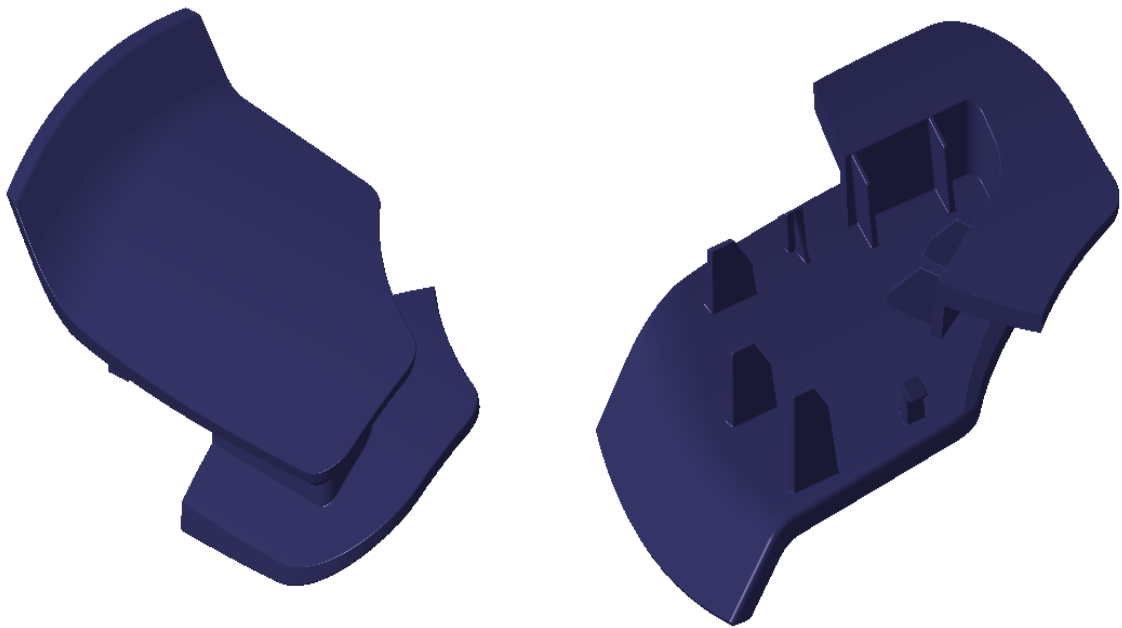
Jedná se o katalog normálií od firmy Hasco. Firma Hasco je jedním z předních dodavatelů normálií pro vstřikovací formy, rovněž podporuje generování 3D dat normálií a následné použití v sestavách, což značným způsobem urychluje práci při návrhu sestavy formy.

7.4 MEUSBURGER KATALOG

Katalog normálií pro vstřikovací formy od firmy Meusburger. Stejně jako firma Hasco i firma Meusburger podporuje generování 3D dat normálií a jejich následné použití v sestavách. Mimo to udává i informace o základních rozměrech, ceně a použití normálií.

8 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Forma je konstruována pro zadaný díl. Jedná se o interiérový díl automobilu. Díl slouží jako krytka umístěná pod madlem dveří. Základní rozměry dílu jsou 65 x 120 x 45 (délka x šířka x výška). Díl byl vytvořen ve třech verzích. První verze je totožná s výrobkem, druhá je zvětšena o materiálové smrštění a třetí verze je zbavena radiusů menších než 2 mm z důvodů přesnějšího výpočtu analýzy.



Obr. 32 Zadaný vstřikovaný dílec

8.1 Materiál vstřikovaného výrobku

Jako vhodný materiál pro výrobu zadaného dílce byla vybrána směs PP s PE s 20 % příměsí minerálního plniva od výrobce TOTAL Petrochemicals s obchodním názvem Finalloy HXN-86 C16. Mezi přednosti tohoto materiálu patří dobrá rozměrová stálost a zatékavost. Mechanické vlastnosti vybraného materiálu splňují kritéria pro použití navrhovaného dílu. Další vlastnosti použitého materiálu jsou uvedeny v materiálovém listě (příloha P II).

Tab. 5 Doporučené zpracovatelské parametry pro materiál Finalloy HXN-86 C16 z databáze programu Autodesk Moldflow Synergy 2016

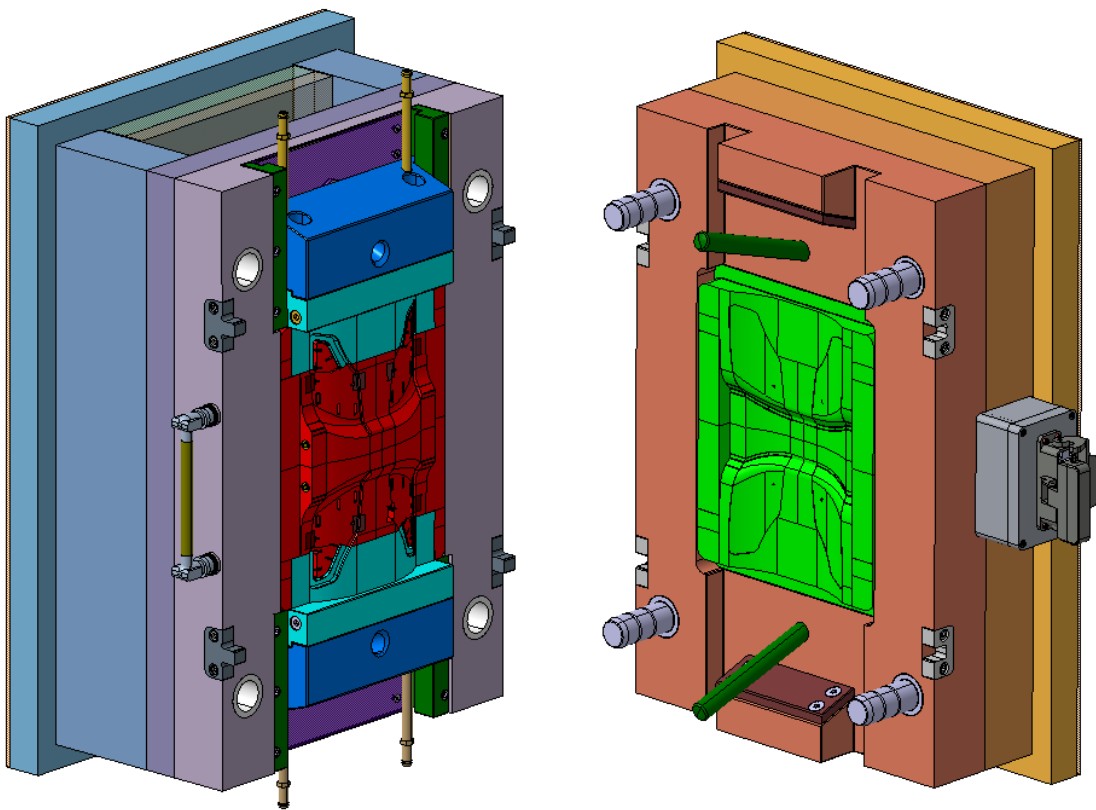
Procesní parametry materiálu	Hodnota	Jednotka
Teplota povrchu formy	45	°C
Teplota taveniny	230	
Doporučená minimální teplota formy	20	
Doporučená maximální teplota formy	70	
Doporučená minimální teplota taveniny	200	
Doporučená maximální teplota taveniny	260	
Maximální možná teplota taveniny	300	
Vyhazovací teplota	116	
Maximální smykové napětí	0,2	MPa
Maximální rychlost smykové deformace	100000	s ⁻¹

9 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

Pro vstřikovaný díl byla zadána čtyřnásobná forma s horkým vtokovým systémem ústícím přímo do dutiny formy. V návrhu formy je rovněž obsažen návrh temperace a vyhazovacího systému formy. Pro minimalizaci pořizovacích nákladů bylo co největší množství použitých dílů převzato z katalogů normálií. Použité normálie pochází z firem Meusburger a Hasco, které se specializují na prodej normálií pro vstřikovací formy.

9.1 Rozměry vstřikovací formy

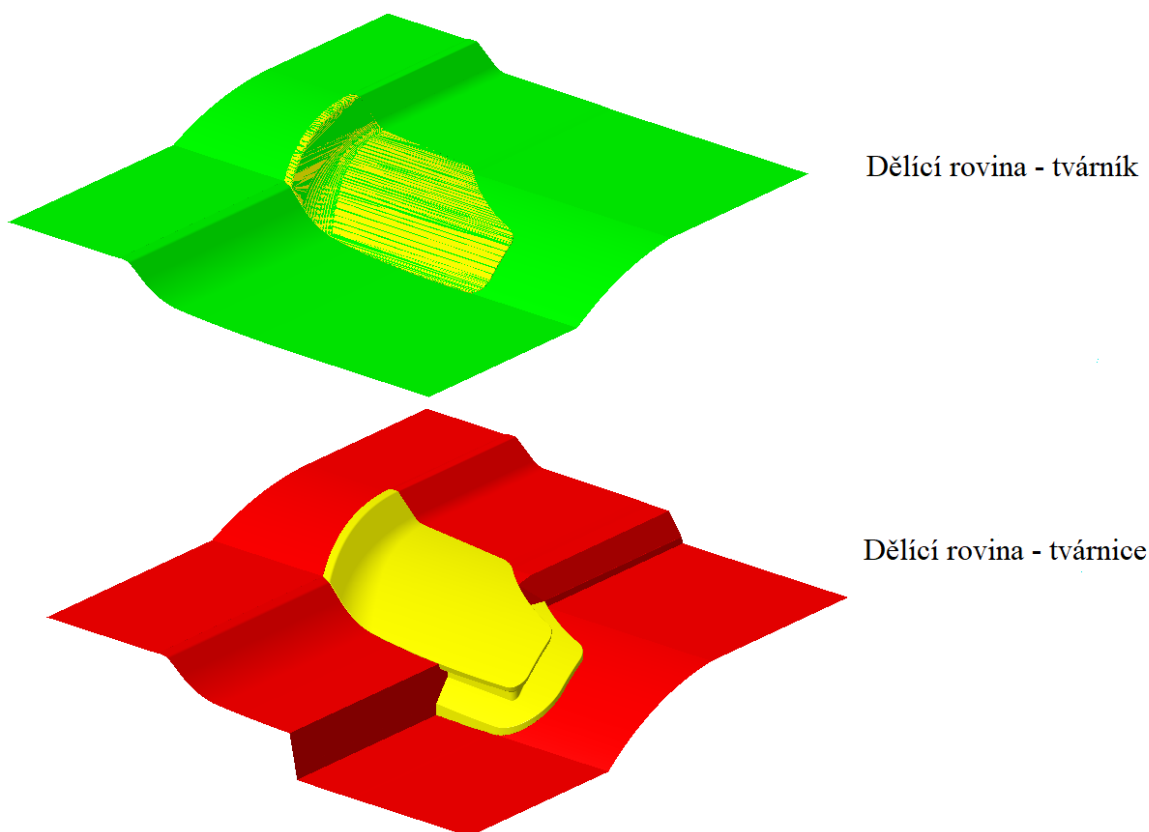
Hlavní rozměry rámu vstřikovací formy jsou 646 x 396 x 430. Rám je složen z normalizovaných desek z katalogu firmy Hasco. V programu Catia byla forma rozdělena do tří podsestav a to na vyhazovací stranu formy, vstřikovací stranu formy a vyhazovací systém.



Obr. 33 Náhled do levé a pravé strany formy

9.2 Umístění vstřikovaného výrobku do formy

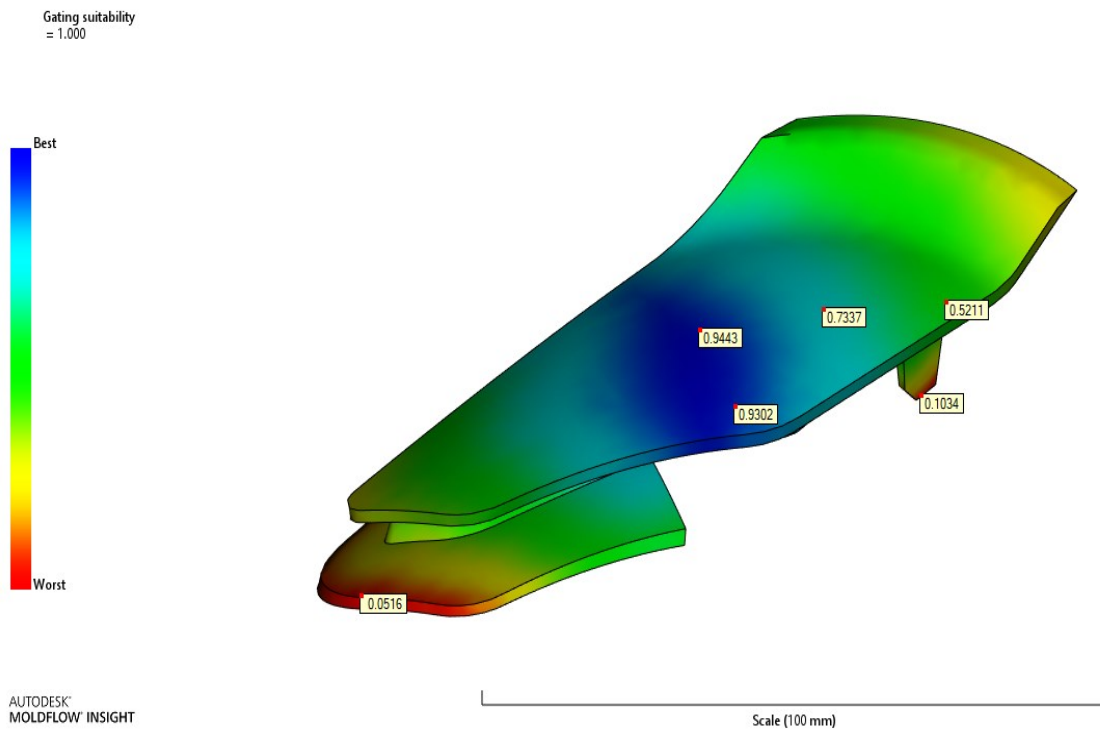
Umístění výrobku do formy proběhlo s ohledem na výsledky analýzy umístění vtoku, násobnost formy a odformovatelnost výrobku. Zaformování výrobku je uskutečněno v několika dělicích rovinách. Hlavní dělicí rovina je schematicky znázorněna na obr. 34 další dělicí rovina je mezi posuvnou čelistí, tvárníkem a tvárnicí.



Obr. 34 Hlavní dělicí rovina

Ke zjištění nejvhodnějšího místa pro ústí vtoku do dutiny výrobku byla provedena analýza „Gate location“ v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016. Na obr. 35 je znázorněn vstřikovaný výrobek, na kterém je pomocí barevné škály znázorněna vhodnost umístění ústí vtoku. Z obr. 35 je patrné, že nejlepším místem pro umístění vtokového ústí je střed vstřikovaného dílu, kde se hodnoty pro vhodnost umístění pohybují okolo 90% a více.

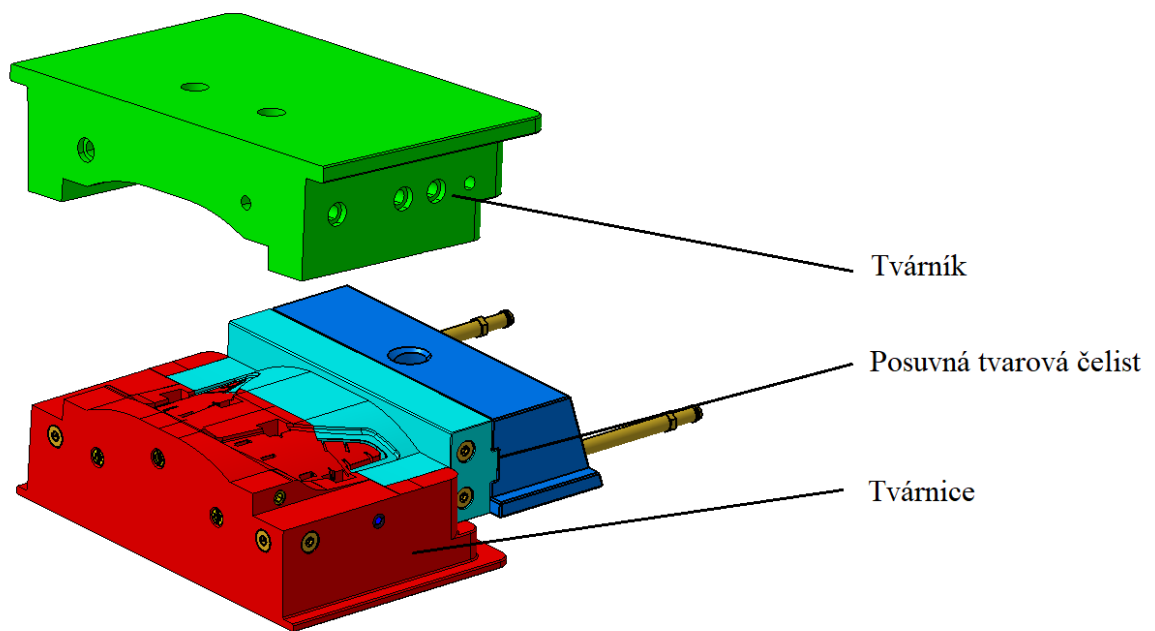
S ohledem na násobnost formy, úsporu místa a odformovatelnost bylo vybráno místo, kde hodnota vhodnosti umístění vtokového ústí dosahuje hodnoty 73%, tato hodnota byla shledána jako dostačující.



Obr. 35 Výsledky analýzy vhodnosti umístění vtokového ústí z programu Moldflow

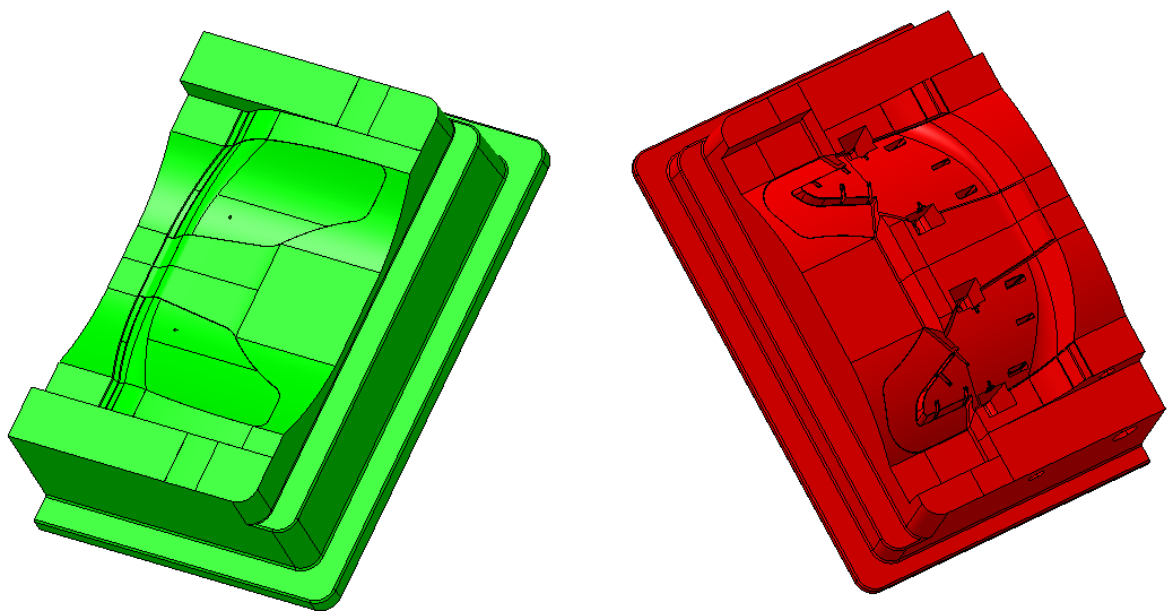
9.3 Tvarové prvky vstříkovací formy

Jsou to díly určující výsledný tvar vstříkované součásti. Dutina vstříkovací formy musí být zvětšena o hodnotu smrštění polymeru, který je do ní vstříkován. U materiálu Finalloy HXN-86 C16 je hodnota smrštění 1%. V návrhu formy jsou součástmi tvořícími jednu dutinu formy tvárník, tvárnice, posuvná čelist a dva tvarové vyhazovače slouží k odformování háčku ve spodní části výrobku. Tvarové prvky vstříkovacích forem jsou vyráběny z materiálu 1.2343, jsou cementovány pro zvýšení jejich odolnosti a následně kaleny na 55 HRC.



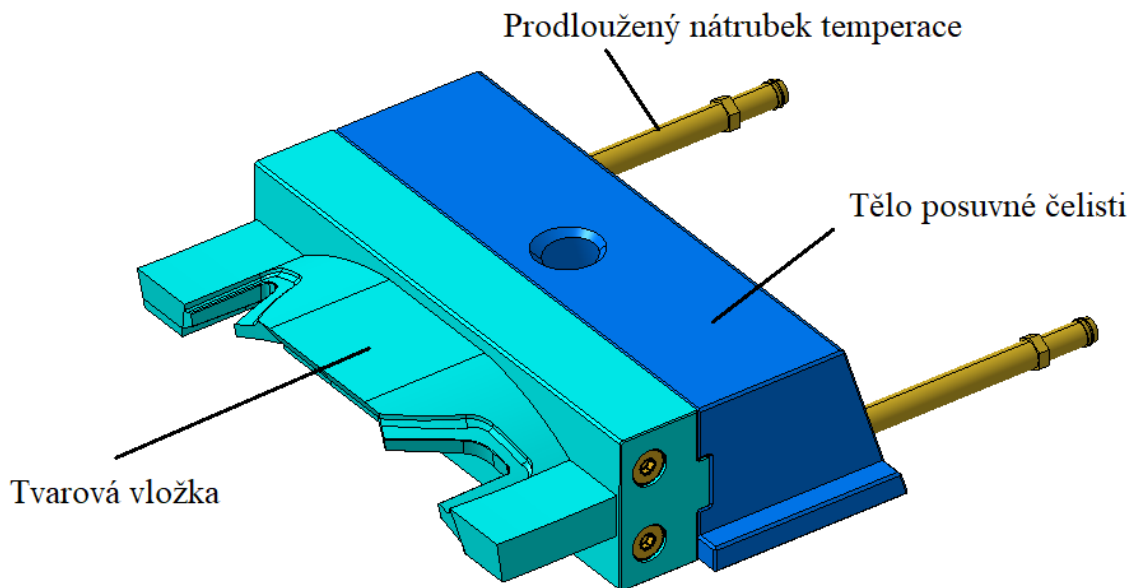
Obr. 36 Tvarové části vstříkovací formy

Vstříkovací forma je čtyřnásobná, z důvodů jednodušší opravitelnosti jsou tvárník, tvárnice i posuvné čelisti řešeny jako tvarové vložky, které se dají v případě potřeby vyměnit. Celou dutinu formy tvoří 2 tvarové vložky tvárníku, 2 tvarové vložky tvárnice a 2 tvarové vložky posuvných čelistí.



Obr. 37 Tvarové vložky (tvárník a tvárnice) tvořící polovinu formy

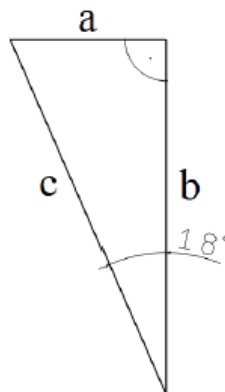
Přední část výrobku je odformována pomocí posuvných čelistí. Háčky ve spodní části výrobku jsou vytvarované pomocí pružné vyhadzovací jednotky od firmy Meusburger.



Obr. 38 Posuvná tvarová čelist

Posuvná tvarová čelist sloužící k odformování přední části výrobku je složena ze dvou hlavních částí. Tzv. těla posuvné jednotky (šoupátka) jejímž středem prochází otvor pro šikmý kolík a tvarové vložky sloužící k odformování požadovaného tvaru výrobku. Pohyb posuvné tvarové čelisti je zajištěn šikmým kolíkem, umístěným ve vstřikovací části formy.

Stanovení délky šikmého kolíku:



Minimální posun čelisti pro vyhození výrobku: $a = 40 \text{ mm}$

Minimální hodnota pootevření formy:

$$b \frac{a}{\operatorname{tg} 18^\circ} = \frac{40}{\operatorname{tg} 18^\circ} = 170 \text{ mm}$$

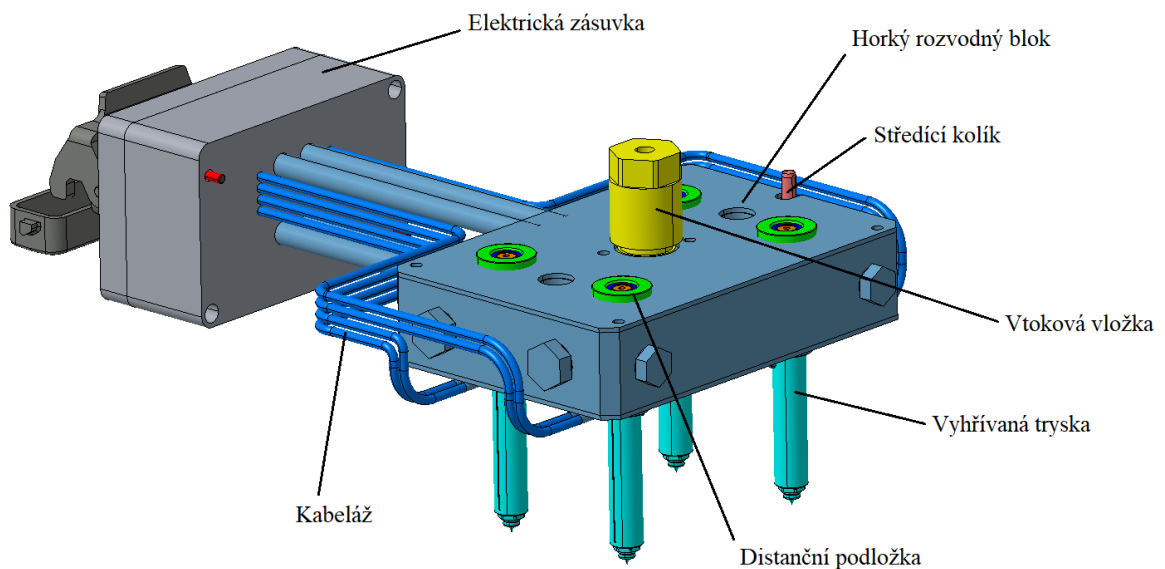
Stanovení délky šikmého kolíku:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{40^2 + 170^2} = 177 \text{ mm}$$

Na základě výpočtu byl zvolen šikmý kolík z katalogu firmy Meusburger E 1030/20x180, který vyhovuje požadavkům pro vstřikovací formu.

9.4 Vtokový systém vstřikovací formy

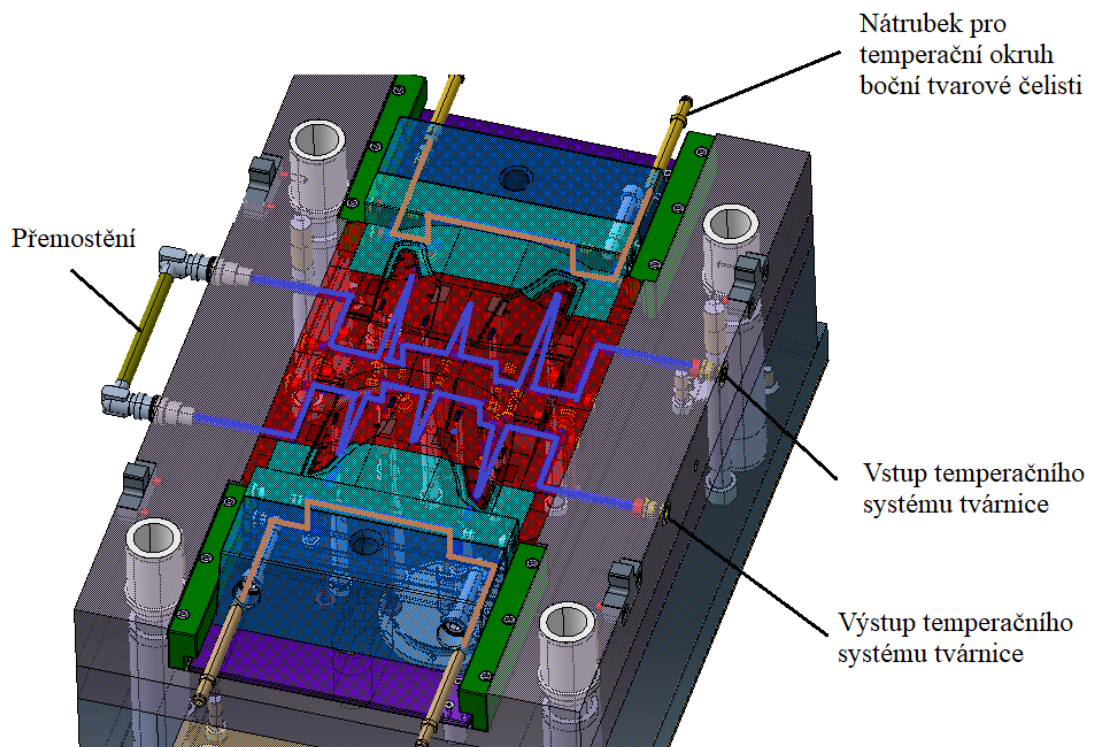
Vtokový systém vstřikovací formy je složen z vtokové vložky, ústící do rozvodného bloku a čtyř vyhřívaných trysek, které dopraví taveninu přímo do dutiny formy. Tavenina je ze vstřikovacího stroje vedena do vtokové vložky Z1055/3/24x56/8, poté je rozvodným blokem dopravena až k vyhřívaným tryskám Z3300/20. Z vyhřívaných trysek je tavenina vstřikována přímo do dutiny vstřikovaného výrobku.



Obr. 39 Vtokový systém vstřikovací formy

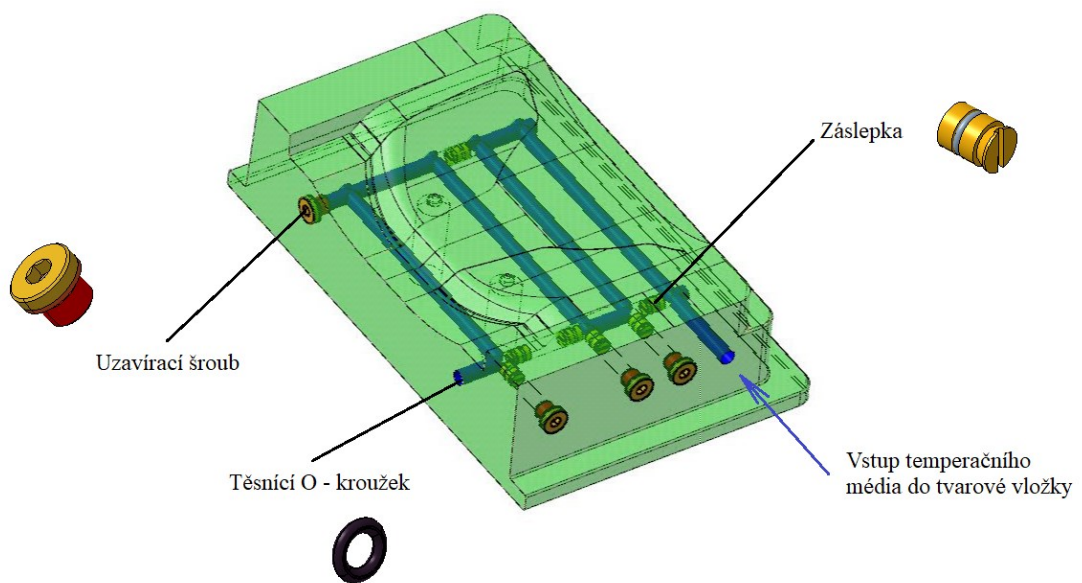
9.5 Temperační systém vstřikovací formy

Temperační systém je určen k minimalizaci doby vstřikovacího cyklu. Temperačním systémem je rovněž zajištěno co možná nejhomogennější teplotní pole pro dutinu formy, aby vstřikovaný díl rovnoměrně zatuhnul na vyhazovací teplotu. Ve vstřikovací formě se nachází celkem čtyři chladicí okruhy.

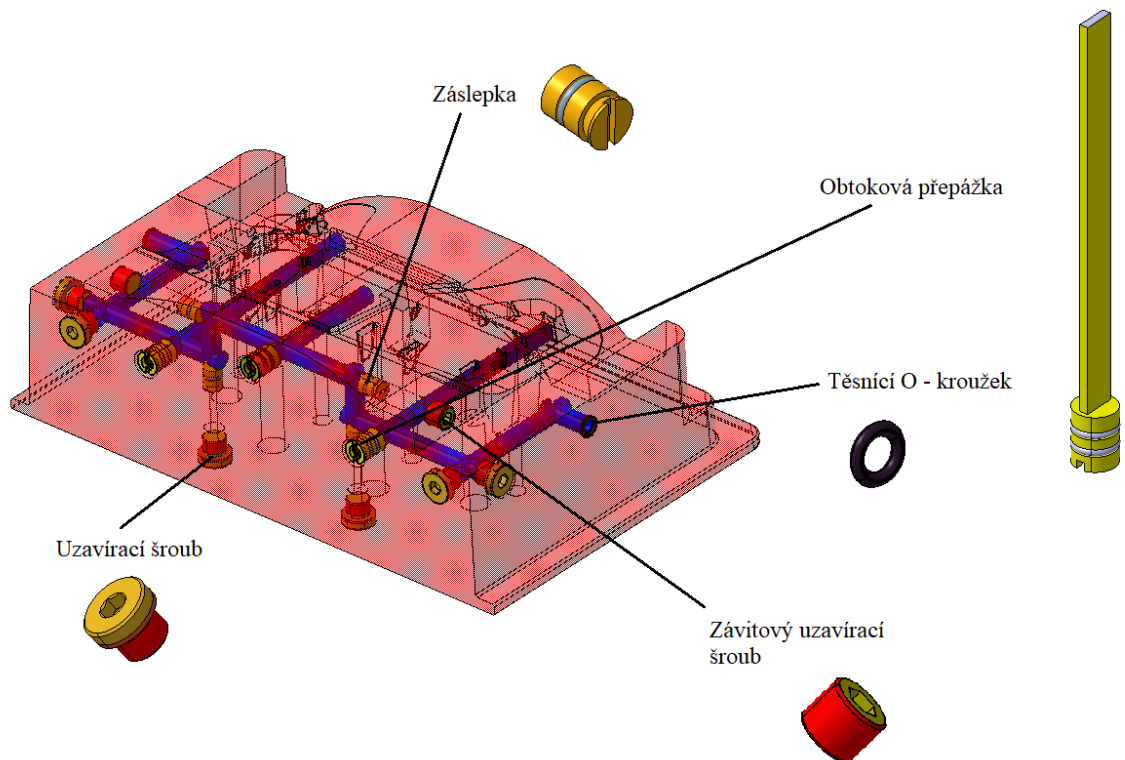


Obr. 40 Temperační systém ve vyhazovací straně vstříkovací formy

Ve vstříkovací i vyhazovací straně formy se nachází jeden temperační okruh. Další okruh je umístěn v posuvných bočních čelistech. Temperační systémy jsou tvořeny vrtanými kanály o průměru 8 mm a standardizovanými součástmi firmy Meusburger. K usměrnění temperačního média ve vrtaném kanálu jsou použity záslepky.



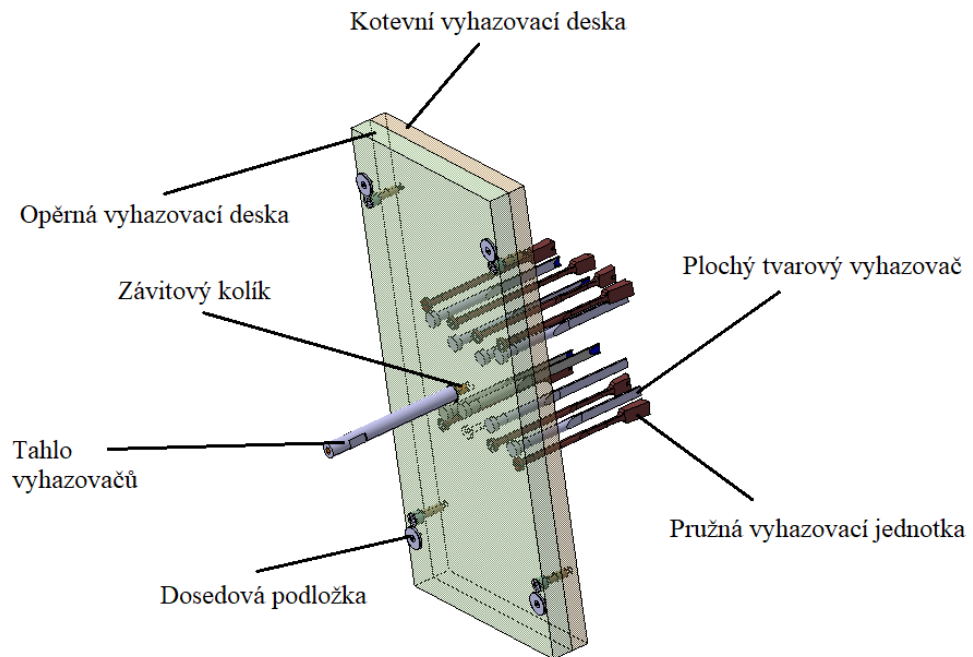
Obr. 41 Temperační okruh tvarové vložky (tvárník)



Obr. 42 Temperační okruh tvarové vložky (tvárnice)

9.6 Vyhazovací systém

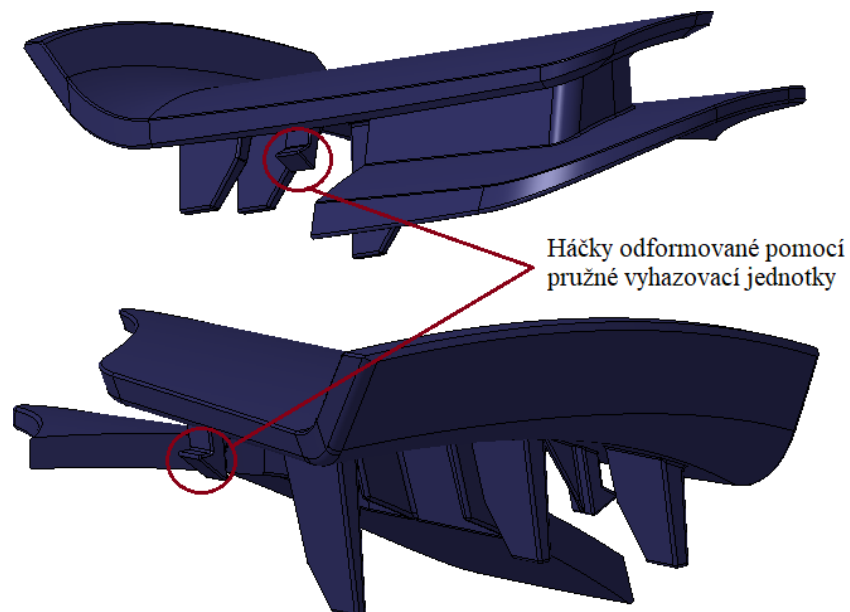
Vyhazovací systém slouží k bezpečnému vyjmutí vstříkovaného dílce z dutiny formy. Vyhazovací systém vstříkovací formy je v našem případě složen z 8 pružných tvarových vyhazovacích jednotek E 3200/14/12,5/200 a osmi plochých tvarových vyhazovačů E 1727/ 2,8/0,5x160. Tvarové vyhazovače plní kromě vyhazovací funkce i funkci odformování geometrických prvků ve spodní straně vyráběného dílce, které jsou určeny pro uložení daného dílu.



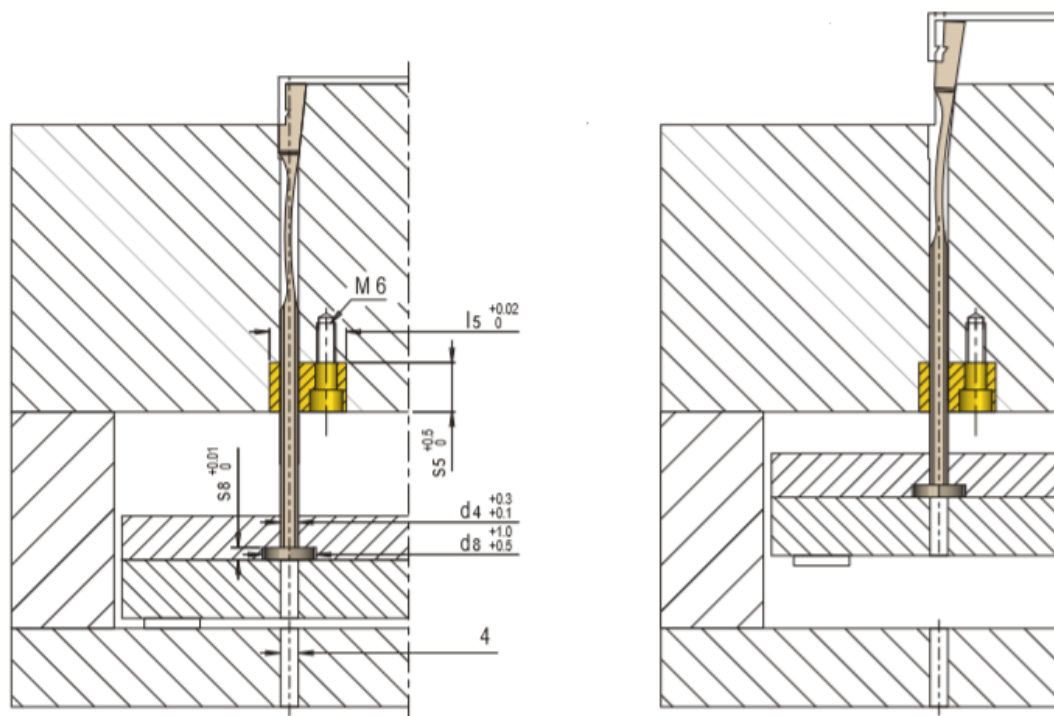
Obr. 43 Vyhazovací systém vstříkovací formy

9.6.1 Pružná vyhazovací jednotka

Háčky ve spodní části výrobku jsou odformovány pomocí pružné vyhazovací jednotky E 3200/14/12,5/200 od firmy Meusburger.



Obr. 44 Umístění háčků na vstříkovaném výrobku

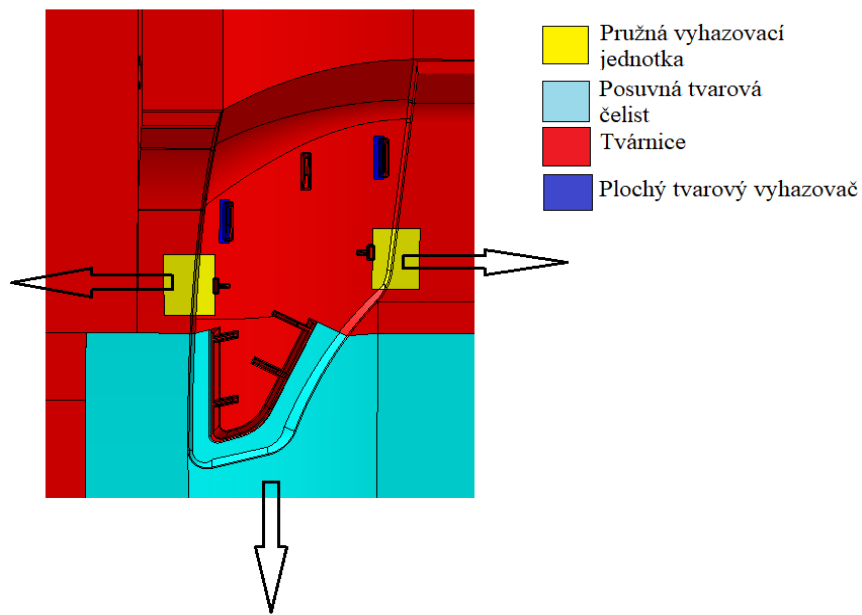


Obr. 45 Schematické znázornění uložení a funkce pružné vyhazovací jednotky

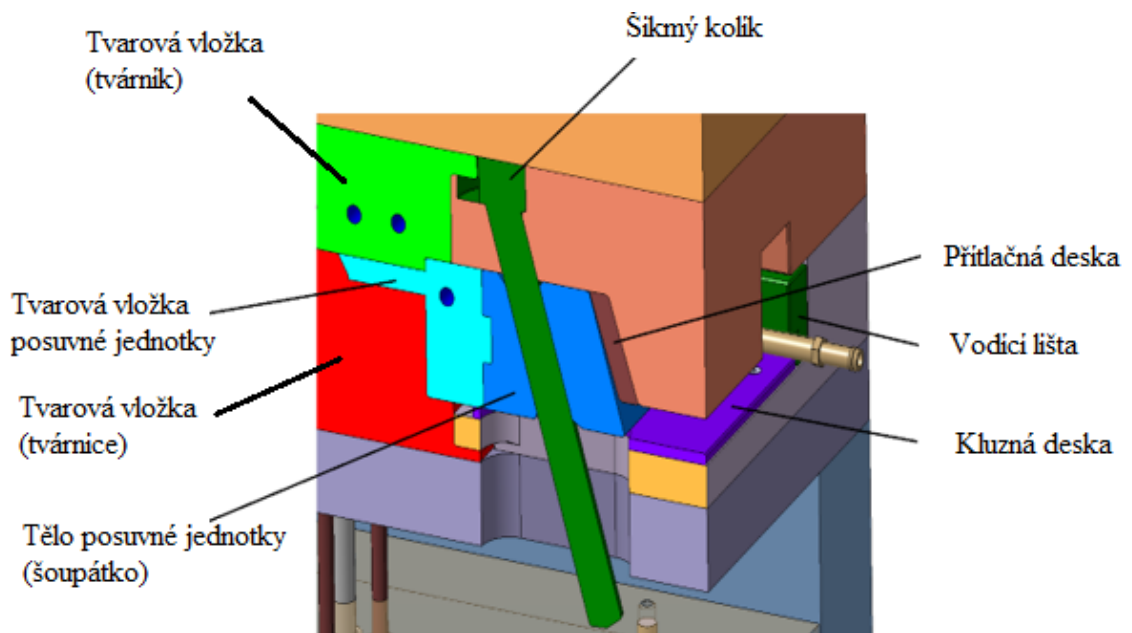
9.7 Odformování výstřiku z dutiny formy

Výstřik je odformován za pomoci tvárnice, tvárníku, posuvných čelistí a dvou pružných vyhazovačů. Pružné vyhazovače E3200 byly vybrány z katalogu normálií firmy Meusburger, tak aby splňovaly požadavky potřebné pro správné odformování háčků.

Pružné vyhazovače jsou vyrobeny z pružinové oceli, umožňují odformování malých podkosů či tvarových částí. Pohyb je zprostředkován vyhazovacím systémem stejně jako u klasických vyhazovačů. Při použití pružných vyhazovačů je ušetřeno značné množství místa a jejich použití je výrazně jednodušší než montáž dalších posuvných jednotek.



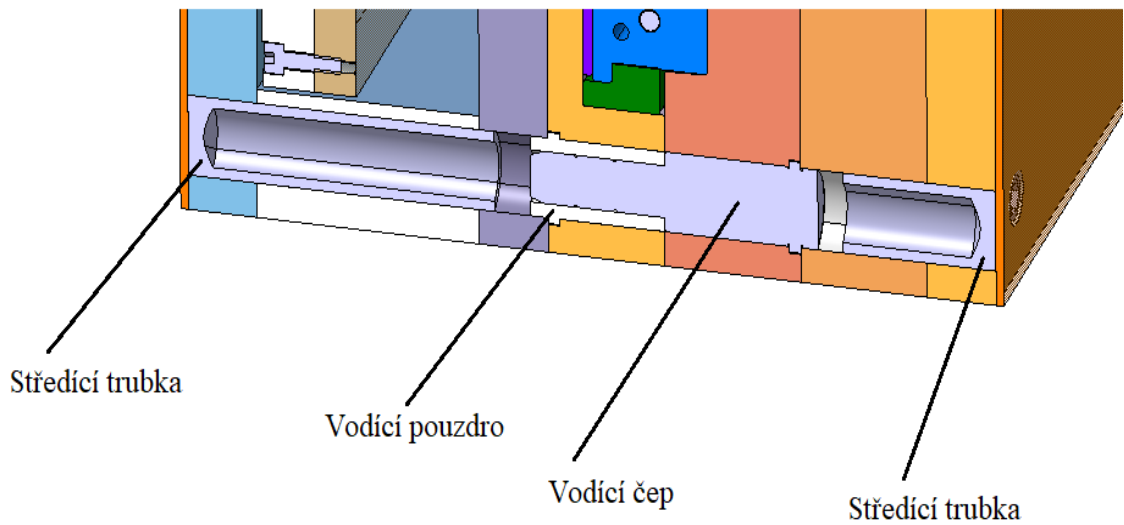
Obr. 46 Odformovací směry pohybu pohyblivých součástí



Obr. 47 Řez posuvnou tvarovou jednotkou

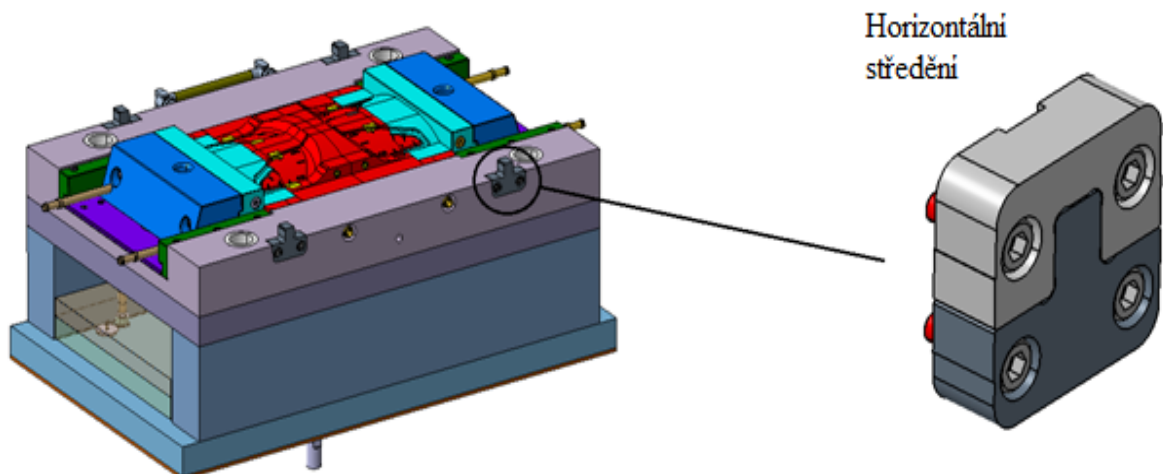
9.8 Vodící a středící prvky formy

Mezi nejčastěji používané středící a vodící prvky patří standardizované díly (normálie). Středící prvky zajišťují správné ustavení formy ve stroji a přesné sesazení pohyblivé a nepohyblivé části. Vodící prvky umožňují přesný pohyb pohyblivých částí formy při otevírání a zavírání formy.



Obr. 48 Středící prvky formy

Pro vystředění vstřikovací formy byly použity normálie z katalogu Hasco a Meusburger. Levá strana formy je středěna středícími trubkami Z20/42x160 a vodícími pouzdry Z10/66/32. Pravá strana pak vodícími čepy Z00/66/32x75 a středícími trubkami Z20/42x80. Do dělicí roviny, kde poloviny dosedají jedna na druhou, byly umístěny 4 plošné středění E1308/50 z katalogu firmy Meusburger pro zajištění přesného dosednutí tvarových částí formy.



Obr. 49 Horizontální středění firmy Meusburger

10 TOKOVÉ ANALÝZY

Dalším cílem praktické části bylo vyhotovení tokových analýz v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 pro navrženou formu.

V prvním kroku byl upraven reálný model výrobku, který byl zbaven malých radiusů a následně zvětšen o hodnotu materiálového smrštění. Tento model byl naimporován do programu Moldflow, ve kterém byla vytvořena síť výrobku. Následně proběhla předběžná analýza. Na základě výsledků předběžné analýzy byl zvolen vstřikovací stroj a také proběhla optimalizace výrobního procesu.

10.1 Volba vstřikovacího stroje

Vstřikovací je volen s ohledem na několik hlavních parametrů. Z výsledků prvotní analýzy byly zjištěny parametry, na jejichž základě, byl vybrán vhodný vstřikovací stroj. Jako vstřikovací stroj byl zvolen Allrounder 420 C 1300 (45mm). Další technické parametry zvoleného vstřikovacího stroje jsou obsaženy v příloze P II.

Tab. 6 Parametry pro volbu vstřikovacího stroje

Technický parametr	Hodnota formy	Hodnota stroje	Jednotka
Rozměry formy	646x396	420x420	mm
Uzavírací síla	447	1300	kN
Objem výstřiku	203	318	cm ³
Vstřikovací tlak	26	247	MPa
Maximální vyhazovací síla	-	40	kN
Průměr šneku	-	45	mm

Jednou z největších výhod strojů Arburg je možnost demontáže vodícího sloupu stroje. Touto úpravou je umožněno použití forem větších než vzdálenost mezi vodícími sloupy stroje. V tomto případě je vzdálenost mezi vodícími sloupy stroje 420 x 420 mm a rozměr formy je 646 x 396 mm.



Obr. 50 Vstřikovací stroj allrounder 420 C

10.2 Síť modelu

Síťování modelu proběhlo za nastavení parametru dual-domain. Síť modelu je tvořena velkým množstvím trojúhelníků, před samotným síťováním byla nastavena délka strany rovnostranného trojúhelníku. Toto nastavení značně ovlivní hustotu sítě a tím i přesnost a délku výpočtu. Pro optimální nastavení sítě se přihlíží zejména k parametru „Aspect ratio“. Hodnota tohoto parametru vyjadřuje poměr stran rovnostranného trojúhelníku a neměla by přesáhnout hodnotu 15. V případě použité sítě dosahuje hodnota parametru aspect ratio průměrné hodnoty 1,65 (obr. 49). Touto hodnotou je zaručena dostatečně kvalitní síť pro další výpočty.

10.3 Vlastnosti sítě

Pro zjištění vlastností sítě je využíván nástroj „Mesh statistic“. Pomocí tohoto nástroje je zobrazena statistika trojúhelníkových elementů sítě. Zejména poslední dvě hodnoty obr. 49 mohou výrazně ovlivnit přesnost výpočtu analýzy. Hodnota procentuální shody (match percentage) by neměla klesnout pod hranici 80% pro úspěšné dokončení analýzy. Pokud by

hodnota procentuální shody klesla pod hodnotu 80%, analýza by pravděpodobně neproběhla v pořádku a její výsledek by byl nespolehlivý.

```

Triangles
-----
Entity counts:
  Triangles          21888
  Connected nodes   10954
  Connectivity regions 5

  Invisible triangles          1392

Area:
(Mold blocks and cooling channels are
not included)
  Surface Area:      636.166 cm^2

Volume by element types:
  Triangle:         77.0958 cm^3

Aspect Ratio:
  Maximum   Average   Minimum
    14.04    1.65     1.16

Edge details:
  Free edges          0
  Manifold edges     32832
  Non-manifold edges 0

Orientation details:
  Elements not oriented 0

Intersection details:
  Element intersections 0
  Fully overlapping elements 0

Match percentage:
  Match percentage     94.7%
  Reciprocal percentage 95.5%

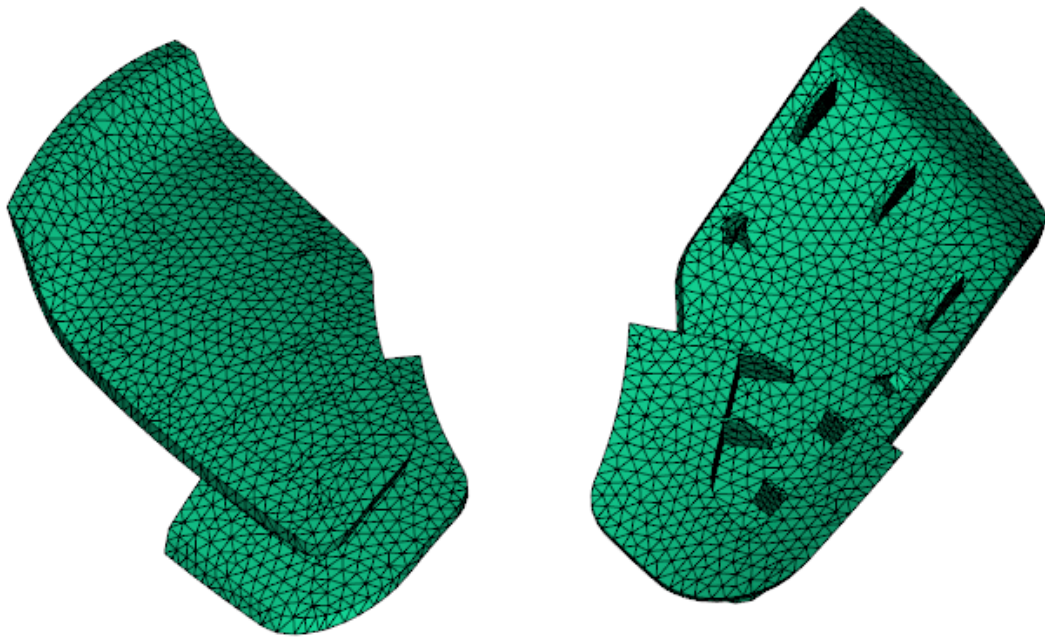
```

Obr. 51 Statistika sítě modelu

Parametry sítě:

- Triangles – počet elementů (trojúhelníků)
- Nodes – počet uzlů
- Regions – počet dílů (vysítovaných objektů)
- Area – plocha objektu/ů (obsah)
- Volume – objem objektu/ů
- Aspect Ratio – hodnotí rovnostrannost trojúhelníků
- Free edges – volné hrany – musí se rovnat nule
- Manifold edges – počet propojených hran – nerovná se nule
- Non – manifold edges – nepropojené hrany – Tento parametr se musí rovnat nule

- Elements not oriented – neorientované elementy – Tento parametr se musí rovnat nule.
- Element intersections – protínající se elementy – Tento parametr se musí rovnat nule.
- Fully overlapping elements: – překrývající se elementy – Tento parametr se musí rovnat nule
- Match percentage a Reciprocal percentage – hodnotí i kvalitu sítě a pokrytí modelu.

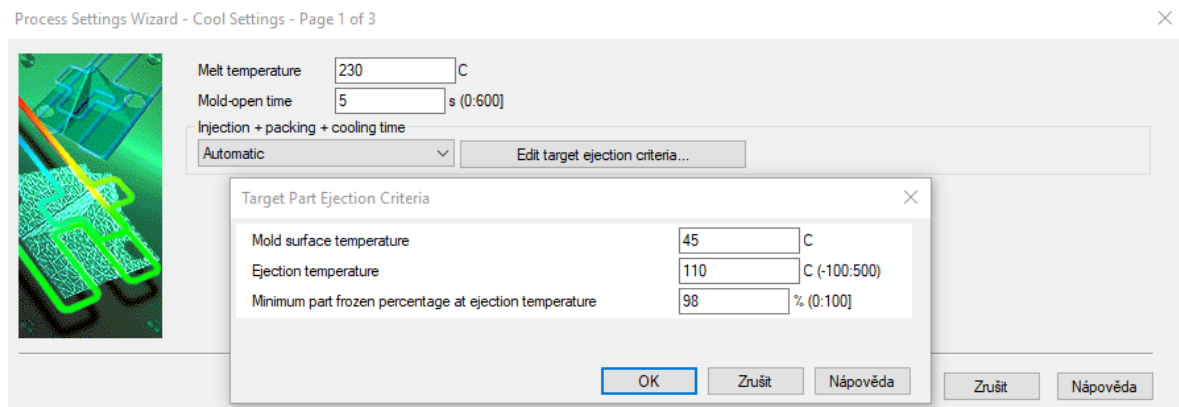


Obr. 52 Vysíťovaný model vstřikovaného výrobku

10.4 Procesní parametry

Zvoleným materiálem pro výrobu vstřikovaného výrobku Finalloy HXN-86 C16, což je směs PP/PE s přidaným minerálním plnivem. Z programu Moldflow byly převzaty doporučené teploty pro zpracování daného polymeru:

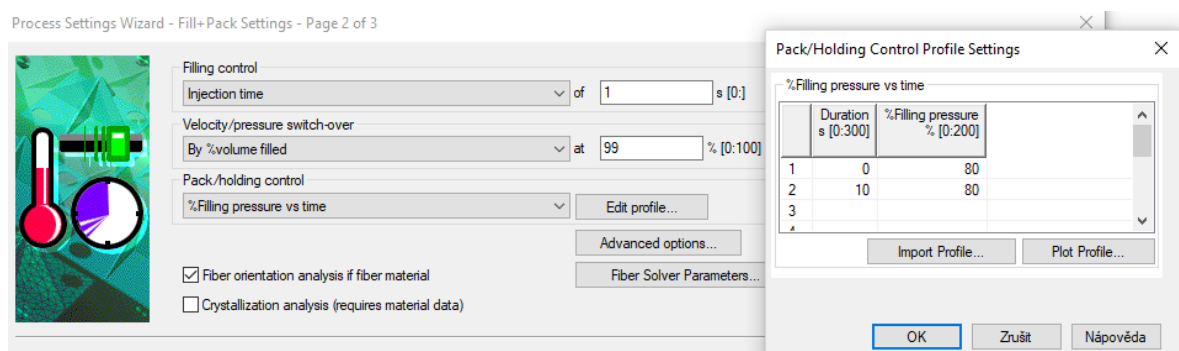
- Teplota taveniny 230 °C
- Doba otevření vstřikovací formy 5s
- Vstřík + dotlak + chlazení – řízeno automaticky
- Teplota formy 45 °C
- Vyhazovací teplota 110 °C



Obr. 53 Nastavení procesních parametrů krok č. 1

V dalším kroku jsou nastaveny parametry jako vstříknutí, plnění a přepnutí na dotlak.

- Doba vstříku 1s
- Přepnutí na dotlak při zaplnění 99% objemu tvarové dutiny



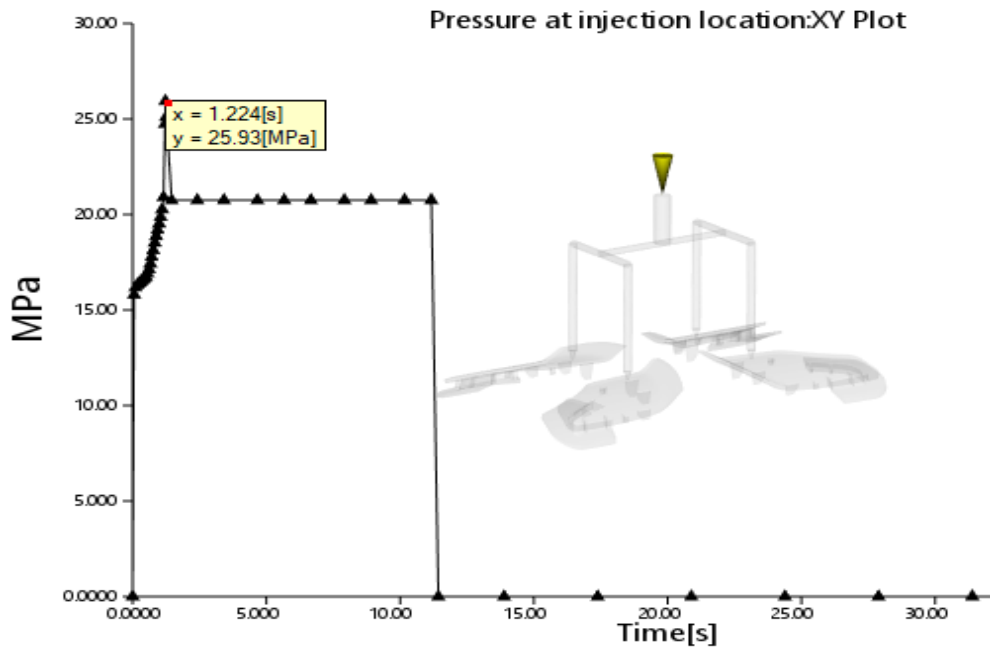
Obr. 54 Nastavení procesních parametrů krok č. 2

V položce advanced options byl zvolen vhodný vstříkovací stroj a následně může být spuštěna analýza.

10.5 Tokové analýzy

V následující části diplomové práce budou rozebrány výsledky tokových analýz pro navrženou vstříkovací formu. Tokové analýzy popisují chování taveniny během celého procesu vstříkování.

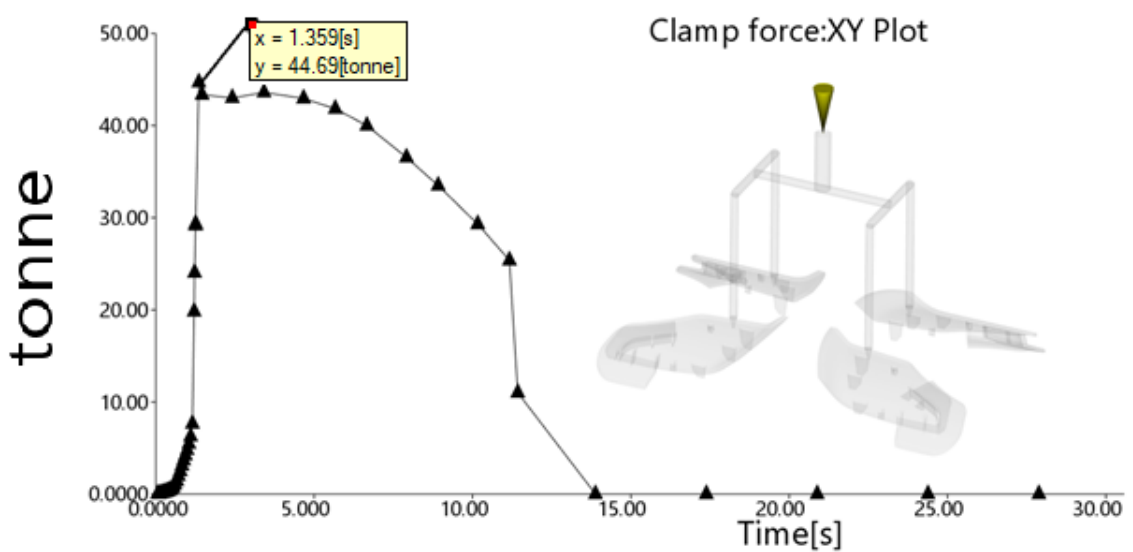
Na obr. 55 je znázorněn průběh vstříkovacího tlaku ve vtokovém ústí. V čase 1,2 s došlo k zaplnění 98% tvarové dutiny formy a následnému přepnutí na dotlak, který se postará o kompletní vyplnění tvarové dutiny taveninou.



Obr. 55 Průběh vstřikovacího tlaku ve vtokovém ústí

10.5.1 Uzavírací síla

Výsledkem této analýzy je síla, která je potřebná pro udržení obou polovin formy u sebe po celou dobu vstřikovacího procesu. Výsledná uzavírací síla nesmí překročit maximální hodnotu uzavírací síly stroje. V případě, že by hodnota během vstřikování překročila maximální hodnotu uzavírací síly stroje, došlo by k zatečení taveniny do dělicí roviny.

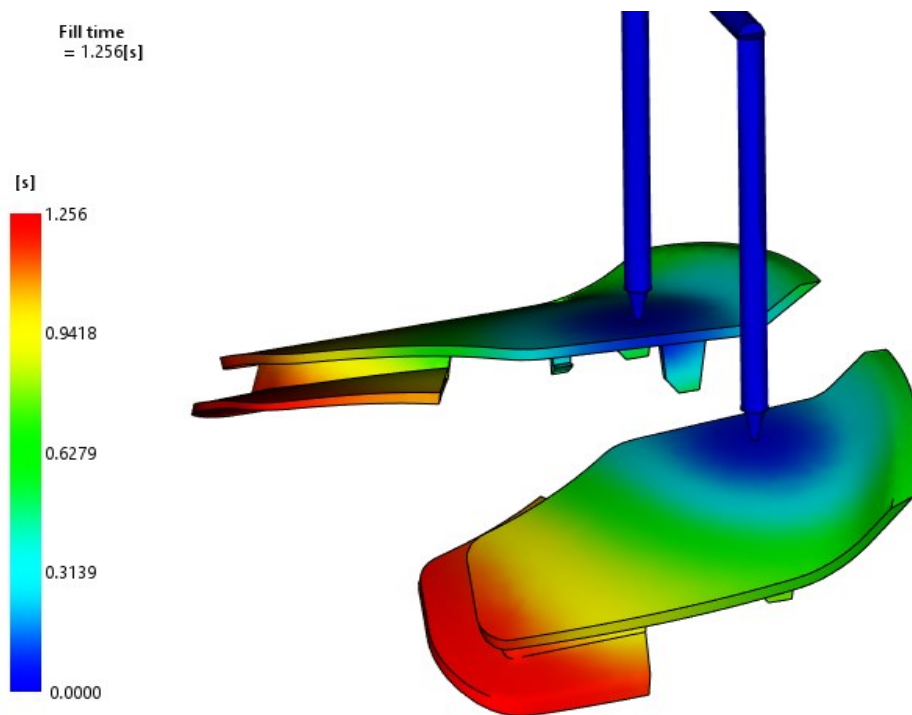


Obr. 56 Průběh uzavírací síly během celého procesu vstřikování

Z obr. 56 vyplývá, že nejvyšší dosažená hodnota 44,7 tun tato hodnota odpovídá hodnotě 447 kN. Maximální hodnota, kterou je schopna vyvinout uzavírací jednotka vstřikovacího stroje je 1300 kN, což znamená, že je to dostatečná hodnota, aby nedošlo k pootevření formy a následnému zatečení taveniny do dělicí roviny.

10.5.2 Čas plnění (Fill time)

Z výsledků této analýzy je stanoven čas, kdy dojde k úplnému objemovému zaplnění dutiny formy. Z obr. 57 je vidět, že celá dutina formy je zaplněna během 1,256 s. V případě, že by tvarová dutina formy nebyla zcela zaplněna (výrobek by nedotekl), musely by být upraveny procesní podmínky. Nedotečení výrobku může být řešeno zvýšením vstřikovacího tlaku, dřívějším přepnutím na dotlak, zvýšením teploty formy či vstřikované taveniny, možná je i volba materiálu s lepšími tokovými vlastnostmi.

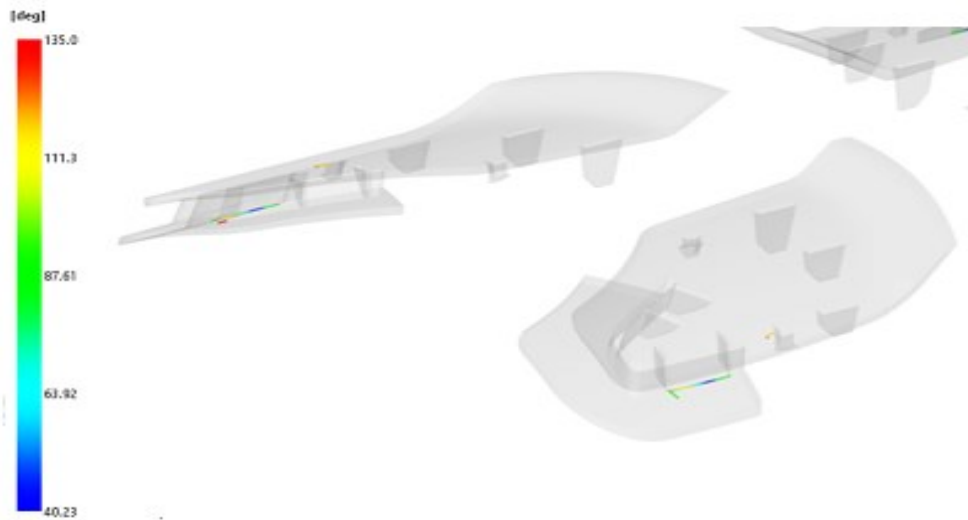


Obr. 57 Časy plnění dutiny formy

10.5.3 Analýza studených spojů

Studený spoj vznikne, v místě kde je proud taveniny rozdělen, aby mohl obtéci překážku, a za touto překážkou je proud taveniny opět spojen. V místě takového spoje vzniká studený

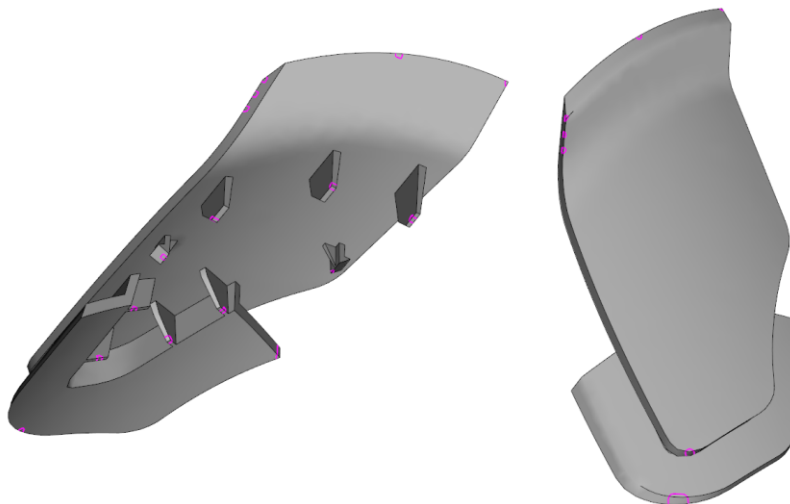
spoj. Jedná se o místo, ve kterém má výrobek zhoršené mechanické vlastnosti. Z konstrukčního hlediska je vhodné taková místa volit do oblastí, které nejsou funkční nebo jinak mechanicky namáhána.



Obr. 58 Výsledek analýzy studených spojů

10.5.4 Vzduchové kapsy (airtraps)

V dutině místa mohou vznikat místa, ve kterých je stlačován vzduch. V takovém místě může dojít k degradaci materiálu a vzniku Dieslova efektu (spáleného místa). Návrh formy neobsahuje návrh odvzdušnění dutiny formy. Je předpokládáno, že stlačený vzduch dokáže uniknout vůlemi mezi pohyblivými částmi formy, nebo dělicími rovinami formy. V případě, že na výrobku vznikají spálené místa, je nutné vybrousit k těmto místu odvzdušňovací kanálky.

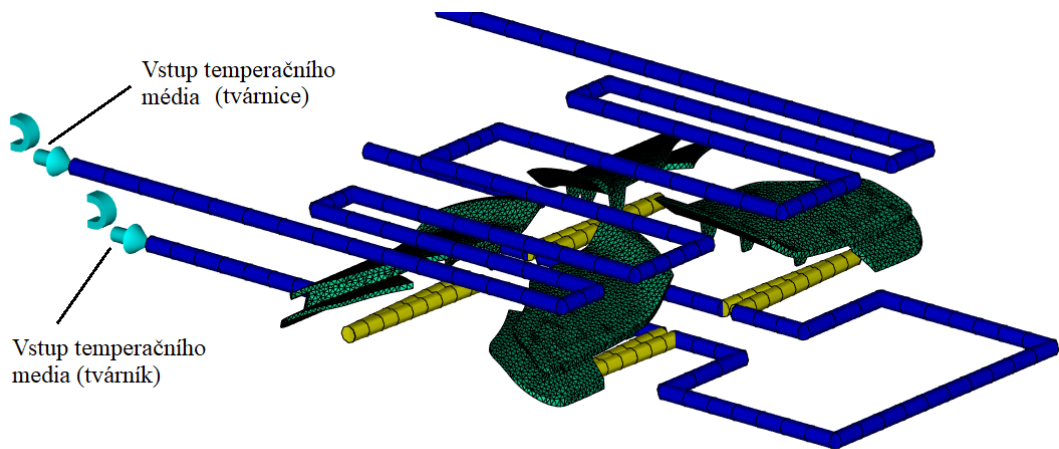


Obr. 59 Místa s vysokou pravděpodobností vzniku vzduchových kapes

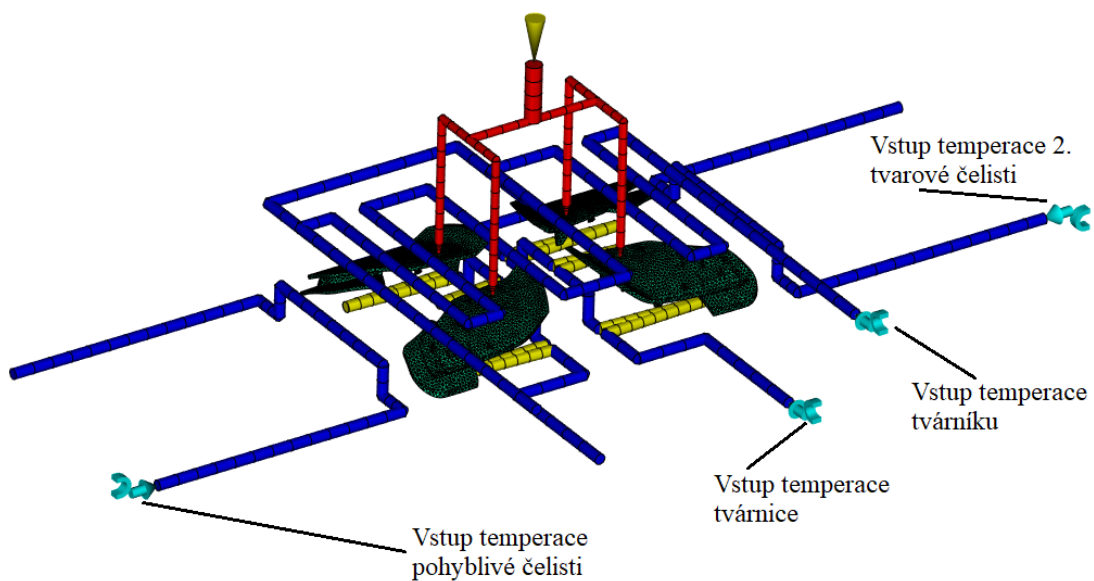
formu byly navrženy dvě různé provedení temperačního systému. Oba tyto temperační systémy byly podrobeny simulacím a následnému srovnání.

10.5.5 Čas potřebný k dosažení vyhazovací teploty

Výstřik je z dutiny formy vyhozen až poté co je ochlazen na vyhazovací teplotu. Vyhazovací teplota je dána vstřikovaným materiálem. Vyhazovací teplota je taková teplota, při které dojde k vyhození dílce z dutiny formy bez jeho poškození. Z hlediska vysoké produktivity je kladen důraz, aby této teploty bylo dosaženo co nejdříve.



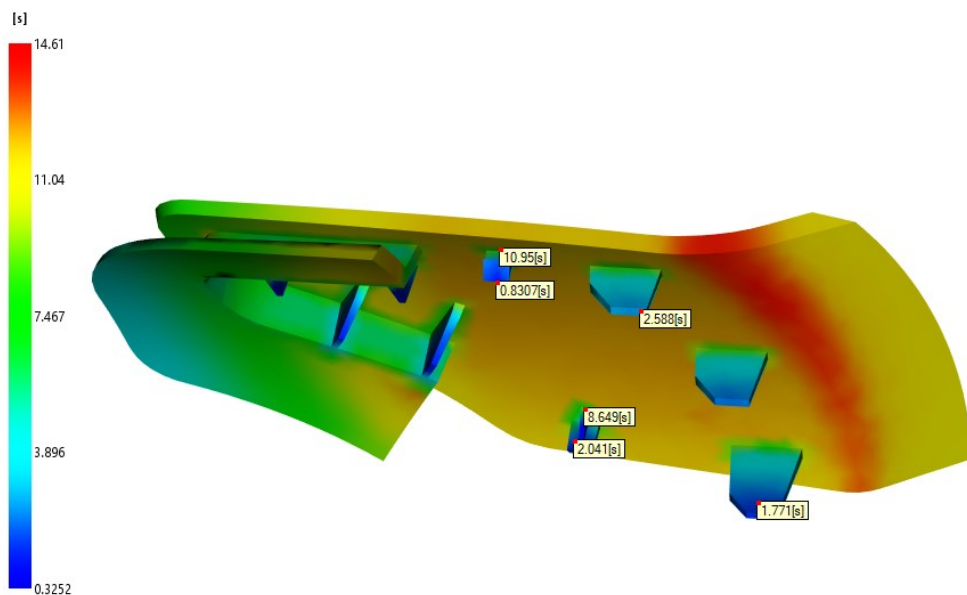
Obr. 60 První verze temperačního systému



Obr. 61 Druhá verze temperačního systému

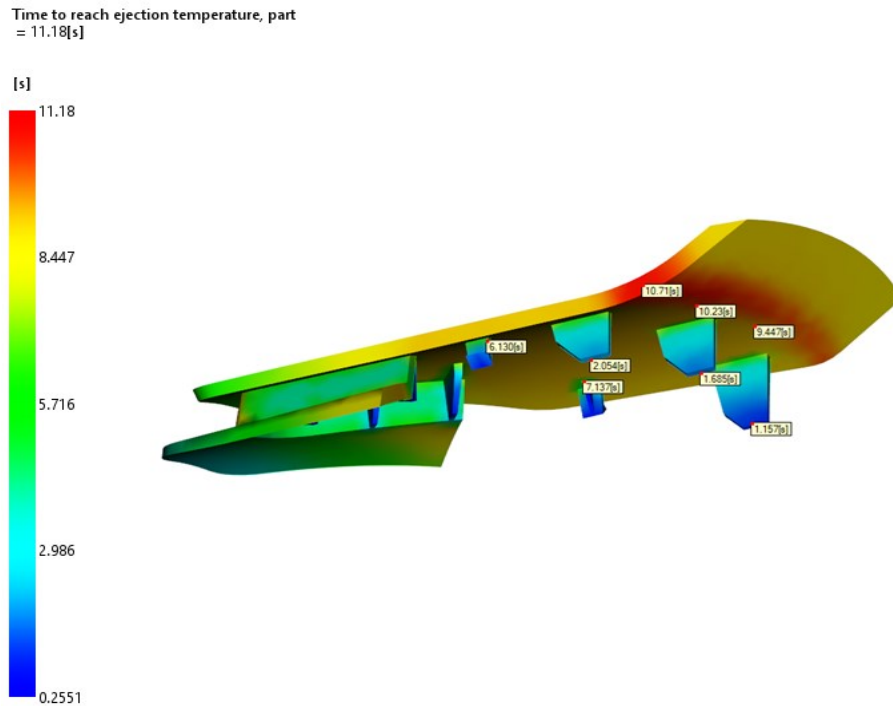
Na obr. 60 je znázorněn první navržený temperační systém. Tento systém je jednodušší a snadněji výrobitelný než druhý navržený temperační systém (obr. 61), který byl použit ve vstřikovací formě.

Na obr. 61 je znázorněn druhý návrh temperačního systému, který byl použit v konstrukčním návrhu vstřikovací formy. Původní návrh byl rozšířen o další dva temperační okruhy tvarových čelistí a temperační okruh tvárnice byl rozšířen o další dvě obtokové přepážky, které jsou umístěny vždy mezi dva vstřikované dílce.



Obr. 62 Čas nutný k dosažení vyhazovacího systém pro první verzi temperačního systému

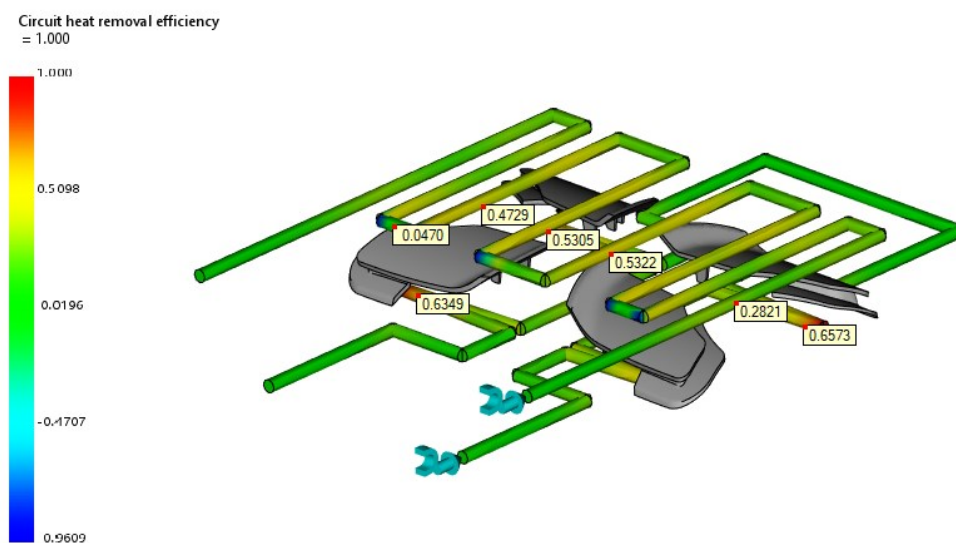
Na obr. 62 jsou znázorněna místa na vstřikovaném výrobku a čas nutný k zatuhnutí taveniny v daném místě na vyhazovací teplotu. Nejdelší doba pro zatuhnutí výrobku je v ohybu vstřikovaného výrobku. Toto místo je obtížné efektivně chladit z důvodu blízkosti vtokového ústí a dělicí roviny. Z důvodů bezpečného odformování, by mělo dojít k vyhození výrobku po uplynutí doby 14,6 s, aby nedošlo k poškození vstřikované součásti vyhazovacím systémem.



Obr. 63 Čas potřebný k ochlazení na vyhazovací teplotu pro druhou verzi temperačního systému

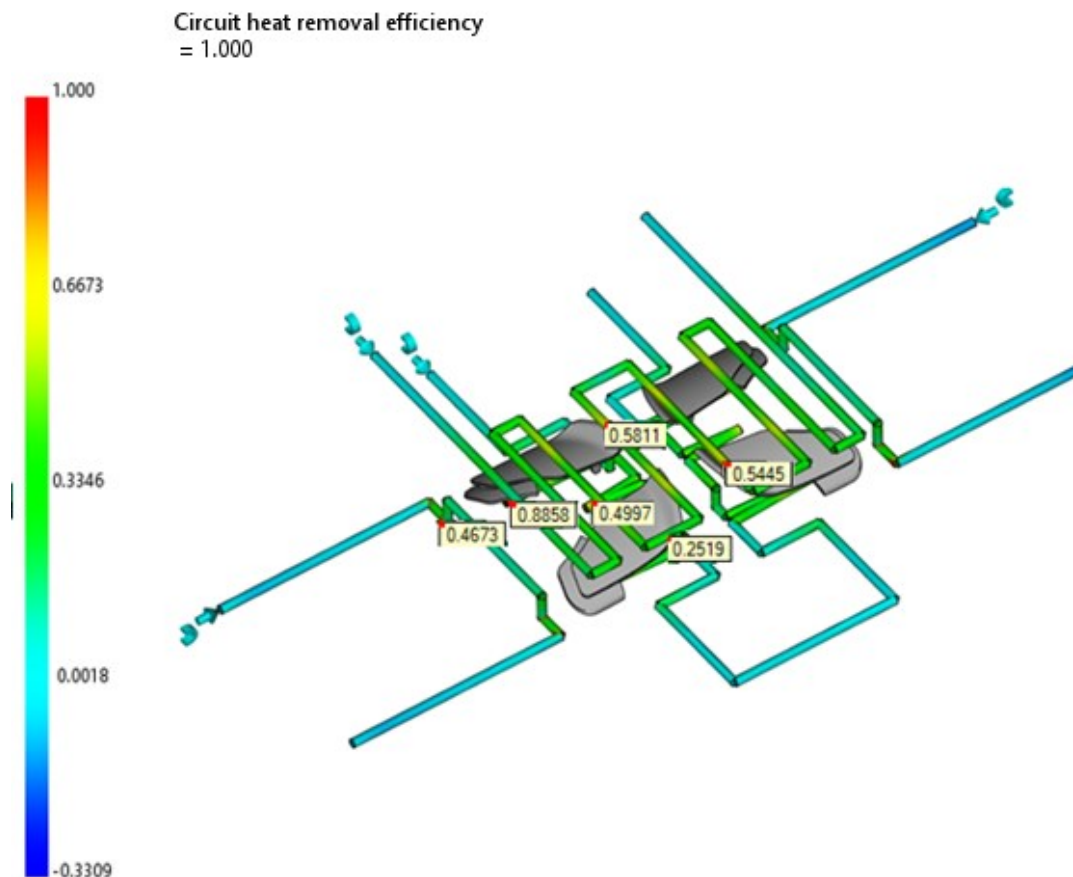
Při použití druhého temperačního systému došlo ke snížení času potřebného pro vyhození výrobku z dutiny formy z 14,6 s na 11,2. Potřebný čas byl snížen o 3,4 s. Což je snížení času potřebného k ochlazení na vyhazovací teplotu o 23%.

10.5.6 Efektivita odvodu tepla



Obr. 64 Efektivita odvodu tepla v první verzi temperačního systému

Místa s nejvyšší účinností odvodu tepla (obr. 64) jsou znázorněna červenou barvou a je to zejména v místech, která jsou co nejbližší k dutině vstřikovací formy. Místa s nejvyššími hodnotami odvádí největší podíl tepla z dutiny formy. Zvýšení účinnosti odvodu tepla je možné zvýšit použitím jiného temperačního média či úpravou procesních parametrů.

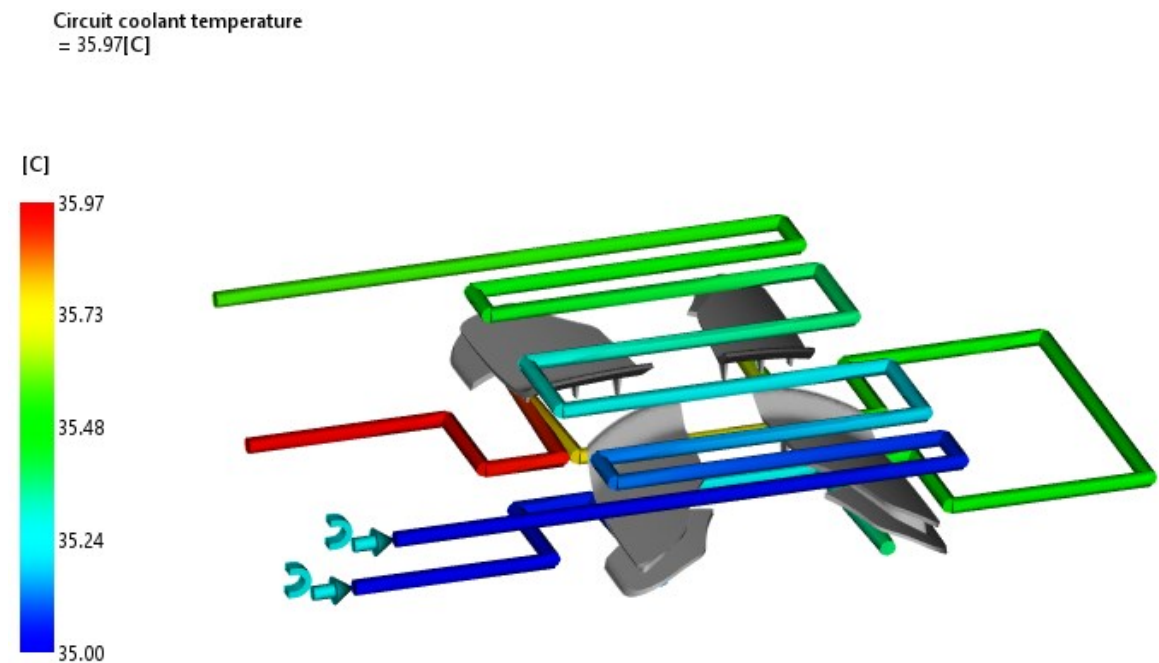


Obr. 65 Efektivita odvodu tepla pro druhý návrh temperačního systému

Z obr. 64 je patrné, že teplo je nejefektivněji odváděno obtokovými přepážkami, které jsou umístěny nejbližší dutině samotné formy. Na obr. 65 je znázorněna efektivita odvodu tepla pro druhý navržený temperační systém. Obtokové přepážky byly zvoleny z důvodu nedostatku místa pro klasický vrtaný kanál kvůli vyhazovacímu systému vstřikovací formy. Jako temperační médium byla zvolena čistá voda o teplotě 35 °C stejně jako v první verzi temperačního systému. Přidáním obtokových přepážek a temperačních okruhů do bočních tvarových čelistí bylo dosaženo značného zlepšení efektivity procesu chlazení.

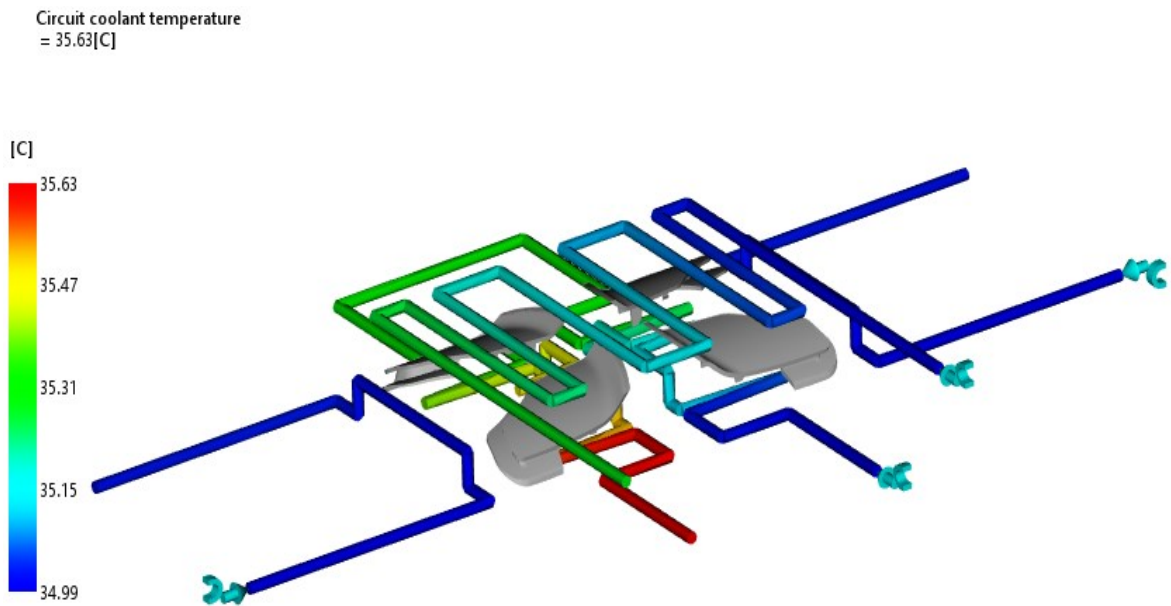
10.5.7 Teplota temperačního média

Rozdíl teplot temperačního média by na vstupu a výstupu z chladícího okruhu neměl být vyšší než 3-4 °C. Pokud je rozdíl na vstupu a výstupu temperačního média vyšší než 4 °C dochází ke značným nehomogenitám v teplotním poli vstřikovací formy, v takovém případě by bylo nutné zvýšit průtočné množství temperačního média.



Obr. 66 Teplota temperačního média v první verzi temperačního systému

Rozdíl v teplotách temperačního média na vstupu a výstupu z temperačního okruhu je v první verzi temperačního systému přibližně 1,9 °C, což je hodnota vyhovující požadavkům pro vznik homogenního teplotního pole.

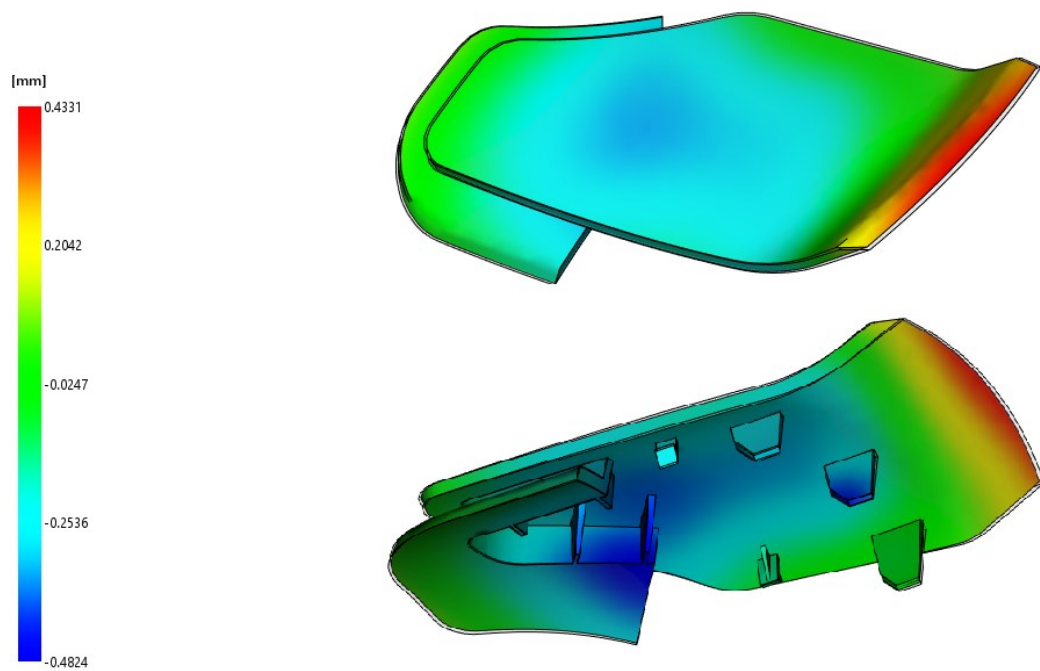


Obr. 67 Teplota temperačního média v druhé verzi temperačního systému

V druhé verzi temperačního systému je rozdíl teplot temperačního média na vstupu a výstupu z chladicího okruhu nejvíce 0,6 °C. Průtočné množství temperačního media je tedy dostatečné pro vytvoření homogenního teplotního pole.

10.5.8 Výsledná deformace ve všech směrech

Výsledek udává celkovou deformaci vstříkovaného výrobku, která je způsobena mnoha faktory. V této analýze jsou obsaženy deformace způsobené tepelnou roztažností použitého materiálu a jeho orientací, deformace způsobené při ochlazování výstřiku. Výsledná velikost celkové deformace je významným faktorem při návrhu rozměrů tvarové dutiny vstříkovací formy, která musí být zvětšena o odpovídající hodnotu.



Obr. 68 Celková deformace ve všech směrech

Snížit hodnotu deformací by bylo možné prodloužením doby chlazení, zvýšením a prodloužením hodnoty dotlaku, zvýšením teploty vstříkované taveniny. Místa s nejvyšší hodnotou deformace jsou na obr. 68 znázorněny červenou barvou a dosahují hodnoty 0,4 mm.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem diplomové práce byl návrh vstřikovací formy pro zadaný díl a ověření její funkčnosti pomocí tokových analýz. Zadaným dílem je krytka pod madlo úchyty dveří v interiérové části vozu. Jako konstrukční software pro konstrukci vstřikovací formy byl zvolen program CATIA V5R19. V konstrukčním návrhu formy je kladen důraz na použití co nejvyššího počtu normalizovaných dílů. Všechny normalizované díly byly vybrány z online katalogů firem Hasco a Meusburger.

Nejdříve byl vytvořen 3D model vstřikovaného dílu a zvolen materiál vstřikovaného dílu. Jako materiál vstřikovaného dílu byl zvolen materiál Finalloy HXN-86 C16 od firmy Petrochemicals. Kvůli vhodnému umístění vtokového ústí proběhla analýza vhodnosti umístění vtokového ústí (Gating suitability). Na základě výsledků této analýzy s ohledem na násobnost a odformování vstřikovaného dílce bylo následně zvoleno ideální umístění vtokového ústí.

Navržená vstřikovací forma je čtyřnásobná s horkým vtokovým systémem. U horkého vtokového systému byl použit obdélníkový rozvodný blok. V každém rohu rozvodného bloku je osazena vyhřívaná tryska, která ústí do tvarové dutiny. Z důvodu, že trysky ústí přímo do tvarové dutiny formy nedochází ke vzniku vtokového zbytku.

Navržený 3D model bylo nutné zvětšit o hodnotu smrštění zvoleného materiálu (0,3%). Takto upravený model byl základem pro návrh tvarových částí vstřikovací formy. Mezi tvarové části patří pružné vyhazovače, tvárník, tvárnice a posuvné tvarové čelisti. Tvárník i tvárnice jsou řešeny formou tvarových vložek. Pohyb tvarových čelistí je zprostředkován přes šikmé kolíky umístěné pod sklonem 18°.

V programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 proběhlo porovnání dvou návrhů temperačního systému. Na základě výsledků analýz byla zvolena verze, u níž dle výsledků analýzy dojde k dosažení vyhazovací teploty za kratší dobu. Vybraná varianta temperačního systému je složena ze čtyř samostatných temperačních okruhů. Ve vstřikovací části formy je umístěn jeden temperační okruh. Zbylé tři temperační okruhy jsou umístěny do vyhazovací strany formy. Tvarové čelisti jsou opatřeny temperačními kanály, který prochází přes šoupátko až do tvarové vložky. Všechny temperační kanály mají jednotný průměr 8 mm. Z důvodů utěsnění jsou jednotlivé přechody mezi deskami a tvarovými vložkami opatřeny těsníci o-kroužky.

Vyhození vstřikovaných dílů je zprostředkováno 16 vyhazovači ukotvených mezi vyhazovacími deskami. Čela všech vyhazovačů jsou upravena tak aby kopírovala povrch tvárníku. Pohyb vyhazovacího paketu je zajištěn přes táhlo, které je upnuto do hydraulického systému vstřikovacího stroje.

Jakmile, byl vyhotoven návrh vstřikovací formy, byl zvolen vhodný vstřikovací stroj. Vstřikovací stroj byl volen s ohledem na celkové rozměry vstřikovací formy, potřebnou uzavírací sílu, maximální velikost vstřikované dávky. Na základě návrhu vstřikovací formy a výsledků z analýz, které byly provedeny v programu Autodesk Moldflow Synergy 2016, byl zvolen vstřikovací stroj Arburg Allrounder 420 C 1300 (45mm).

Pro transport a manipulaci formou byla forma opatřena polohovatelným transportním ramenem z katalogu normálií firmy Meusburger. Toto transportní rameno je uchyceno šrouby do desek tvárníku i tvárnice a slouží tak zároveň i jako ochrana proti otevření formy během jejího transportu.

ZÁVĚR

Diplomová práce je dle zadání rozdělena do několika částí a vypracována dle oficiálních požadavků.

V první části diplomové práce je vypracována literární rešerše popisující obecnou teorii technologie vstřikování a jsou zde popsány polymerní materiály vhodné pro vstřikování. Dále jsou zde popsány zásady pro konstrukci vstřikovaných výrobků a vstřikovacích forem.

V praktické části diplomové práci byl vytvořen model zadaného výrobku a byla provedena konstrukce vstřikovací formy. Pro interiérový díl vozu Audi byl zvolen materiál Finalloy HXN-86 C16, který je plněný z 20% minerálním plnivem od výrobce TOTAL Petrochemicals TOTAL Petrochemicals. Zadaná forma je čtyřnásobná forma s horkým vtokovým systémem opatřeným vytápěcími tryskami ústícími přímo do dutiny vstřikovací formy. Tvarové části vstřikovací formy byly vytvořeny na základě vytvořeného 3D modelu. Posuvné části vstřikovací formy jsou ovládány šikmými čepy umístěnými ve vstřikovací části formy. Poté byly navrženy 4 temperační okruhy, které byly řešeny jako soustava vrtaných kanálů o průměru 8 mm s použitím temperačních obtokových přepážek. Dále byl navrhnut vyhazovací systém, který je složen z 8 pružných vyhazovacích jednotek a z 8 plochých tvarových vyhazovačů.

Návrh vstřikovací formy byl ověřen tokovými analýzami v programu Moldflow. Volba vstřikovacího stroje proběhla na základě celkových rozměrů formy a výsledků předběžné analýzy z programu Moldflow. Jako vhodný vstřikovací stroj byl zvolen Arburg ALLROUNDER 420 C. Na základě předběžné analýzy proběhla optimalizace procesních parametrů. Poté byla provedena kompletní analýza s upravenými procesními parametry. Tato analýza poskytla informace o úplném zatečení materiálu do celé dutiny formy nebo čas potřebný k ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu.

V programu Moldflow proběhlo rovněž srovnání obou navržených temperačních systémů. Ve finálním návrhu vstřikovací formy byla použita druhá navržená verze. Tato verze chladí tvarovou dutinu efektivněji, což se výrazně projeví trvání celého cyklu.

Vstřikovací forma i její model je doložen výkresovou dokumentací. Výkresová dokumentace byla vytvořena v programu Catia V5R19. Ve výkresové dokumentaci je obsažen výkres vstřikovaného výrobku se základními rozměry, sestava vstřikovací formy s kusovníkem a výkres pohledů do obou polovin formy.

3D model vstřikovaného výrobku byl vytvořen v programu Catia V5R19. Vstřikovací forma byla navržena v programu Catia V5R19 za použití normálií z online katalogů firem Hasco a Meusburger.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů teorie a praxe*. ISBN 978-80-271-0614-1
- [2] GHOSH, Arabinda. *Technology of polymer packaging* ISBN 978-1-56990-576-0
- [3] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: I.díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vydání – Brno: Uniplast, 1999
- [4] STANĚK, Michal. *Konstrukce forem* (přednášky). Zlín: UTB ve Zlíně
- [5] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vydání – Praha: BEN – technická literatura, 2009, ISBN 978-80-7300-250-3.
- [6] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: II.díl – Vstřikování termoplastů*. 1. vydání – Brno: Uniplast, 1999
- [7] HYNEK, M. *Studené a horké vtokové systémy*. Západočeská Univerzita v Plzni – Fakulta strojní [online]. Dostupné z WWW: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [8] ORYCON EU [online]. Dostupné z WWW: <http://www.orycone.cz/>
- [9] *Tváření plastů a výroba forem II.* [online]. Dostupné z WWW: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-forem-ii/>
- [10] *Odbor technologie tváření kovů a plastů: FSI*, VUT v Brně. [online]. Dostupné z WWW: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy__zak.pdf
- [11] VLČEK, Jiří; MAŇAS, Miroslav. *Aplikovaná reologie*. 1. vydání – Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2001. ISBN 8073180391
- [12] ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce vylisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5.
- [13] BOBEK, J. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. Dostupné z WWW: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [14] LENFELD, Doc. Dr. Ing. Petr. [online]. Dostupné z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm.

- [15] LANXESS Inc. *Engineering Plastics: Part and Mold Design*. [online]. Dostupné z WWW: http://techcenter.lanxess.com/scp/americas/en/docguard/Part_and_Mold_Design_Guide.pdf?docId=77015
- [16] MAŽGÚTOVÁ, D. Diplomová práce: *Vstřikovací forma pro plastový výrobek* 1. vydání Zlín: 2014.
- [17] MM průmyslové spektrum [online] Dostupné z WWW:
<https://www.mmspektrum.com/kontakty.html>
- [18] BENÍČEK, Lubomír. *Plastikářská technologie* (přednášky). Zlín: UTB ve Zlíně.
- [19] BĚHÁLEK, Luboš. TUL – FS, Katedra strojírenské technologie. Typy vtoků. Liberec, 2004. Dostupné z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c9/
- [20] *HASCO katalog* [online]
Dostupné z WWW:
<https://www.hasco.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PMMA	Polymethylmetakrylát
PVC	Polyvinylchlorid
PE	Polyetylen
PP	Polypropylen
POM	Polyoxymethylen
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
T_m	Teplota tání
T_f	Teplota viskozitního toku
T_g	Teplota skelného přechodu
GIT	Vstřikování plastu s plynnou podporou
WIT	Vstřikování plastu s podporou vody
R	Poloměr
S	Tloušťka stěny
mm	Milimetr
cm ³	Centimetr krychlový
Pa	Pacal jednotka tlaku
s ⁻¹	Reciproká sekunda
°	Stupeň
'	Minuta
HDR	Hlavní dělicí rovina
VDR	Vedlejší dělicí rovina
CAD	Počítačem podporovaný návrh
CAE	Počítačem podporované konstruování
CAM	Softwarově podporovaná výroba
SVS	Studená vtoková soustava

VVS Vyhřívaný vtokový systém

% Procento

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Vstřikovací cyklus [16]</i>	12
<i>Obr. 2 Princip kontroly polštáře [1]</i>	16
<i>Obr. 3 Vztah mezi fázemi vstřikovacího procesu [1]</i>	18
<i>Obr. 4 Proces vstřikování schematicky znázorněn v $p$$v$$T$ diagramu [1]</i>	20
<i>Obr. 5 Základní členění polymerních materiálů [1]</i>	22
<i>Obr. 6 Termoplasty pro výrobu výstřiků – základní rozdělení [1]</i>	23
<i>Obr. 7 Výstřiky z amorfních polymerů [17]</i>	24
<i>Obr. 8 Schéma nad-molekulární struktury polymerů [13]</i>	25
<i>Obr. 9 Příklad správné a špatné konstrukce přechodu v tloušťce stěny</i>	29
<i>Obr. 10 Ukázky správného a špatného provedení úkosů na vstřikovaném dílu [13]</i>	31
<i>Obr. 11 Doporučená konstrukce odformovatelných podkosů [13]</i>	32
<i>Obr. 12 Vliv tloušťky žebra na deformaci u neplněných plastů [13]</i>	33
<i>Obr. 13 Hlavní části vstřikovací formy [9]</i>	35
<i>Obr. 14 Schéma uložení vyhazovače mezi vyhazovacími deskami [9]</i>	37
<i>Obr. 15 Schéma studeného vtokového systému [7]</i>	38
<i>Obr. 16 Vtoková vložka z katalogu normálii HASCO [20]</i>	38
<i>Obr. 17 Příklady drah rozvodných kanálů u vícenásobných forem [7]</i>	39
<i>Obr. 18 Vhodné a nevhodné průřezy rozvodných kanálů [13]</i>	39
<i>Obr. 19 Kuželový vtok [19]</i>	40
<i>Obr. 20 Bodový vtok [19]</i>	41
<i>Obr. 21 Deštníkový a talířový vtok [19]</i>	41
<i>Obr. 22 Prstencový vtok [19]</i>	42
<i>Obr. 23 Tunelový vtok [19]</i>	42
<i>Obr. 24 Řez horkým vtokovým systémem [7]</i>	43
<i>Obr. 25 Různé uspořádání horkých rozvodných bloků [8]</i>	44
<i>Obr. 26 Systém spirálových přepážek [13]</i>	46
<i>Obr. 27 Hydraulická uzavírací jednotka [3]</i>	48
<i>Obr. 28 Diesel efekt</i>	51
<i>Obr. 29 Meandrový tok [17]</i>	52
<i>Obr. 30 Tvorba volného proudu polymerní taveniny [17]</i>	52
<i>Obr. 31 Stopy po studeném spoji [17]</i>	53
<i>Obr. 32 Zadaný vstřikovaný dílec</i>	57

<i>Obr. 33</i>	<i>Náhled do levé a pravé strany formy</i>	59
<i>Obr. 34</i>	<i>Hlavní dělicí rovina</i>	60
<i>Obr. 35</i>	<i>Výsledky analýzy vhodnosti umístění vtokového ústí z programu Moldflow</i>	61
<i>Obr. 36</i>	<i>Tvarové části vstřikovací formy</i>	62
<i>Obr. 37</i>	<i>Tvarové vložky (tvárník a tvárnice) tvořící polovinu formy</i>	62
<i>Obr. 38</i>	<i>Posuvná tvarová čelist</i>	63
<i>Obr. 39</i>	<i>Vtokový systém vstřikovací formy</i>	64
<i>Obr. 40</i>	<i>Temperační systém ve vyhazovací straně vstřikovací formy</i>	65
<i>Obr. 41</i>	<i>Temperační okruh tvarové vložky (tvárník)</i>	65
<i>Obr. 42</i>	<i>Temperační okruh tvarové vložky (tvárnice)</i>	66
<i>Obr. 43</i>	<i>Vyhazovací systém vstřikovací formy</i>	67
<i>Obr. 44</i>	<i>Umístění háčků na vstřikovaném výrobku</i>	67
<i>Obr. 45</i>	<i>Schematické znázornění uložení a funkce pružné vyhazovací jednotky</i>	68
<i>Obr. 46</i>	<i>Odformovací směry pohybu pohyblivých součástí</i>	69
<i>Obr. 47</i>	<i>Řez posuvnou tvarovou jednotkou</i>	69
<i>Obr. 48</i>	<i>Středící prvky formy</i>	70
<i>Obr. 49</i>	<i>Horizontální středění firmy Meusburger</i>	70
<i>Obr. 50</i>	<i>Vstřikovací stroj allrounder 420 C</i>	72
<i>Obr. 51</i>	<i>Statistika sítě modelu</i>	73
<i>Obr. 52</i>	<i>Vysíťovaný model vstřikovaného výrobku</i>	74
<i>Obr. 53</i>	<i>Nastavení procesních parametrů krok č. 1</i>	75
<i>Obr. 54</i>	<i>Nastavení procesních parametrů krok č. 2</i>	75
<i>Obr. 55</i>	<i>Průběh vstřikovacího tlaku ve vtokovém ústí</i>	76
<i>Obr. 56</i>	<i>Průběh uzavírací síly během celého procesu vstřikování</i>	76
<i>Obr. 57</i>	<i>Časy plnění dutiny formy</i>	77
<i>Obr. 58</i>	<i>Výsledek analýzy studených spojů</i>	78
<i>Obr. 59</i>	<i>Místa s vysokou pravděpodobností vzniku vzduchových kapes</i>	78
<i>Obr. 60</i>	<i>První verze temperačního systému</i>	79
<i>Obr. 61</i>	<i>Druhá verze temperačního systému</i>	79
<i>Obr. 62</i>	<i>Čas nutný k dosažení vyhazovacího systém pro první verzi temperačního systému</i>	80
<i>Obr. 63</i>	<i>Čas potřebný k ochlazení na vyhazovací teplotu pro druhou verzi temperačního systému</i>	81

<i>Obr. 64 Efektivita odvodu tepla v první verzi temperačního systému</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 65 Efektivita odvodu tepla pro druhý návrh temperačního systému</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 66 Teplota temperačního média v první verzi temperačního systému</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 67 Teplota temperačního média v druhé verzi temperačního systému</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 68 Celková deformace ve všech směrech</i>	<i>85</i>

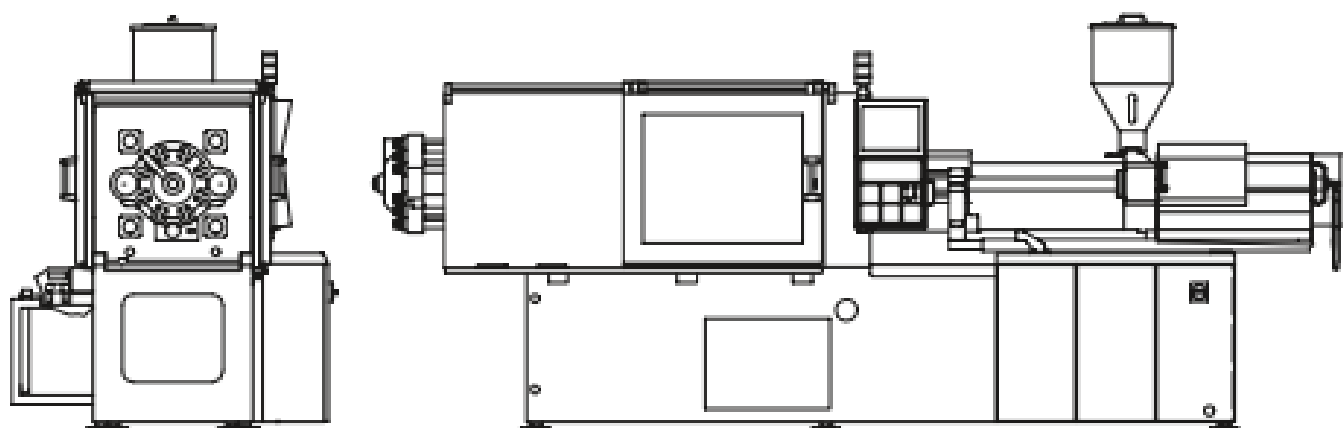
SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Minimální a doporučené hodnoty pro zaoblení rohů</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 2 Doporučené hodnoty úkosů</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3 Zpracovatelské teploty pro vybrané druhy polymerů</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 4 Doporučené rozměry temperačních kanálů a jejich uspořádání.....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 5 Doporučené zpracovatelské parametry pro materiál Finalloy HXN-86 C16 z databáze programu Autodesk Moldflow Synergy 2016</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 6 Parametry pro volbu vstříkovacího stroje</i>	<i>71</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Technické parametry vstřikovacího stroje Arburg Allrounder 420 C
- P II Materiálový list Finalloy HXN-86 C16
- P III DVD obsahující:
- Diplomovou práci
- Model zadaného dílce
- Model navrhnuté vstřikovací formy
- Tokové analýzy
- Výkresová dokumentace

PŘÍLOHA P I: ARBURG ALLROUNDER 420C 1300



ALLROUNDER 420 C 1300

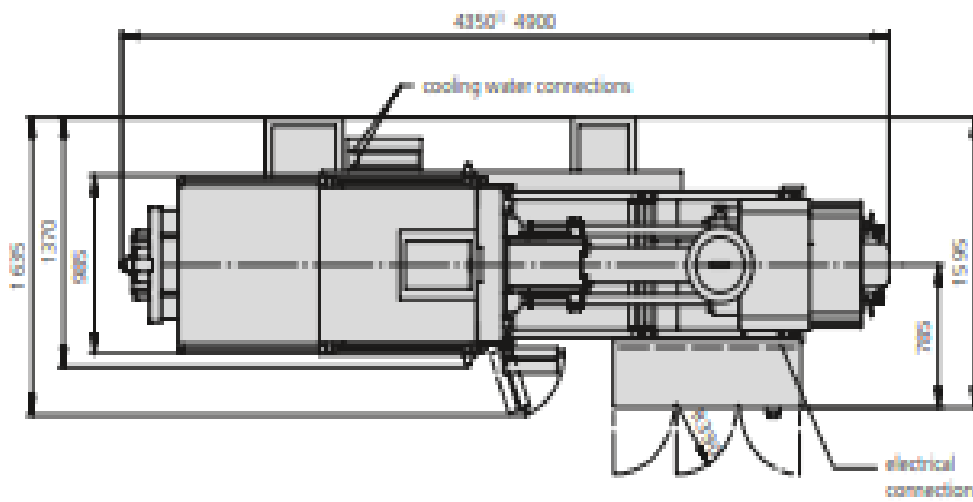
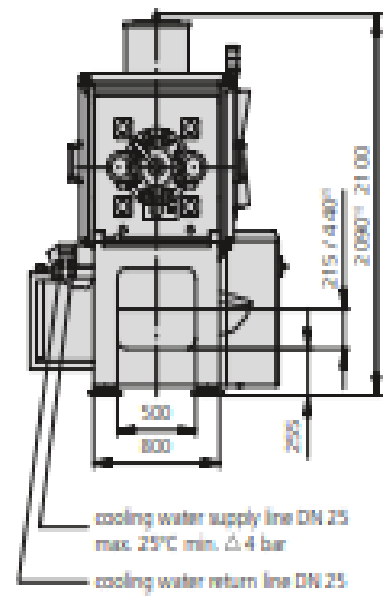
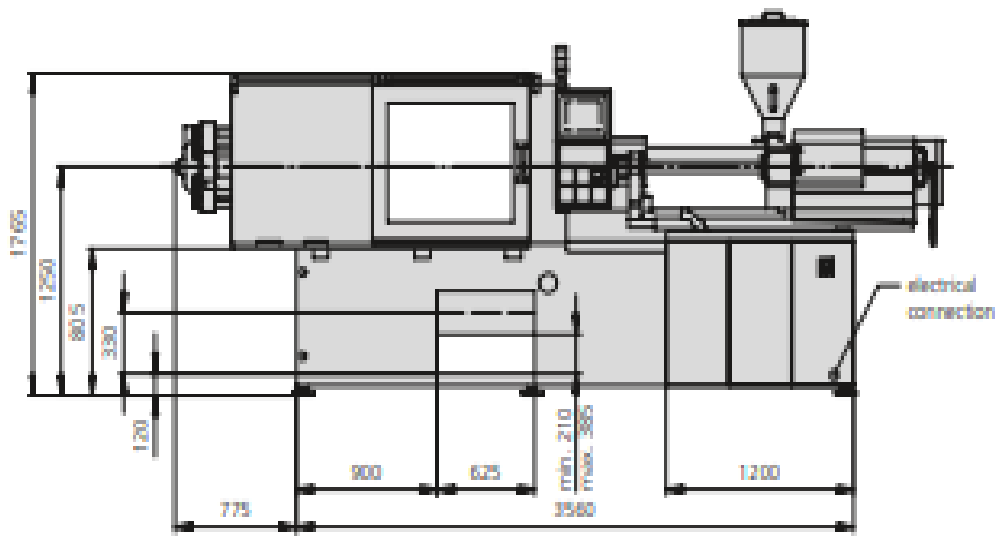
Technical data

Tie bar distance: 420 x 420 mm

Clamping force: 1300 kN

Injection units (according to EUROMAP): 350, 800

ARBURG



- 1) Dimensions for 420 C 1300-350
- 2) Dimension only valid in conjunction with conveyor belt

Machine model		420 C	420 C
EUROMAP size indication ¹⁾		1300-350	1300-800
Clamping unit			
Clamping force	max. kN	1300	1300
Closing force	max. kN	50	50
Opening force / increased	max. kN	35 / 350	35 / 350
Opening stroke	max. mm	500	500
Mould height	min. mm	250	250
Daylight	max. mm	750	750
Distance between tie bars	mm	420 x 420	420 x 420
Platen size (hor. x vert.)	mm	605 x 605	605 x 605
Weight of mov. mould half	max. kg	650	650
Ejector force	max. kN	40	40
Ejector stroke	max. mm	175	175
Hydraulics, drive, general			
Drive power of the hydraulic pump	kW	22	30
Dry cycle time for opening stroke ²⁾	s/mm	2,0 (1,9)-329	2,0 (1,9)-329
Total connected load ³⁾	kW	33,9	46,3
Colour: plastic coated, structure light grey / mint green / canary yellow			
Control cabinet			
Safety standard according to		DIN EN 60204	DIN EN 60204
Socket combination (1 single phase, 1 three-phase)		1 x 16 A	1 x 16 A
Injection unit		350	800
Screw diameter	mm	35 / 40 / 45	45 / 50 / 55
Effective screw length	L/D	23 / 20 / 18	22 / 20 / 18
Screw stroke	max. mm	145	200
Calculated injection volume	max. cm ³	139 / 182 / 230	318 / 392 / 434
Shot weight	max. g PS	127 / 166 / 210	291 / 359 / 434
Material throughput ⁴⁾	max. kg/h PS	25 / 29 / 35	46 / 53 / 59
	max. kg/h PA 6.6	12,5 / 15 / 17,5	23 / 27 / 30
Injection pressure ⁵⁾	max. bar	2500 / 2120 / 1670	2470 / 2000 / 1650
Injection flow ⁶⁾	max. cm ³ /h	128 / 168 / 212	174 / 214 / 260
Injection flow with accumulator	max. cm ³ /h	402 / 642 / 814	530 / 656 / 792
Back pressure positive / negative	max. bar	350 / 160	350 / 190
Circumferential screw speed	max. r/min	47 / 53 / 60	52 / 62 / 69
Screw torque	max. Nm	480 / 550 / 610	880 / 880 / 880
Nozzle contact force	max. kN	60	70
Nozzle retraction stroke	max. mm	300	400
Installed cylinder heating power / heating zones	kW	8,8 / 4	13,2 / 6
Installed nozzle heating power	kW	0,6	0,6
Material hopper capacity	l	50	50
Horizontal injection position ⁶⁾	max. mm	170 (120)	170 (120)
Machine dimensions and weights of the basic machine			
Oil capacity	l	235	235
Net weight	kg	4300	4900
Electrical connection (pre-fused) ⁷⁾	A	100	125

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

2) Values refer to 400 °/50 Hz. The load is symmetrically distributed on three phases. The specified value applies to the basic machine.

The connection value can be increased by additional options which may make 2 separate supply lines necessary (motor + control/heating).

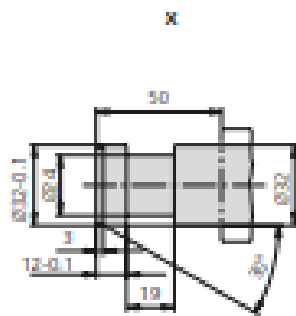
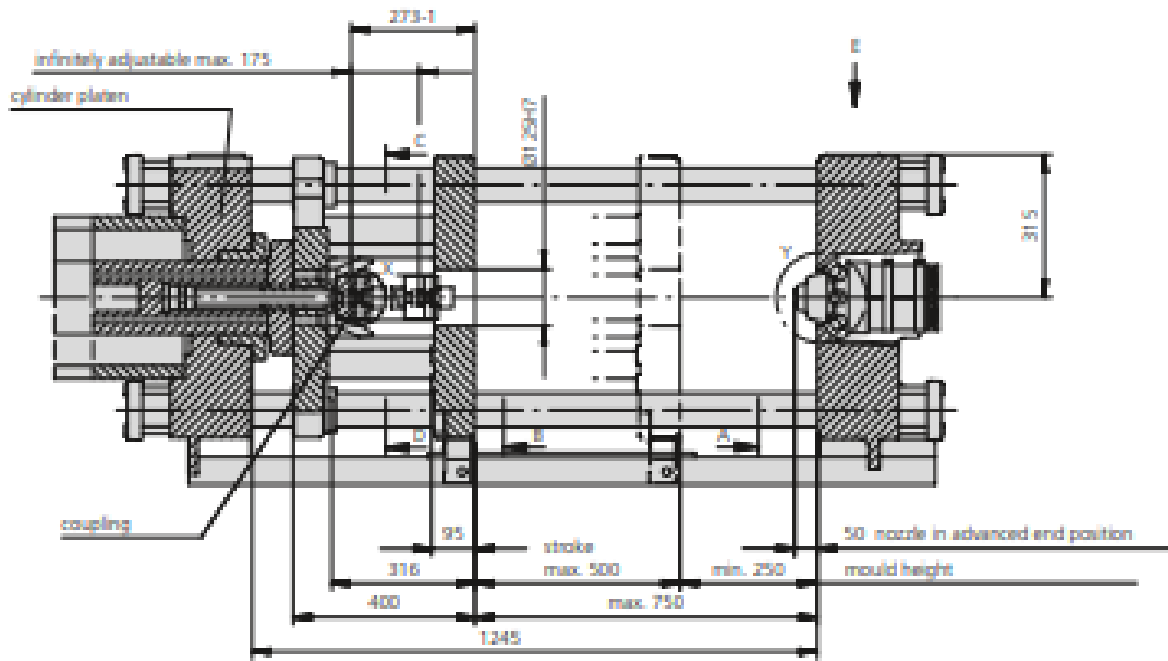
3) According to EUROMAP for basic machine

4) Measurement in brackets valid in connection with MULTILET II

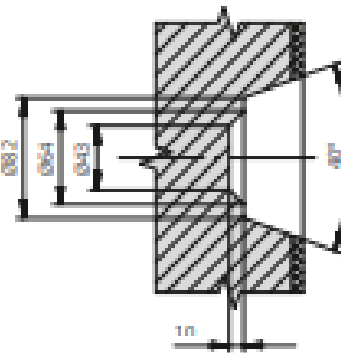
5) A combination of max. injection pressure and max injection flow (max. injection capacity) can be mutually exclusive, depending on the equipment-related motor output

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

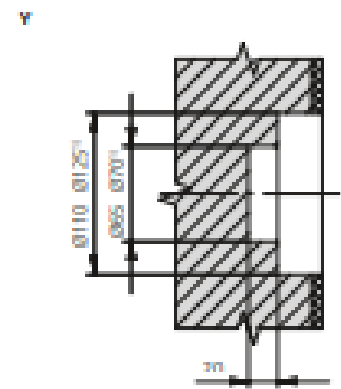
These technical data specifications refer to the state at the time of printing. We reserve the right to modify specifications in the interest of a continuous program of further development.



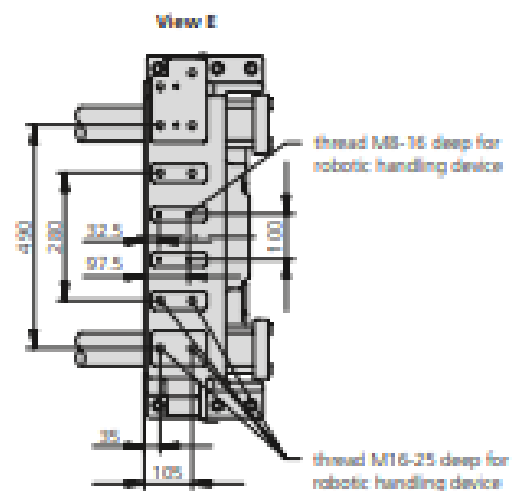
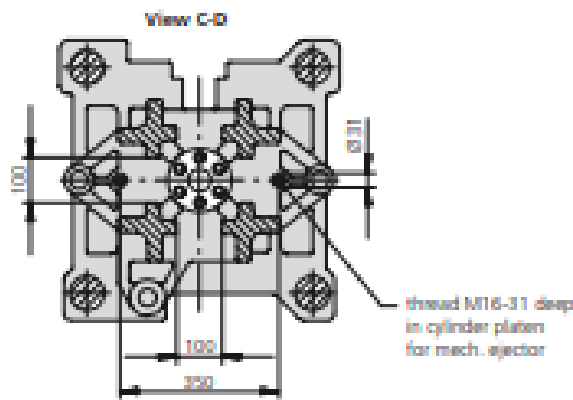
ejector bolt



counter bore in the mould required only for short sprue



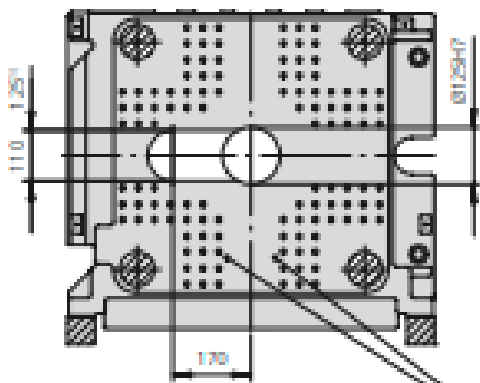
dimensions for thermocast moulds



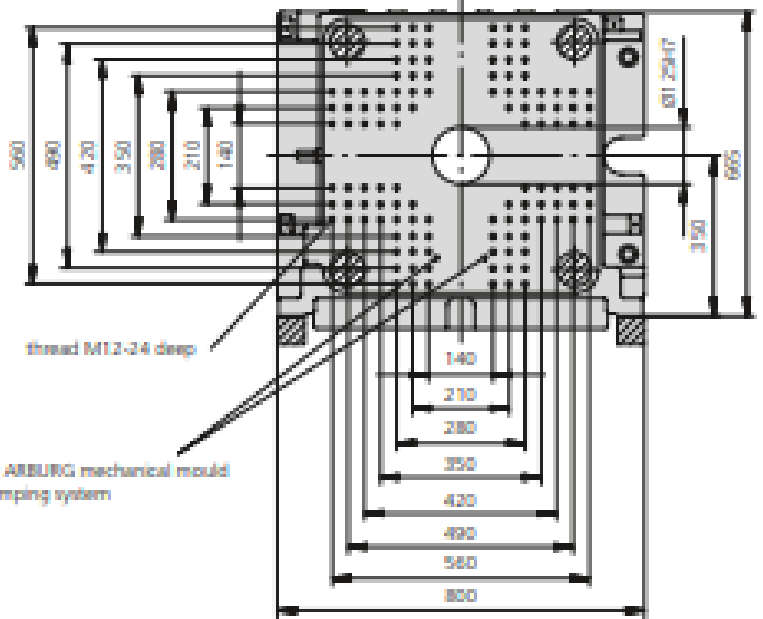
1) Dimensions valid for injection unit 800 in thermocast version

Fixed platen

View A / for horizontally displacable injection unit



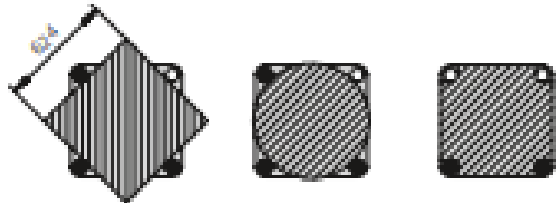
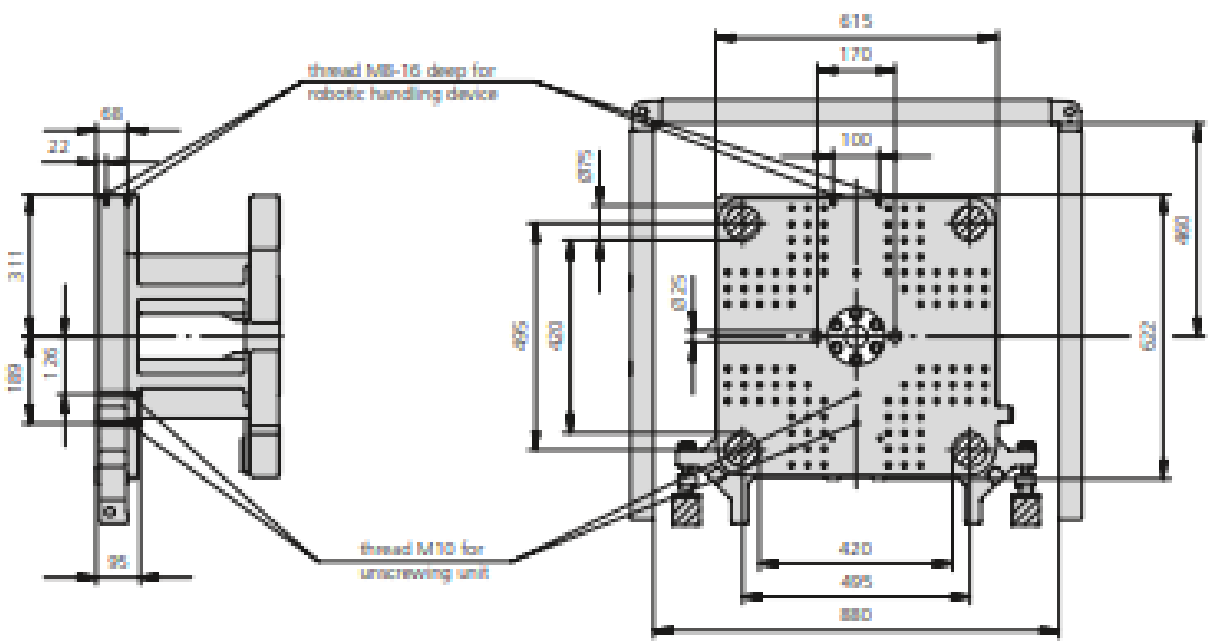
View A / for central injection unit



Boxes for ARBURG mechanical mould quick-clamping system

Movable platen

View B



1) Dimensions valid for injection unit 800 in thermoart version

Usuable mounting surface with tie bars removed

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST

TOTAL PETROCHEMICALS

Provisional Technical Datasheet
12/2004
issue 3

Finalloy® EBP-18

FINALLOY EBP-18 is a mineral filled, impact modified PP-based compound that has a very low linear thermal expansion combined with good processability.
FINALLOY EBP-18 is particularly suitable for injection moulding of automotive exterior parts like rocker panels and other parts, which require low thermal expansion.

RHEOLOGICAL PROPERTIES	UNIT	TEST METHOD	TYPICAL VALUE
Melt Flow Rate 230°C/2.16 kg	g/10 min	ISO 1133	17
MECHANICAL PROPERTIES			
Tensile Strength at Yield	MPa	ISO 527	17
Tensile Strain at Yield	%	ISO 527	5
Elongation at break	%	ISO 527	> 50
Tensile Modulus	MPa	ISO 527	1800
Notched Charpy Impact Strength at 23°C	kJ/m ²	ISO 179-1eA	30
	kJ/m ²	ISO 179-1eA	5
Rockwell Hardness	R	ISO 2039-2	-
THERMAL PROPERTIES			
Melt range	°C	internal method	160 – 165
Heat Deflection Temperature (0.45 MPa)	°C	ISO 75-2	91
Vicat Softening Point (10N, 50°C/h)	°C	ISO 306	-
Linear mould shrinkage, MD, t=3mm	%	internal method	0,45
Coefficient of Linear Thermal Expansion	m/mK	ASTM D698	3,2*10 ⁻⁴
OTHER PHYSICAL PROPERTIES			
Density	kg/m ³	ISO 1183	1130



TOTAL PETROCHEMICALS RESEARCH FELUY
PP Automotive Department
Zone Industrielle C
B-7181 FELUY
Belgium
Tel : +32 (0)64 51 47 47
Fax : +32 (0)64 51 47 19

Information contained in this publication is true and accurate at the time of publication and to the best of our knowledge. The nominal values stated herein are obtained using laboratory test specimens. Before using one of the products mentioned herein, customers and other users should take all care in determining the suitability of such product for the intended use. The companies within TOTAL PETROCHEMICALS do not accept any liability whatsoever arising from the use of this information or the use, application or processing of any product described herein. No information contained in this publication can be considered as a suggestion to infringe patents. The companies disclaim any liability that may be claimed for infringement or alleged infringement of patent.

